

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS



Retención de nutrientes durante el procesado térmico de los alimentos

FACULTAD DE
QUIMICA



BIBLOTECA

TESINA

Para obtener el Título de
Químico en Alimentos
Presenta:

Héctor Granados Guerrero

Querétaro, Qro. 1988.

PROPIEDAD DE LA FACULTAD
DE QUIMICA DE LA U. A. Q.

25 AL

No. Adq. J50581

No. Título TS

Glas. 664.0286

G748r



Retención de nutrientes durante el proceso térmico de los alimentos



TESINA
Por obtener el título de
Licenciado en Química
Física y
Héctor Garrandón Guerrero
Químico Q. 1954

PROPIEDAD DE LA FACULTAD
DE QUIMICA DE LA U. A. Q.

Dedicatoria

A mis padres, Rosa y Efrén
por proporcionarme siempre
más de lo merecido.

A Victoria

Contenido

CAPITULO		HOJA
1	Introducción.	6
2	Uso de la cinética química para la predicción de pérdidas de nutrientes.	11
	2.1.- Introducción.	11
	2.2.- Cinética de la pérdida de los factores de calidad de los alimentos.	15
	2.3.- Modelo de Arrhenius.	20
	2.4.- Desviaciones del modelo de Arrhenius.	21
	2.5.- Ensayo acelerado de almacenamiento para el estudio de la pérdida del valor nutritivo de las proteínas de frijoles negros.	23
	2.6.- Optimización del procesamiento térmico para la retención de nutrientes.	27
3	Características de la estabilidad de las vitaminas durante el procesamiento de los alimentos.	32
	3.1.- Introducción.	32
	3.2.- Vitaminas liposolubles.	32
	3.3.- Vitaminas hidrosolubles.	34
4	Efecto de los métodos de escaldado y pasteurización sobre la retención de nutrientes.	38
	4.1.- Introducción.	38
	4.2.- Los métodos de escaldado y sus efectos.	40
	4.3.- Los métodos de pasteurización y sus efectos.	48
5	Efecto de la esterilización comercial sobre la retención de los nutrientes.	50
	5.1.- Introducción	50

CAPITULO

HOJA

5.2.-	La esterilización y sus efectos.	52
5.3.-	Retención de vitamina C durante el procesamiento comercial de chícharos.	54
6	Efecto del método de cocinado sobre la estabilidad de los nutrientes.	58
6.1.-	Introducción.	58
6.2.-	El cocinado y sus efectos.	59
6.3.-	Influencia del método de cocinado sobre el contenido de vitaminas en camotes.	60
7	Efecto del procesamiento térmico sobre el contenido de minerales en los alimentos.	62
7.1.-	Introducción.	62
7.2.-	Variaciones en los contenidos de minerales de varias clases de frijoles procesados térmicamente.	64
7.3.-	Cambios en el contenido de minerales durante el procesado térmico de arroz.	64
8	Almacenamiento de alimentos pasteurizados y esterilizados comercialmente.	68
8.1 -	Introducción.	68
8.2.-	Almacenamiento de los alimentos pasteurizados.	69
8.3.-	Almacenamiento de los alimentos esterilizados comercialmente.	70
	Conclusiones.	73
	Bibliografía.	75

Introducción

La meta más importante de la industria preservadora de alimentos, es liberar al hombre, de la total dependencia climática y geográfica que se tiene de ellos y abastecerlo así mismo de sus requerimientos nutricionales.

Para aumentar tal disponibilidad de alimentos, estos se someten a diferentes tipos de procesos que contribuyen a lograr el mayor beneficio a la conservación de los mismos pero que traen consigo una inevitable pérdida de ciertos nutrientes. Las pérdidas nutricionales aparecen cuando los alimentos son procesados, comercializados o al prepararlos en casa. Además, debe de sumarse a estas pérdidas los cambios que pueden sufrir los alimentos durante su almacenamiento, independientemente de que hayan sido procesados o no. Se deberá también considerar el grado de pérdida, el cuál es con frecuencia mayor en los procesos caseros que en los comerciales, así mismo debe añadirse al proceso de evaluación, el hecho de que los procesos afectan también el sabor, el color y la textura del alimento.

Debe de ser reconocido también que las variaciones en los nutrientes contenidos en los productos alimenticios crudos, afectan el contenido de nutrientes en el alimento final, algunas veces más que el proceso mismo. Dichas variaciones son debidas a las condiciones climáticas, a las variaciones genéticas y a la madurez de la cosecha, entre otros (IFT, 1980).

El procesamiento por medio de calor es uno de los métodos más importantes desarrollados por el hombre para alargar la vida de anaquel de los productos alimenticios. La aplicación de

calor para elevar la temperatura de un alimento por arriba de la de las condiciones ambientales por períodos de tiempo relativamente cortos, sirve para inactivar los catalizadores biológicos (tanto enzimas como microorganismos) y de este modo extender la vida de anaquel del producto (IFT, 1980).

Es bien conocido que los microorganismos -levaduras, mohos y bacterias- son la causa inmediata de las alteraciones en los alimentos, los dos primeros grupos son poco resistentes al calor y por lo tanto originan pocos problemas en los alimentos, mientras que las bacterias son la causa de la gran mayoría de las alteraciones microbiológicas de estos productos y de las intoxicaciones originadas por las toxinas que producen.

La otra causa de degradación de alimentos, tan importante como las bacterias, son las enzimas, siempre presentes en los mismos y que hay que inactivar o destruir durante el procesamiento térmico con el fin de evitar la degradación que se produciría por la actividad enzimática residual.

Sin embargo, como se ha señalado el proceso puede resultar en la degradación de diversos nutrientes, inactivándolos biológicamente. El reto actual de la industria procesadora de alimentos, es el de minimizar las pérdidas de nutrientes durante el procesamiento térmico por medio de un adecuado proceso que asegure una larga vida de anaquel del producto (Lund, 1975a).

Son varios los procesos que involucran el uso de calor y que comúnmente son aplicados a los productos alimenticios. Para algunos el principal objetivo es incrementar la palatabilidad del alimento, tal es el caso del cocinado, para otros procesos térmicos los objetivos son incrementar la vida de anaquel y minimizar la probabilidad de daño al consumidor que pudiera ser causada por dicho alimento; el escaldado, la pasteurización y la esterilización, son ejemplos de estos procesos

(Lund, 1975a), y de los que aquí se hablará principalmente.

Para la aplicación de cualquiera de estos procesos debe de tomarse en cuenta que la reducción en el contenido de nutrientes de los productos alimenticios como resultado de un proceso térmico, depende de la severidad de tal proceso.

El término esterilidad se refiere a la condición en la cual los microorganismos no viables están presentes en el alimento, un organismo viable es aquel que es capaz de reproducirse bajo condiciones óptimas para su crecimiento. Algunos microorganismos y sus esporas son extremadamente resistentes al calor y generalmente no es práctico hacer un alimento estéril por este medio, para hacerlo se debería alterar el valor organoléptico y nutritivo del alimento hasta el punto en que sería inaceptable al consumidor. Por consiguiente, el proceso de esterilización es también usado en conjunción con otras técnicas de preservación, esto es, mediante un adecuado empaque y el control de la temperatura de almacenamiento. Los requerimientos de estas técnicas es que los microorganismos en estado latente o sus esporas no crecerán en la evolución del alimento bajo condiciones de almacenamiento (Lund, 1975a).

El escaldado es un proceso por calor frecuentemente aplicado a sistemas de tejidos alimenticios y sus objetivos dependen del tratamiento posterior que se dará al producto. Por ejemplo el escaldado anterior al congelado o secado, es usado principalmente para inactivar enzimas que podrían contribuir a cambios indeseables en el color, sabor o valor nutritivo durante el almacenamiento. El escaldado anterior al enlatado cumple varias funciones que incluyen ablandamiento de tejidos para facilitar el empaquetado, removimiento de gases de tejidos antes de llenar el contenido incrementando la temperatura del tejido antes de cerrarlo e inactivando o activando enzimas (Lund, 1975a).

Si bien los objetivos del proceso de escaldado son dependientes del posterior tratamiento, un criterio frecuentemente

usado para la evaluación de la adecuada operación de escaldado prescindiendo del tratamiento posterior, es la inactivación de enzimas. Generalmente, si las enzimas son inactivadas, el tratamiento por calor fue suficiente para lograr los objetivos del escaldado. En el caso especial del escaldado para activar la enzima metil-pectín-esterasa, Kaczmarzyk y col., (1963) mostraron que la temperatura del agua de escaldado debe ser mayor de 65°C pero menor de los 82°C.

Un concepto importante acerca del escaldado es que la destrucción microbiana no es un objetivo principal de este proceso.

La pasteurización es un proceso por calor designado para inactivar una parte pero no el total de los microorganismos vegetativos presentes en un alimento. Puesto que en este caso, el alimento no es del todo estéril, la pasteurización, parecida al escaldado, debe de ser usada en conjunción con otras técnicas de preservación tales como la fermentación (encurtidos), la refrigeración (leche), mantenimiento de condiciones anaeróbicas (cerveza) o debe ser usada en productos tales como jugos de frutas de alta acidez donde la evolución de estos alimentos no es particularmente propia para el incremento de daños y riesgos de salud causados por microorganismos.

Las bases para la aplicación de este proceso deben ser un microorganismo dañino, que pueden ser las levaduras de cerveza las levaduras y mohos en jugos de frutas de alta acidez o bien un microorganismo de riesgo para la salud del consumidor, como lo es la *Coxiella burnetti*, que es la rickettsia responsable de la fiebre Q en leche (Lund, 1975a).

Las crecientes exigencias legislativas y del consumidor sobre el valor nutritivo del alimento, ausencia de conservadores etc., requieren la investigación de la cinética de los fenómenos de degradación de los componentes sensoriales y nutritivos de los alimentos, con el fin de conocer su termolabilidad y po

der obtener la mejor calidad del mismo. Los costos energéticos cada vez más elevados obligan a cuidadosos análisis de los procesos, con el fin de seleccionar el más económico y disminuir_ o eliminar las pérdidas innecesarias de energía (Rodrigo y col 1980).

Sobre este tema y sobre la optimización del procesamiento - térmico se tratará en este trabajo.

2

Uso de la cinética química para la predicción de pérdidas de nutrientes

2.1.- INTRODUCCION.

Son varios los parámetros cinéticos que han sido usados para describir el efecto del tratamiento tiempo-temperatura sobre la velocidad y extensión de la destrucción de los nutrientes, pero básicamente sólo dos de éstos son necesarios:

1. La velocidad de destrucción de nutrientes a una temperatura de referencia y,
2. La dependencia de esta velocidad de destrucción sobre la temperatura.

En la mayoría de las aplicaciones químicas y de ingeniería, estos dos parámetros han estado referidos a la constante de velocidad de la reacción (K) a una temperatura de referencia (T) y a la energía de activación de Arrhenius (Ea).

Las ciencias biológicas han usado como referencia, el valor de la constante K arriba mencionado y el valor Q_{10} definido por la siguiente expresión:

$$Q_{10} = \frac{\text{velocidad de reacción a } T + 10}{\text{velocidad de reacción a } T} \quad (1)$$

$$= \frac{\text{vida de anaquel a } T}{\text{vida de anaquel a } T + 10} \quad (1a)$$

donde T es la temperatura de referencia en °C.

Este factor es llamado factor de aceleración y una vez conocido se pueden efectuar extrapolaciones a temperaturas más bajas y ser usadas para predecir la vida de anaquel verdadera de un producto alimenticio (Labuza y Riboh, 1982). Sería de mucha

utilidad conocer tanto los límites teóricos como los prácticos de este factor de extrapolación debido a factores legales y económicos. Por ejemplo si la vida de anaquel de un producto alimenticio fueron dos semanas a 50°C, la tabla 1 muestra cuál sería la vida de anaquel esperada a diferentes temperaturas y a varios valores de Q_{10} , asumiendo que los valores de Q_{10} son constantes. Como se observa en la misma tabla, una diferencia de 0.5 en el valor de Q_{10} puede tener un gran efecto sobre la vida de anaquel esperada.

La predicción de la calidad o pérdidas de nutrientes bajo la típica fluctuación del ciclo de distribución encontrado para la mayoría de los alimentos podría ser hecha si los efectos de la temperatura fueran aditivos, aunque esto se desconoce (Labuza y Riboh, 1982)

TABLA 1. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VIDA DE ANAQUEL

temperatura °C	$Q_{10} = 2$	vida de anaquel (semanas)		
		2.5	3	5
50	2	2	2	2
40	4	5	6	10
30	8	12.5	8	50
20	16	31.3	54	4.8

Finalmente en lo que respecta a la industria procesadora de alimentos, estos dos parámetros son expresados a medida que se reduce la concentración del componente alimenticio en un 90% (valor D) a una temperatura de referencia y el cambio de °C (°F) necesario para causar un cambio de diez veces en el valor D, lo cual define al valor z (ver hoja 19 para una mejor comprensión de este término).

La tabla 2 es una recopilación de datos donde se tiene determinados los valores de E_a y D (o su correspondiente valor en otros términos) y provee datos suficientes para en su caso

calcular estos parámetros, cuyos valores para un nutriente particular o componente son dependientes de varias variables, como: pH; potencial de óxido-reducción y, composición del medio (incluyendo la presencia de factores de catálisis tales como metales pesados).

Por lo anterior, en esta tabla, para cada estudio la información se da sobre el componente que fue evaluado, el medio, el pH y el rango de temperatura sobre los cuales los parámetros fueron determinados. También ha de tomarse en cuenta que para el cálculo de los estudios reportados en dicha tabla, el componente bajo estudio obedece a la cinética de reacción de primer orden, por lo que el valor D puede estar directamente relacionado a la constante de velocidad de primer orden por $K = 2.303/D$ (Labuza y Riboh, 1982).

Varias conclusiones pueden obtenerse de esta tabla, la más importante es que existe una escasez de datos cinéticos sobre muchos nutrientes. De hecho el único nutriente que ha sido ampliamente estudiado es la tiamina e igualmente para esta los estudios han sido limitados a relativamente pocos productos alimenticios.

Para la tiamina la E_a parece ser casi independiente del medio, del pH y de la composición, lo cual indica que el mecanismo de degradación térmica es el mismo en todos los medios. El valor D_{121} (el subíndice indica la temperatura a la cual se efectuó la determinación de este valor), sin embargo es fuertemente dependiente de la composición del medio y del pH. Por ejemplo, la degradación de la tiamina fue determinada en puré de chícharos a pH 6.6 y el valor D_{121} resultante fue 163 minutos (Feliciotti y Esselen, 1957), no obstante la destrucción de la misma en preparado de un líquido multivitamínico a pH de 3.2 da un valor D_{121} de 1.35 días. Así la destrucción de la tiamina a pH 6.6 es cerca de 12 veces más rápida que a pH 3.2.

Como se mencionó antes, son pocos los estudios que tienen relación con la estabilidad de otras vitaminas, por ejemplo es

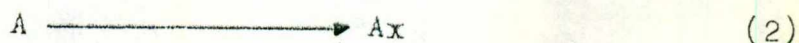
TABLA 2. PARAMETROS CINETICOS PARA LA DEGRADACION TERMICA DE LOS COMPONENTES ALIMENTICIOS.

COMPONENTE	ALIMENTO	pH	RANGO DE TEMP. °C	E _a (Kcal/mol)	D ₁₂₁
Tiamina	chícharo entero	Nat ¹	104-132	21.2	164 min
"	puré de zanahoria	5.9	109-149	27.0	158 "
"	" de chícharo	6.6	"	"	163 "
"	" de espinacas	6.5	"	"	134 "
"	" de hígado de res	6.1	"	"	124 "
"	" de carne de puerco	6.2	"	"	157 "
"	" de chícharos en salmuera	Nat ¹	121-138	"	226.7
Riboflavina	—	—	—	23.0	—
B-1- HCl	preparado de líquido multivitamínico.	3.2	4-70	26.0	1.35 días
Acido pantoténico-d	"	"	"	21.0	4.46''
C	"	"	"	23.1	1.11''
B-12	"	"	"	"	1.94''
Ac. fólico	preparado vitamínico.	"	"	16.8	1.95''
A	"	"	"	14.6	12.4''
Color	chícharos	Nat ¹	79-149	15.0	25.0 min
	espárragos	Nat ¹	"	14.0	17.0''
Reacción de Maillard.	Jugo de manzana	Nat ¹	38-130	27.0	4.52 hr
Oscurecimiento no enzimático.	"	"	"	20.7	4.75''
B-1	carne de puerco	"	? -121	19.5	6.03''
Oscurecimiento.	leche de cabra	6.5-6.6	93-121	27.0	1.08 min
Lisina	Harina de haba	4.4	100-127	30.0	13.1 hr
Textura	chícharos	Nat ¹	77-93	19.5	1.4 min
Peroxidasa	chícharo entero	Nat ¹	110-138	16.0	3.0''

comunmente asumido que la vitamina C es muy lábil al calor, -- sin embargo, se disponen de pocos datos cinéticos para la de -- terminación de los valores de la E_a y del valor de referencia D .

2.2.- CINETICA DE LA PERDIDA DE LOS FACTORES DE CALIDAD DE LOS ALIMENTOS

En general para los alimentos, las pérdidas en el valor de los nutrientes o calidad pueden ser expresadas por la siguiente expresión:



donde: A = calidad deseable = A_0 cuando $t = 0$

A_x = calidad indeseable

t = tiempo

De acuerdo con Labuza (1982), la mayoría de estas reacciones responden a cero o primer orden por la siguiente expresión matemática:

$$-\frac{dA}{dt} = K [Ax]^n \quad (3)$$

donde n es el orden de la reacción y K es la constante de velocidad, la cual es la pendiente de la curva obtenida al graficar la extensión de la reacción contra el tiempo.

Otros ordenes además de estos dos son posibles, tales como el establecido para la degradación de vitamina C en sistemas de empaque donde el oxígeno se encuentra limitado (Singh y col., 1976), pero la mayoría de las reacciones de degradación de los factores de calidad de un alimento son de cero o primer orden, como ya se mencionó.

Para una reacción de orden cero, una gráfica de la extensión de la reacción contra el tiempo es lineal sobre coordenadas cartesianas, mientras que para una de primer orden, es una línea recta sobre un trazo semilogarítmico.

Generalmente los efectos de factores, tales como la viscosidad de la fase reaccionante, el cambio en la concentración debido a la partición entre las fases de agua y grasa, etc., son imposibles de determinar en un sistema alimenticio, por lo que son incluidos en la magnitud de la constante de velocidad.

El conocimiento del valor de K permite a uno predecir la extensión de la reacción para cualquier tiempo. En los productos alimenticios, este debe de ser visto como un parámetro de trabajo y no como uno de mecanismo (Labuza y Riboh, 1982).

Siendo A el parámetro que se degrada o reduce por el tratamiento térmico y de la ecuación (3), transponiendo términos, integrando y pasando a logaritmos decimales, se obtiene:

$$\frac{2.303}{K} \log \frac{A}{A_x} = t \quad (4)$$

donde A y A_x ya están definidos (ver hoja 15), pero que en otras palabras significan respectivamente, el valor inicial y final del parámetro que se degrada o reduce por un tratamiento térmico de duración t.

Para $A_x = A/10$, el tiempo de tratamiento es igual a la constante $2.303/K$. Este valor es denominado tiempo de reducción decimal, se designa por D y se define como el tiempo de calentamiento a la temperatura de referencia (T) necesario para reducir o degradar un factor de calidad diez veces (ver fig. 1).

Sustituyendo el valor D en la ecuación (4) se obtiene lo siguiente:

$$D \log \frac{A}{A_x} = t \quad (5)$$

Ahora, el tiempo necesario para que la inversa de A/A_x se reduzca hasta un valor determinado a consecuencia de un tratamiento a temperatura constante, se designa por F y es definido por:

$$F = D \log \frac{A}{A_x} \quad (6)$$

Esta ecuación puede tomar el nombre de primera ley de degradación de un factor de calidad termolábil (Rodrigo y col., 1980). El carácter exponencial de esta ley indica que teóricamente no puede llegarse a un valor nulo de un factor de calidad por mucho que se prolongue el tiempo de tratamiento. En consecuencia se fija un valor final del parámetro en cuestión que no llegue a afectar desfavorablemente a la calidad del producto.

Generalmente el término F se refiere a la cinética de destrucción de microorganismos y cuando se trata de un factor de calidad nutritivo, como en este caso, se sustituye esta designación por el valor C de calidad (Rodrigo y col., 1980).

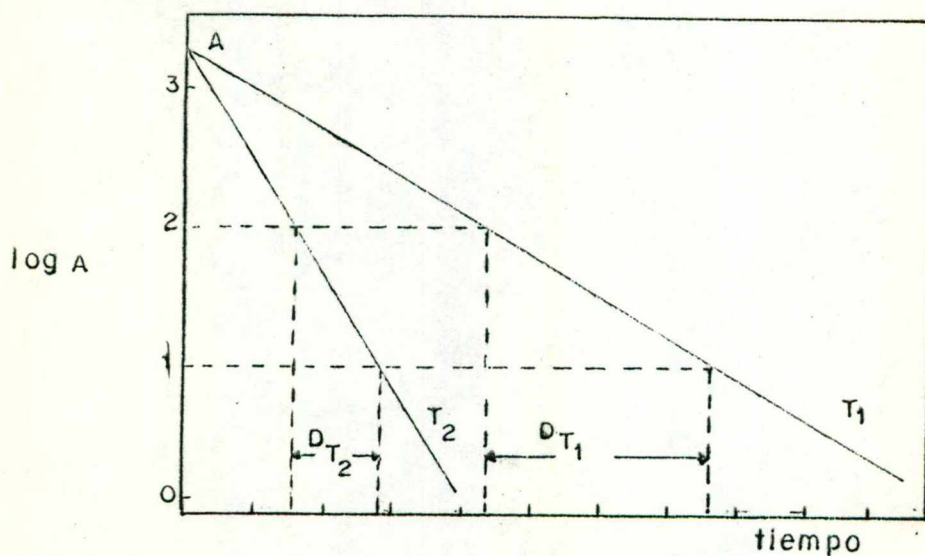


FIGURA 1. Curva de conservación de un factor de calidad termolábil. D_{T_1} y D_{T_2} corresponden a los valores para un mismo factor en un mismo producto, sometido a diferentes temperaturas.

La segunda ley de la cinética de degradación de los factores de calidad o de microorganismos se refiere a la relación entre el tiempo de destrucción térmica (T.D.T.) o la energía de activación de Arrhenius (E_a) y la temperatura. Esta relación se representa en gráfica semilog llevando los valores de T.D.T. o de E_a frente a los de la temperatura (ver fig. 2).

De esta gráfica se puede deducir el parámetro z que mide la variación de la velocidad de degradación térmica con respecto a la temperatura y se define como el intervalo de temperatura necesario para conseguir una variación 10 veces en el valor de T.D.T. o en su caso en E_a (Rodrigo y col., 1980).

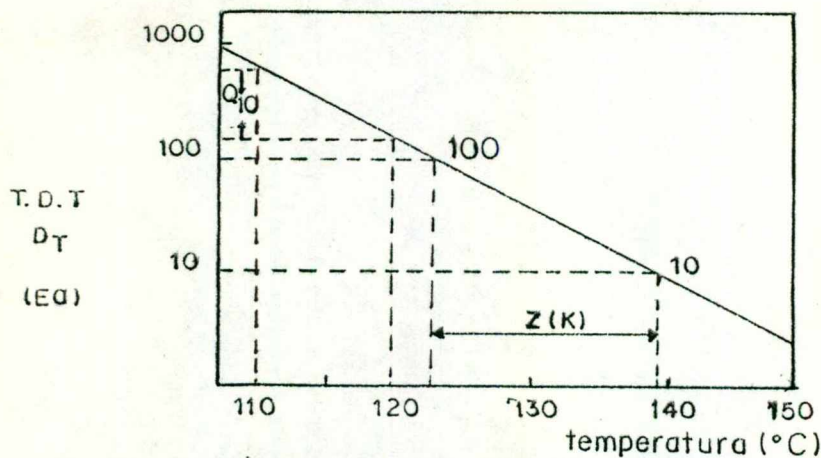


FIGURA 2. Curva de destrucción térmica TDT ó D_T .

De la anterior figura, considerando dos temperaturas cualesquiera T_1 y T_2 se puede establecer por semejanza de triángulos lo siguiente:

$$\frac{\log D_{T_1} - \log D_{T_2}}{\log 10} = \frac{T_2 - T_1}{z} \quad (7)$$

eliminando logaritmos, y multiplicando por n , y considerando $T_1 = 121^\circ\text{C}$ se obtiene:

$$D_{121} \cdot n = D_{T_2} \cdot n \cdot 10^{\frac{T_2 - T_1}{z}} \quad (8)$$

Ahora, teniendo en cuenta la ecuación siguiente, en la que se tiene ya introducido el término C por el de F:

$$C_{121} = D_{121} \cdot 12 \quad (9)$$

y en la que se establece que la probabilidad de encontrar un envase con algún factor de calidad no degradado sea solamente de uno por cada billón, lo que equivale a que el factor de calidad determinado debe de reducirse o degradarse en un factor 10^n tal que $A/Ax = 10^{12}$ (esta consideración está referida a microorganismos -Clostridium botulinum- por lo que el anterior concepto es una aproximación para factores de calidad), se llega a las siguientes ecuaciones:

$$C_{121} = C_T \cdot 10^{\frac{T - 121}{z}} \quad (10)$$

o bien,

$$C_T = C_{121} \cdot 10^{\frac{121 - T}{z}} \quad (10a)$$

que representan la curva del T.D.T. y son otra expresión de la segunda ley de la cinética de degradación de factores de calidad o microorganismos:

Algunos autores en lugar del parámetro z utilizan el Q_{10} ya definido (ver hoja 11), pero que en otras palabras se refiere a la variación del T.D.T. o de la Ea cuando la temperatura varía 10°C . También por semejanza de triángulos, en la figura 2 se puede establecer:

$$\frac{\log Q_{10}}{10} = \frac{1}{z} \quad (11)$$

Se han propuesto también los parámetros semiempíricos K y Ea para sustituir respectivamente a z y D_T . Sin embargo, como los resultados obtenidos con los parámetros Ea y K son muy similares a los obtenidos con D_T y z se utilizan más estos últimos que requieren de cálculos más simples (Rodrigo y col, 1982).

2.3.- MODELO DE ARRHENIUS

La influencia de la temperatura sobre la velocidad de una reacción ha sido derivada empíricamente, de mecanismos termodinámicos, estadísticos y de otros medios. Básicamente el log de K es proporcional al inverso de la temperatura absoluta:

$$K = K_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (12)$$

donde K_0 = factor pre-exponencial

R = constante universal de los gases

T = temperatura en °K

E_a = energía de activación

Esta ecuación (de Arrhenius) establece que una gráfica de $\ln K$ Vs $1/T$ absoluta da una línea recta, cuya pendiente es la E_a/R . Así, por el estudio de una reacción y la medida del valor de K a 2 ó 3 temperaturas altas, se podrán efectuar extrapolaciones con una línea recta a temperaturas más bajas y así predecir la velocidad de la reacción a estas temperaturas. Esto deberá acortar el tiempo experimental considerablemente, especialmente si los valores de Q_{10} o de la E_a fueron altos.

Los posibles errores teóricos y prácticos usando este tipo de extrapolación serían (Labuza y Riboh, 1982):

1. La heterogeneidad de la muestra alimenticia puede causar error de muestreo y,
2. La muestra misma puede contener sustancias que interfieran con los análisis.

Por otro lado, el error en la precisión analítica para la medición de la pérdida de calidad o de evaluación de la calidad sensorial generalmente es alrededor de $\pm 5\%$.

Para reducir significativamente el error máximo en el valor de K debe tenderse a más o menos grandes extensiones de una reacción determinada, pero en muchos casos, esto sería imposi-

ble, ya sea porque el alimento debería de tener un grado mayor al de la calidad aceptable y/o porque debería tomar una longitud imposible. Por ejemplo, en consideración a las pérdidas de nutrientes, el error en K si se tiene un 30% de pérdidas será tan grande como $\pm 25\%$, así la gráfica de $\ln K$ Vs. $1/T$ mostrará una desviación muy grande si el error en K está incluido.

No obstante, para Labuza y Riboh, (1982), un error adicional en el valor de K es el resultado de la elección del orden de la reacción. Sin embargo, para pérdidas de nutrientes mayores del 50%, el error en K es menor de $\pm 5\%$ dado que la diferencia estadística calculada entre el primer y cero ordenes es pequeña. Si se consideran los errores en K tanto como los de orden, el error resultante en la E_a calculada para las reacciones de degradación de nutrientes será aproximadamente de $\pm 25\%$.

2.4.- DESVIACIONES DEL MODELO DE ARRHENIUS

Debido a que básicamente los modelos indican que la pendiente del $\ln K$ Vs. $1/T$ puede no ser siempre una línea recta pero puede ser una función de la temperatura, surgen las causas erróneas de la extrapolación.

Consecuencias más serias son otros posibles efectos sobre el valor de K cuando el producto alimenticio es mantenido a temperaturas extremas (Labuza y Riboh, 1982), estos incluyen los siguientes factores:

1. A medida que la temperatura aumenta, puede ocurrir un cambio de fases. Por ejemplo, el paso de grasa sólida a un estado líquido. Los reactantes orgánicos pueden estar móviles en la grasa líquida y no en la fase sólida. Debido a esto la vida de anaquel será subpredicha para la temperatura más baja considerada.

2. Los carbohidratos en estado amorfo pueden cristalizar a temperaturas más altas, lo que origina más agua libre para otras reacciones pero reduciendo la cantidad de azúcares dispo-

Efecto de la esterilización comercial sobre la retención de nutrientes

5.1.- INTRODUCCION

La esterilización persigue la estabilidad del alimento no su esterilidad absoluta, la cual no es necesario ni procedente conseguir en la industria alimentaria, no solo por razones económicas sino también por la excesiva degradación que experimentaría la calidad organoléptica del producto. Por lo anterior, se utiliza el concepto de esterilización comercial para designar el tratamiento térmico que recibe un alimento envasado y cuyo efecto es la destrucción de los gérmenes patógenos que pudieran desarrollarse bajo condiciones normales de almacenamiento y transporte, pudiendo quedar en condiciones de supervivencia algunos microorganismos que no alteren el producto ni sean causa de riesgo para la salud del público consumidor (Rodrigo y col., 1980).

Debido a la búsqueda de la optimización del procesamiento térmico para la retención máxima de nutrientes, el concepto de esterilización comercial ha sufrido una profunda evolución. Así actualmente el objetivo es la esterilización comercial óptima, con la que se pretende en resumen (Rodrigo y col., 1980):

- 1.- Inactivar enzimas y microorganismos patógenos, destruyendo las posibles toxinas y evitando su formación durante el almacenamiento.
- 2.- Mantener al máximo el valor nutritivo del alimento y sus características propias o desarrollar aquellas que lo hacen apto para el consumo y,

3.- Conseguir el máximo ahorro energético.

La consecución de estos objetivos requiere de estudios específicos para cada alimento a causa de la amplia variabilidad de las características de la materia prima empleada, así como de procesos y tecnologías actuales. Así mismo debe de profundizarse en las investigaciones sobre la velocidad de degradación de los nutrientes termolábiles bajo condiciones dinámicas del medio en que se encuentren, centrando los trabajos en el contenido de diversos nutrientes, porcentaje de variabilidad y métodos analíticos de valor biológico, sobre todo para aquellos alimentos que aporten nutrientes fundamentales.

Estos estudios son imprescindibles porque actualmente la información disponible sobre parámetros de esterilización se refiere casi exclusivamente a productos esterilizados estática - mente según técnicas convencionales, mientras que la referida a la esterilización en autoclaves rotatorios (más próxima a la esterilización óptima) está solo orientada o se limita a preparaciones específicas de algunos países de tecnología avanzada (Rodrigo y col., 1980).

Por todo lo explicado anteriormente, no hay muchos datos sobre la degradación que sufren los nutrientes en los alimentos durante el proceso de la esterilización, la mayor parte se refiere a las vitaminas o se han obtenido de soluciones patrones

En la tabla 5 (Harris, 1975) se recopilan algunos de los datos que se disponen sobre la estabilidad de distintos nutrientes y sus pérdidas máximas durante este proceso (ver hoja 38).

5.2.- LA ESTERILIZACION Y SUS EFECTOS

Las temperaturas que involucra el proceso de esterilización van desde más de 100°C hasta los 150°C y son aplicadas por períodos de tiempo relativamente cortos (del orden de segundos).

La temperatura final a la cual el producto es calentado es por lo general lo suficientemente alta que bastan solo pocos segundos para que se logre una adecuada esterilización con un factor de seguridad de entre 10 y 100. Después de esterilizado el producto, es enfriado rápidamente hasta una temperatura que puede ser tan baja como 10°C (Pflug y Esselen, 1973).

El efecto térmico sobre los nutrientes es mayor con este proceso ya que en esta operación intervienen el tratamiento tiempo-temperatura usado como base del proceso y la velocidad de transferencia de calor dentro del producto; el desarrollo comercial se ha enfocado principalmente al incremento de esta velocidad. Además de estos dos factores en la literatura se mencionan la forma de penetración de calor y la cinética de degradación del nutriente en cuestión.

Globalmente los factores que afectan en la retención de un nutriente de un alimento que ha sido envasado y esterilizado serán: la estabilidad del nutriente frente al calor (en el que intervienen los cuatro anteriores), la solubilidad, su sensibilidad a la luz, la concentración de oxígeno, el pH o acidez del alimento, las interacciones entre los distintos nutrientes o interacciones entre estos y el envase.

Para la esterilización comercial un proceso bajo condiciones HTST resulta en una máxima retención de nutrientes, principalmente para los alimentos que se calientan por convección. Esta mejora es debida principalmente a la diferencia en el coeficiente de temperatura de la destrucción microbiana comparado al de la destrucción del sabor, color y nutrientes termolábiles (Pflug y Esselen, 1973). La figura 5 de Ammerman (1957) confirma lo anterior para la retención de la vitamina C en el jugo de jitomate esterilizado por proceso HTST.

Para los productos naturales que contienen enzimas, el beneficio de este proceso se ve limitado cuando las bases del proceso se cambian de microbios a enzimas (cerca de 132 a 143°C),

lo cual se indicó en el capítulo 2.

El uso del proceso HTST es particularmente adaptable al procesamiento aséptico en el que se utilizan temperaturas mayores de los 150°C por períodos de tiempo muy cortos (del orden de segundos) y en el cual la retención de un nutriente puede ser muy grande. En enlatado aséptico también resulta en un mejoramiento significativo en las cualidades organolépticas del alimento (anónimo, 1970).

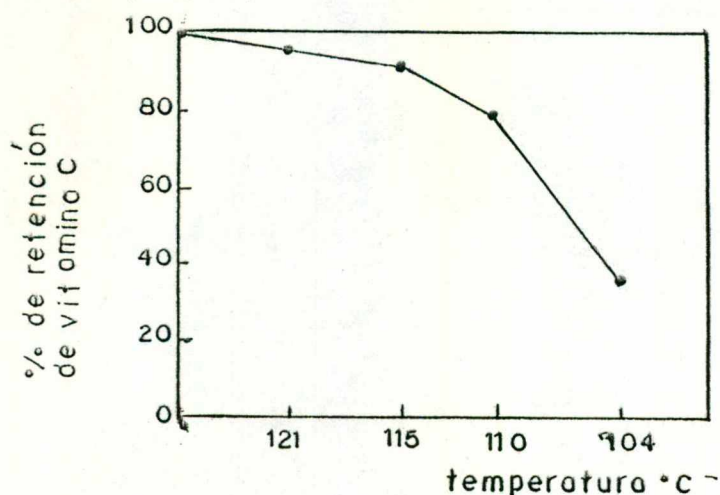


FIGURA 5. El efecto del procesamiento HTST sobre la retención de vitamina C en jugo de jitomate

Como sabemos existen numerosos métodos de procesamiento y posibilidades tiempo-temperatura para lograr la esterilización comercial por lo que no es apropiado asumir que las pérdidas de nutrientes reportadas en la literatura representan el promedio o norma para la industria. Sin embargo, estos datos señalan una carencia crítica de nutrientes particulares en esos alimentos procesados.

Mitchell y col., (1968), reportaron el contenido de nutrientes en alimentos procesados, algunos de los datos reunidos por ellos fueron usados para calcular el porcentaje de pérdida de nutrientes en algunos vegetales enlatados; estas pérdidas se presentan en la tabla 11.

Tales pérdidas representan la suma de las mismas durante el proceso total de enlatado y no obstante que las pérdidas debi-

das al escaldado del vegetal pueden ser bastante grandes, la importancia de la observación es que las pérdidas de nutrientes durante dicho proceso son bastante significativas.

TABLA 11. PORCIENTO DE PERDIDAS DE NUTRIENTES EN EL PROCESO DE ENLATADO

PRODUCTO	Biotina	B ₆	Folacina	A	Niacina	B ₁	B ₂	C
Esparrago	0	64.0	75.2	43.3	46.6	66.7	55.0	54.5
Habas	—	47.1	61.8	55.2	64.2	83.3	66.7	75.9
Ejotes	—	50.0	57.1	51.7	40.0	62.5	63.6	78.9
Remolacha	—	9.1	80.0	50.0	75.0	66.7	60.0	70.0
Zanahoria	40.0	80.0	58.8	9.1	33.3	66.7	60.0	75.0
Maíz	63.3	0	72.5	32.5	47.1	80.0	58.3	58.3
Garbanzos	—	90.6	36.6	83.8	68.8	79.1	61.5	89.7
Hongos	54.4	—	83.8	—	52.3	80.0	45.6	33.3
Chícharos	77.7	68.8	58.8	29.7	69.0	74.2	64.3	66.7
Espinacas	66.7	75.0	34.7	32.1	50.0	80.0	50.0	72.5
Jitomate	55.0	—	53.7	0	0	16.7	25.0	26.1

5.3.- RETENCION DE VITAMINA C DURANTE EL PROCESAMIENTO COMERCIAL DE CHICHAROS

La degradación de la vitamina C durante el procesamiento térmico ha sido de mucho interés debido a su inestabilidad al calor, la luz, metales de catálisis, oxígeno y a su relativa alta solubilidad en agua. Por lo general se considera que la presencia de esta vitamina en los alimentos procesados está altamente correlacionada con la calidad global del producto (Lee y col., 1976).

Por otro lado, son pocos los estudios que han examinado las pérdidas de nutrientes que tienen lugar durante las operaciones intermedias del procesamiento de esterilización comercial, así mismo existe poca información sobre las diferencias inherentes entre las autoclaves de tipo continuo y las estáticas en consideración a dichas pérdidas. El objetivo de este estudio fue el examen de los aspectos anteriores para la retención de la vitamina C durante el procesamiento comercial de chícharos.

Para esto se tomaron muestras de chícharos de ocho puntos de las líneas de producción (Lathrop y Leung, 1980): (1) a la entrega; (2) después de una hora de remojado en agua; (3) después del lavado en solución detergente-keroseno y operaciones de selección de tamaño; (4) inmediatamente después del escaldado en agua a 82-88°C por 3 minutos; (5) después del llenado y cerrado de las latas No 303 de las líneas de autoclave continua (6) después del llenado y cerrado de las latas No 303 de la línea de autoclave estática; (7) después de la operación del autoclave continua a 125°C por 12 minutos; (8) después de la operación del autoclave estática a 121°C por 17 minutos.

Las pérdidas de la vitamina C durante las diferentes operaciones del procesamiento se presentan en la tabla 12. La pérdida total de esta vitamina anterior a las operaciones de escaldado fue relativamente pequeña (8%) y puede ser atribuida a la lixiviación de la vitamina puesto que el calentamiento aún no había sido aplicado.

La operación de introducir los chícharos dentro de las latas, adicionar una salmuera caliente (81-94°C) y cerrarlas, resultó en un 44% de pérdidas aproximadamente para los chícharos destinados tanto a las autoclaves continuas como a las estáticas. Si nos basamos sobre los contenidos de vitamina C en cada lata y a la distribución de la misma entre los chícharos y la salmuera (fig. 6), es evidente que estas pérdidas fueron debi-

das casi totalmente a la lixiviación (Lathrop y Leung, 1980).

La operación del proceso se dividió dentro de las líneas de autoclave estáticas y continuas. Ambas operaciones contaron con pérdidas de vitamina C de cerca del 21%, la degradación térmica pareció ser el principal mecanismo de pérdida.

TABLA 12. PERDIDAS DE VITAMINA C DEBIDO A OPERACIONES ESPECIFICAS DURANTE EL PROCESO TERMICO DE CHICHAROS

PROCESO	contenido ^a mg/100g de chicharos	Perdida despues de cada operación %	pérdida acumulativa %
Entrega	24.9±0.9	0	0
Remojado	24.3±1.5	2.4	2.4
Lavado y selección	22.9±2.9	5.8	8.0
Escaldado	18.5±1.1	19.2	25.7
Llenado en caliente :			
A. estática	10.4±0.1	43.8	58.2
A. continua	10.3±1.4	44.3	58.6
Proc. térmico.			
A. estática	8.2±1.1	21.2	67.1
A. continua	8.0±0.9	22.3	67.9

^a = media desviación estandar de 5 ó más muestras.

Como observamos en la figura 6, las pérdidas de la vitamina C se distribuyeron similarmente entre los chícharos y la salmuera después de las operaciones en ambas autoclaves. Es creíble, sin embargo que algo de la vitamina C puede lixiviar antes de que sea destruída por el calor. A causa del importante papel de la lixiviación, la inclusión de menos salmuera en los chícharos enlatados u otros vegetales deberá de resultar en una mayor retención de vitamina C después del procesamiento térmico (Latherop y Leung, 1980).

Las pérdidas de vitamina C durante el llenado y en las operaciones de autoclave demuestran que las líneas estáticas y continuas son esencialmente las mismas en cuanto a la degradación de tal vitamina. Estos resultados son contrarios a lo que generalmente se cree, que las autoclaves continuas resultan en

una mayor retención de nutrientes que las estáticas para alimentos calentados por convección (Lund, 1975a).

Por lo anterior, este asunto es merecedor de futuras investigaciones debido a las muchas variables involucradas.

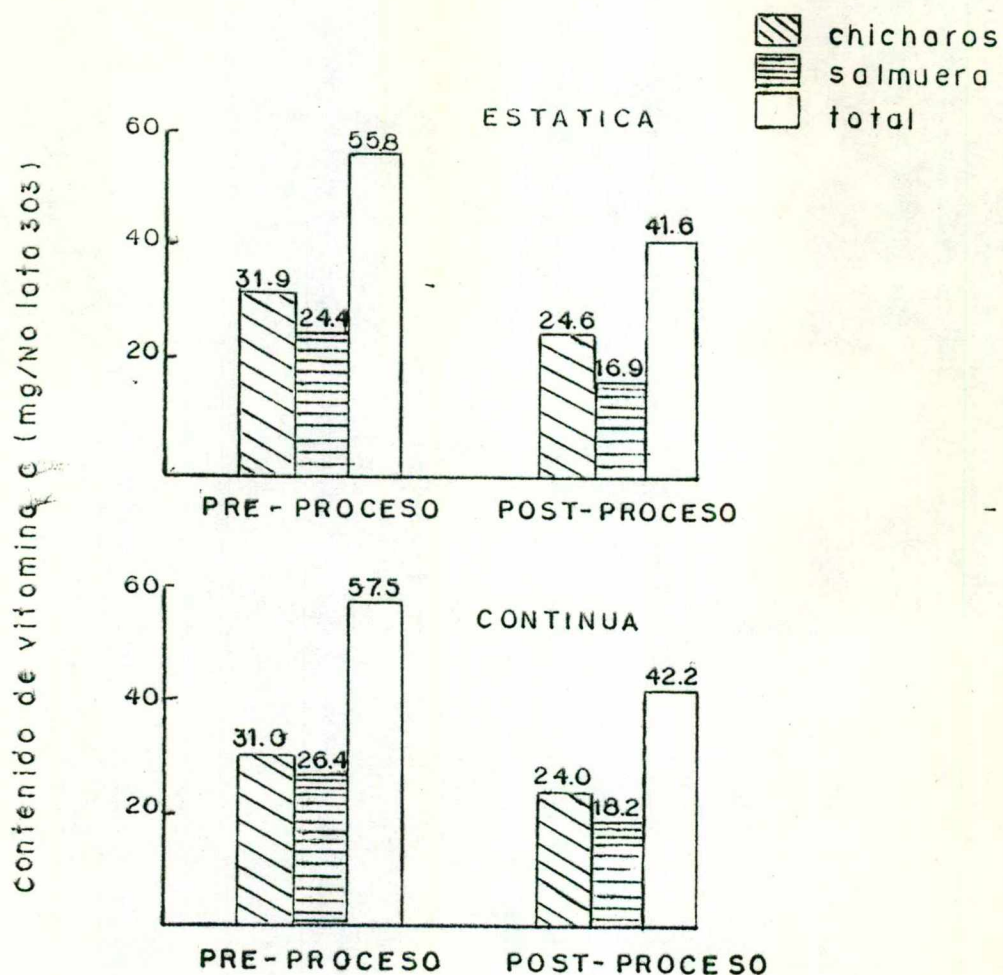


FIGURA 6. Efecto de la esterilización estática y continua sobre la retención de la vitamina C en chicharos enlatados y salmuera

6

Efecto del método de cocinado sobre la estabilidad de los nutrientes

6.1.- INTRODUCCION

Como se ha indicado anteriormente, el cocinado persigue primordialmente incrementar la palatabilidad de los productos alimenticios pero como en todo proceso basado en la utilización del calor, en este se pueden llegar a tener pérdidas significantes de los nutrientes del alimento.

La palabra cocinado es un término muy extenso que abarca -- por lo menos seis formas de calentamiento, entre las que se incluyen, el asado, el rostizado, el cocimiento con vapor de agua el guisado, el freído y el cocimiento en agua. Los tres primeros requieren de calor seco a temperaturas relativamente altas (mayores de 100°C), en el cocimiento en agua como en el guisado el producto permanece en agua hirviendo y el freído involucra el cocinado en aceite a temperaturas mucho mayores a los 100°C.

Se puede pensar que el cocinado es una técnica de preservación puesto que los alimentos que reciben este tratamiento generalmente pueden ser almacenados por largos períodos de tiempo y la recontaminación del alimento con microorganismos dañinos es minimizada. Un método común de preservación es cuando el alimento es almacenado en refrigeración seguido al cocinado (Lund, 1975a).

En el alimento ocurren dos importantes cambios en sus propiedades de preservación como resultado del cocinado: la destrucción o reducción de microorganismos y la inactivación de

enzimas indeseables. Además de estos, existen otros cambios de seables que pueden ocurrir durante el cocinado como es la destrucción de toxinas potencialmente peligrosas y naturalmente presentes en el alimento o desarrolladas a través de microorganismos, la alteración del color, sabor y textura, así como el mejoramiento de la digestibilidad de los componentes del alimento.

También pueden ocurrir cambios indeseables tales como la ya mencionada degradación de los componentes nutritivos y la que respecta a los atributos sensoriales. Los principios que pueden ser aplicados para describir los efectos del cocinado sobre la reducción de los microorganismos y enzimas también pueden ser aplicados a los otros cambios que ocurren durante el mismo (Lund, 1975a).

6.2.- EL COCINADO Y SUS EFECTOS

En el caso particular de las proteínas, todos los aminoácidos en los alimentos y especialmente la lisina, la treonina y la metionina son sensibles al tratamiento con calor seco y a las radiaciones. Así en el asado y tostado de cereales, legumbres y preparados de mezclas secas de productos alimenticios, puede tener una reducción significativa de los valores biológicos de sus proteínas (Harris, 1975).

También el encafecimiento de los alimentos puede ocurrir durante el calentamiento prolongado o por un largo almacenamiento, lo que origina una pérdida en la disponibilidad de proteínas y cambios indeseables en las propiedades físicas del alimento. Por otra parte muchos alimentos horneados o freídos, se han dorado intencionalmente para mejorar su apariencia y sabor. En otros productos (jarabe de maple) es claro que la presencia del encafecimiento afecta el valor nutritivo pero incrementa también su aceptabilidad (IFT, 1980).

Los carbohidratos pueden llegar a ser más digeribles y más

aprovechables por proceso térmico suave. La mayor pérdida en la disponibilidad de los mismos se debe a su interacción con las proteínas debido a la reacción de Maillard.

Las grasas en los alimentos no se alteran significativamente por el procesamiento térmico al igual que los minerales, las pérdidas de estos últimos generalmente son debidas a la lixiviación de los mismos (IFT, 1980).

6.3.- INFLUENCIA DEL METODO DE COCINADO SOBRE EL CONTENIDO DE VITAMINAS EN CAMOTES

El camote es un vegetal altamente nutritivo ya que cuenta con un buen complemento de vitaminas y minerales pero el interés de los consumidores por este es bajo, comparándolo con la mayoría de los demás vegetales.

En este estudio se cocinaron muestras de camotes usando los siguientes métodos: Horneado a 190°C por 75 a 90 minutos; hervido a 99°C por 40 a 60 minutos; a vapor a 99°C por 40 a 70 minutos; microondas de 2450 MHz por 18 a 35 minutos y; enlatado comercial a 116°C por 35 minutos.

Los datos obtenidos de los diversos métodos de cocción son presentados en la tabla 13. En esta se observa que el contenido de ácido ascórbico en las muestras que fueron horneadas fue aproximadamente equivalente al de las muestras hervidas y al de las tratadas al vapor y significativamente mayor que al del cocinado por microondas o al de las muestras enlatadas. El nivel de esta vitamina en los camotes enlatados fue aproximadamente 2/3 que el de las muestras preparadas por los otros métodos.

Por otro lado, el método de cocción no afectó significativamente el contenido de carotenoides y las diferencias en riboflavina fueron solo notables en las muestras horneadas.

En conclusión, la retención total de vitaminas fue mayor en las muestras horneadas tanto convencionalmente como eléctrica-

mente, generalmente el enlatado comercial fue más destructivo a las vitaminas que los otros métodos empleados, excepto para los carotenoides. El horneado es seguido en importancia por el cocimiento por microondas en lo que respecta a la retención de los nutrientes para este vegetal (JoNelle y col., 1979).

TABLA 13. EFECTO DEL METODO DE COCINADO SOBRE EL CONTENIDO DE VITAMINAS EN CAMOTES

METODO DE COCINADO	Ac. ascórbico mg/100g	B-2 ug/g	Ac. pantoténico ug/g	Niacina ug/g	carotenoides mg/100g
Horneado	23.3	5.4	8.6	7.8	13.9
Hervido	22.0	2.6	7.0	5.4	13.0
vapor	22.5	3.0	6.2	6.5	13.4
Microondas	21.4	3.8	8.8	7.4	13.7
Enlatado	14.5	3.3	4.4	4.7	13.2

Efectos del procesamiento térmico sobre el contenido de minerales en los alimentos

7.1.- INTRODUCCION

Las sales minerales no son significativamente afectadas durante el procesamiento térmico, estas sólo se pierden por lixiviación en los procesos de lavado, escaldado y cocción. Lógicamente, las pérdidas son mayores si estas operaciones se realizan con agua que si se utiliza vapor y son de mayor importancia cuando es desechado el jarabe o la salmuera de gobierno en un determinado producto, por quien lo consume. Debido a esto es conveniente el consumo de este líquido siempre que sea posible, principalmente en las conservas de hortalizas al natural, muy ricas en sales minerales (Rodrigo y col., 1980).

La oxidación de las sales minerales también puede ocurrir en los alimentos; pueden ser oxidadas a valencias más altas por su exposición al oxígeno pero no hay evidencia convincente de que su valor nutritivo se vea afectado.

En la tabla 5 (hoja 38) se dan los valores promedio de pérdidas de sales minerales para algunos alimentos que son esterilizados (Harris, 1975).

7.2.- VARIACION EN LOS CONTENIDOS DE MINERALES DE VARIAS CLASES DE FRIJOLES PROCESADOS TERMICAMENTE

Muestras crudas y tratadas térmicamente de diferentes clases de frijoles de la especie *Phaseolus vulgaris* fueron analizados en cuanto a su contenido de nueve minerales. La variabi-

lidad de las concentraciones de esos minerales en muestras tratadas térmicamente con pocas excepciones, fueron mayores que las correspondientes en el material crudo (Augustin y col., 1981).

Las muestras de frijoles fueron llevadas primero a hervor y mantenidas así por dos minutos, seguido de un período de retención de una hora, recalentados y hervidos a fuego lento. Los replicados de las muestras fueron tratados térmicamente usando tres diferentes tiempos de cocimiento y evaluados mediante una prueba panel usando una escala de 5 puntos para un rango desde casi no cocido a casi sobrecocido. Basados en los datos obtenidos en esta prueba, para que el frijol estuviera cocido, el hervor a fuego lento fue de 60 minutos para todas las clases de frijoles excepto para dos, que fue de 45 minutos.

Se hicieron análisis para la cuantificación de los siguientes minerales: fósforo por espectrofotometría; sodio y potasio por espectrofotometría de emisión de flama; calcio, magnesio y hierro y cobre por absorción atómica. La tabla 14 resume el rango de composición de minerales obtenido en este estudio, estos datos revelan una considerable variabilidad en la mayoría de los minerales tanto en las muestras de frijol crudo como en las del frijol cocido. Errores introducidos por los procedimientos analíticos son un factor contribuyente a la variabilidad global para cada nutriente.

TABLA 14. RANGOS EN COMPOSICION DE MINERALES EN FRIJOLES PROCESADOS TERMICAMENTE

MINERAL	CRUDOS 100g	COCIDOS 100g	RETENCION %
Fósforo, g	0.38-0.57	0.36-0.51	89-95
Sodio, mg	4.0 -21.0	1.5 -6.9	33-37
Potasio, g	1.32 -1.78	1.10-1.71	83-96
Calcio, g	0.07-0.21	0.07-0.26	100-124
Magnesio, g	0.16-0.23	0.13-0.22	81-96
Zinc, mg	1.9 -6.5	1.9 -4.0	61-100
Manganeso, mg	1.0 -2.0	1.0 -2.1	100-105
Cobre, mg	0.5 -2.0	0.5-1.10	78-100
Hierro, mg	3.34-8.0	2.88-7.93	86-99

Los valores de retención generalmente excedieron el 80% para todos los minerales exceptuando la retención de sodio, la que fue del 40%. Estos valores pueden variar dependiendo del método de procesamiento (Augustin y col., 1981).

7.3.- CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE MINERALES DURANTE EL PROCESAMIENTO TERMICO DE ARROZ

El agua utilizada en la industria para la preparación de los alimentos debe reunir ciertas características: ser incolora inodora, insípida, libre de Fe, Mn y microbiológicamente aceptable. Por otro lado, los constituyentes menores presentes en el agua doméstica pueden afectar la apariencia, la textura y el valor nutritivo de los alimentos cocinados con ella. Algunos autores han establecido que el contenido de minerales en los alimentos pueden mostrar una amplia variación dependiendo del agua de preparación, de la localización geográfica y del método de procesado (Toma y Tabekhia; 1979).

El arroz como los demás cereales contiene ácido fítico, el cual liga activamente Ca y Mg haciéndolos no aprovechables para el organismo humano. Para determinar los cambios que ocurren en algunos macrominerales y en este ácido fítico, se realizó un experimento en muestras de 3 variedades de arroz. Se usaron 200 gramos de cada variedad más 240 ml de agua doméstica y se trataron térmicamente durante 10 minutos, usando un cocedor automático eléctrico y un vaporizador. Las muestras con control se trataron de la misma forma pero usando agua destilada desionizada (Toma y Tabekhia, 1979).

La tabla 15 muestra los resultados obtenidos y de acuerdo a estos, la totalidad del rango del contenido de macrominerales en el arroz crudo y molido para las 3 variedades es $P > K > Mg > Ca > Na$. Una vez que las muestras fueron tratadas térmicamente, se observa que la concentración de calcio se incrementa signi-

ficativamente, debido a la presencia de iones Ca^{+2} en el agua doméstica. No obstante, el contenido de K^+ que fue aproximadamente 10 veces el del Ca^{+2} mostró una tendencia de estabilidad en todas las variedades después de dicho proceso.

Un significativo incremento en el Mg^{+2} se observó en la variedad M-5 (grano medio), solo cuando era tratado térmicamente en agua doméstica mientras que el incremento del mismo fue ligero en las otras dos variedades; Terso (grano medio) y S-6 (grano corto). Una inmediata explicación para este comportamiento se desconoce (Toma y Tabekhia, 1979).

TABLA 15. CONTENIDO EN ELEMENTOS MINERALES DE ARROZ MOLIDO, CRUDO Y COCINADO

ELEMENTO	VARIEDAD	CRUDO	COCIDO EN DDW ^o	C. EN DTW ^o
mg/100g de arroz				
Ca	Terso.	9.4±0.8 ^b (100) ^c	9.0±0.4(95.7)	13.8±0.6(146.8) ^{c*}
	M-5	7.8±0.3	7.5±0.6(96.1)	12.9±0.7(166.1) [*]
	S-6	11.0±1.0	10.5±0.7(101.9)	13.6±0.1(131.1) [*]
K	Terso	98.9±0.6	100.0±0.5(101.0)	98.1±2.2(99.2)
	M-5	73.6±0.8	74.2±0.6(100.8)	74.9±2.3(101.8)
	S-6	91.1±0.7	91.0±0.5(99.8)	94.2±2.1(103.4)
Mg	Terso	38.5±0.6	38.1±0.2(98.9)	39.2±1.2(101.8)
	M-5	22.7±0.1	23.4±0.5(103.1)	26.5±0.6(116.7)
	S-6	37.0±0.5	35.6±0.6(96.2)	38.7±0.8(104.6)
Na	Terso	5.3±0.2	5.0±0.7(94.3)	12.3±0.7(232.0) [*]
	M-5	4.2±0.1	4.1±0.6(97.6)	12.1±0.5(287.8) [*]
	S-6	4.5±0.2	4.5±0.6(100.0)	12.4±0.6(275.5) [*]
P	Terso	127.7±0.8	126.5±1.1(99.1)	129.4±1.1(101.3)
	M-5	79.9±0.8	77.4±0.6(96.8)	79.0±2.0(98.9)
	S-6	144.4±0.3	146.4±0.2(101.7)	145.6±1.2(101.0) [*]
ppm -d				
Cd	Terso	<0.30	-	<0.21
	M-5	<0.20	-	<0.24
	S-6	<0.24	-	<0.22
Cu	Terso	3.20±0.08	3.00±0.04(93.8)	3.20±0.24(100.0)
	M-5	3.20±0.13	3.10±0.05(96.9)	3.51±0.16(109.4)
	S-6	3.26±0.36	3.10±0.16(95.1)	3.21±0.07(98.1)

TABLA 15. (Continuación)

ELEMENTO	VARIEDAD	CRUDO	COCIDO EN DDW ^a	C. EN DTW ^a
Fe	Terso	13.00 ± 0.20	13.00 ± 0.04 (100.1)	12.81 ± 0.26 (98.5)
	M-5	12.88 ± 0.34	12.0 ± 0.13 (97.7)	12.10 ± 0.34 (98.5)
	S-6	11.00 ± 0.08	11.10 ± 0.15 (100.9)	11.40 ± 0.16 (103.6)
Mn	Terso	7.5 ± 0.23	7.6 ± 0.20 (101.3)	7.60 ± 1.20 (101.3)
	M-5	9.72 ± 1.35	9.63 ± 0.90 (99.1)	9.41 ± 0.97 (96.8)
	S-6	12.14 ± 0.21	12.00 ± 0.65 (98.8)	12.00 ± 0.80 (98.8)
Zn	Terso	7.50 ± 0.94	7.00 ± 0.46 (93.3)	8.10 ± 0.6 (108.0)
	M-5	9.60 ± 0.95	9.41 ± 0.60 (97.9)	10.20 ± 0.65 (106.2)
	S-6	12.00 ± 0.26	11.6 ± 1.00 (96.6)	13.10 ± 1.20 (109.1)

^a DDW = agua destilado desionizado

DTW = agua doméstica

^b Media y desviación estandar de 3 observaciones de cada muestra (2 muestras)

^c % de retención

^d Niveles de sensibilidad bajo del instrumento

* Significante al nivel del 5%.

El contenido de Na^+ también se ve incrementado significativamente ($p < 0.05$) para todas las variedades cuando son tratadas térmicamente en el agua doméstica. Para los microminerales se observan cambios no significativos para las 3 variedades tratadas térmicamente en ambos tipos de agua, excepto para el Cd que podría existir en trazas que no pueden ser detectadas más allá de los límites sensitivos de los instrumentos. Si bien en los análisis del agua doméstica no se mostró ninguna presencia de Zn, el arroz tratado térmicamente mostró un ligero incremento en el mismo; el más alto porcentaje de retención para este mineral puede ser atribuido a la reducción substancial en ácido fítico.

La tabla 16 muestra que el arroz tratado térmicamente en el agua doméstica reduce su contenido de ácido fítico en aproximadamente 2/3 en las 3 variedades. Este ácido forma una variedad de sales complejas con los minerales a un pH 7.4 en el siguiente orden descendente: $\text{Cu}^{+2} > \text{Zn}^{+2} > \text{Co}^{+2} > \text{Mn}^{+2} > \text{Fe}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$; puesto que las 3 variedades de arroz probadas en este estudio contienen cantidades apreciables de fitato y fueron tratadas térmicamente en agua doméstica que contiene minerales, la formación de sales complejas es evidente (Toma y Tabekhia, 1979).

TABLA 16. CONTENIDO EN AC. FITICO DE ARROZ, MOLIDO, CRUDO Y COCIDO

VARIEDAD	ARROZ CRUDO	ARROZ COCIDO CON DDW ^a	ARROZ COCIDO CON DTW ^a
	mg/100 g muestra		
Terso	191.8 ± 8.7 (100) ^b ^c	187.9 ± 6.9 (98.0) ^c	53.7 ± 4.0 (28.0) ^c *
M-5	139.6 ± 5.4	134.5 ± 3.2 (96.3)	44.8 ± 3.4 (32.1) *
S-6	137.1 ± 4.7	134.6 ± 5.1 (98.2)	41.8 ± 2.6 (30.5) *

^a DDW = agua destilada desionizada; DTW = agua doméstica.

^b = medio y desviación estandar de 3 observaciones de cada muestra (2 muestras)

^c = % de retención.

* = significativo al nivel del 5%.

Almacenamiento de alimentos pasteurizados y esterilizados comercialmente

8.1.- INTRODUCCION

Si el procesamiento térmico fue exitoso el alimento envasado debe de guardar una condición tal que no ocurrirá su descomposición biológica, estarán presentes microorganismos termófilos pero a menos que las temperaturas de almacenamiento sean excesivas, tal descomposición es improbable.

Sin embargo y contrario a esto, las reacciones bioquímicas no están eliminadas, pudiendo ocasionar muchos cambios en los alimentos durante su almacenamiento, cambios favorecidos principalmente debido a las altas temperaturas y humedades ya que ambas conducen a la infestación, al crecimiento microbiano, al aumento de la actividad enzimática y al deterioro químico, los que producen pérdidas cuantitativas y cualitativas en los nutrientes del alimento almacenado (Buera y col., 1984).

Las reacciones químicas que tienen lugar durante el almacenamiento de los alimentos procesados térmicamente afectarán el sabor, color, textura y el valor nutritivo de dichos alimentos la corrosión interna de los envases seguirá la misma trayectoria.

Por lo que respecta a las vitaminas, estas se destruyen, situación que se magnifica en productos tales como harinas y concentrados proteícos. Las proteínas pueden llegar a ser menos aprovechables fisiológicamente durante su almacenamiento, esto es, su estructura molecular puede cambiar de tal manera que el organismo es menos apto para aprovecharlas; esto puede ser a -

tribuido a la reacción de Maillard. Así mismo, los aminoácidos pueden perderse a velocidad lenta cuando los alimentos se almacenan a temperatura ambiente. El encafecimiento de los alimentos debido a un largo período de almacenamiento origina una pérdida en la disponibilidad de las proteínas y produce cambios indeseables en las propiedades físicas del alimento.

En cuanto a las grasas, también pueden perderse durante el almacenamiento prolongado, pero en presencia del aire (IFT, 1980).

En el caso de los alimentos que son empacados en vidrio, deben de ser protegidos contra la luz, ya que las reacciones catalizadas por esta incluyen blanqueo del color, destrucción de vitaminas y deterioraciones del sabor (Desrosier, 1974).

Por otra parte aunque las temperaturas de congelación no dañan los valores nutritivos de los alimentos almacenados, pueden resultar productos desagradables a la vista del público consumidor.

Estas y otras pérdidas posibles deben de evitarse lo más que se pueda mediante un adecuado almacenamiento y empaado de los alimentos procesados para evitar la acción de todos los factores implicados en dichas pérdidas.

8.2.- ALMACENAMIENTO DE LOS ALIMENTOS PASTEURIZADOS

En el caso de los alimentos pasteurizados, los nutrientes de mayor termolabilidad son generalmente los de mayor interés durante el almacenamiento de los mismos. Podría ser razonable que a temperaturas bajas de almacenamiento sea más lenta la velocidad de degradación de los nutrientes, no obstante en esta clase de productos el empaado adecuado es muy importante para extender la vida de anaquel de los mismos, debido a que la oxi

dación, la luz visible y la ultravioleta pueden resultar en un mayor mecanismo de pérdidas (Lund, 1975a).

El almacenamiento de la leche pasteurizada ha recibido bastante atención al respecto, las bajas temperaturas de almacenamiento y sus tiempos relativamente cortos minimizan las pérdidas de nutrientes en la misma. Sin embargo, ocurre una pequeña destrucción de nutrientes que es catalizada principalmente por la luz visible y ultravioleta; por consiguiente, las consideraciones de empaclado en la leche pasteurizada son de primordial importancia.

8.3.- ALMACENAMIENTO DE LOS ALIMENTOS ESTERILIZADOS COMERCIALMENTE

Una concepción errónea entre los consumidores y el personal de la industria alimenticia es la de que los productos esterilizados permanecen inmutables durante su almacenamiento. Contrariamente a esto, los cambios organolépticos y la degradación de nutrientes si ocurren y su extensión es dependiente de la temperatura y tiempo de almacenamiento, del sistema de empaclado y de las características del producto (Lund, 1975a).

La dependencia de las velocidades de reacción sobre la temperatura debería de ser similar en magnitud a las reportadas en la tabla 2 (hoja 14 y 15). Puesto que la E_a es debilmente dependiente de la temperatura, el rango de temperatura sobre la cual fue determinada debe de ser dado y una extrapolación sobre un rango de temperatura amplio deberá de ser evitado. No obstante, este concepto puede ser aplicado a las temperaturas de almacenamiento.

Por medio de la tabla 17 nos podemos dar cuenta que una temperatura baja de almacenamiento resulta en una mejora de retención de nutrientes.

Por otro lado, las temperaturas de almacenamiento entre 10_

y 18°C requerirán de un depósito refrigerado, lo que deberá de ser económicamente factible solo si el consumidor está dispuesto a pagar el incremento del costo en el alimento. Teniendo el consumidor conciencia de este incremento y con el advenimiento de una declaración obligada de niveles específicos de nutrientes en la etiqueta del producto envasado, puede llegar a ser ventajoso tanto legal como económicamente, seleccionar las temperaturas de almacenamiento que resultarán en una mayor vida de anaquel con un nivel especificado de nutrientes en el producto (Lund, 1975a).

TABLA 17. RETENCION DE VITAMINAS EN ALIMENTOS ENLATADOS, DURANTE SU ALMACENAMIENTO

PRODUCTO	Condiciones de almacén		% de retención				
	°C	meses	Acido ascarbico	B ₁	B ₂	Niacina	Caroteno.
Chabacano	10	12	96	—	—	—	94
	18	12	93	—	—	—	85
	27	12	85	—	—	—	83
Zonahoria	10	12	—	—	—	—	94
	18	12	—	—	—	—	97
	27	12	—	—	—	—	93
Maíz blanco	10	12	98	97	84	82	90
	18	12	92	85	80	85	95
	27	12	86	78	78	88	91
Maíz amarillo	10	12	98	90	—	89	—
	18	12	94	86	—	89	—
	27	12	89	74	—	91	—
Jugo de fruta de uva	10	12	95	99	—	—	85
	18	12	91	100	—	—	87
	27	12	75	93	—	—	84
Duraznos	10	12	98	92	—	101	—
	18	12	85	90	—	102	—
	27	12	72	81	—	101	—

nibles para la reacción. El error en la predicción de la vida de anaquel variará dependiendo de las proporciones relativas - entre el carbohidrato disponible y el agua en las regiones locales.

3. En el congelamiento, los reactantes son concentrados en el líquido no congelado, lo que crea una más alta velocidad - que no es tomada en cuenta en la medida del valor de K. Así, - en el almacenamiento por debajo del punto de descongelación la vida de anaquel será sobre-predicha a temperaturas más bajas.

4. Si dos reacciones con diferentes valores de E_a , causan - tes de pérdidas de calidad pueden ocurrir en un alimento a temperaturas elevadas, aquella con la E_a más alta puede predominar. Entonces la segunda reacción puede ser causa de una extrapolación impropia o de una interferencia con la primera ---- reacción por catálisis o inhibición.

Por ejemplo, esto ocurre en papas deshidratadas donde la oxidación de los lípidos y las pérdidas de vitaminas liposolubles (E y A) predominan abajo de los 31°C y el oscurecimiento y pérdidas de lisina lo hacen por encima de esta temperatura. Además cualquier reacción con pasos secuenciales o paralelos será afectada, puesto que cada paso tiene su propia K y E_a y la mayoría de los pasos limitantes predominarán. Esto puede entonces resultar en la producción de un diferente producto final y de sabores indeseables en el mismo.

5. El enlazamiento del agua en los alimentos secos varía / con la temperatura, esto resulta en una más alta actividad acuosa a medida que la temperatura aumenta a humedad constante. Este incremento causará a la vez un incremento en la velocidad de reacción.

6. El coeficiente de partición para reactantes entre las fases de aceite y agua puede variar a medida que nuevas fases de aceite son creadas, y la solubilidad de cada reactante cambia a medida que la temperatura aumenta.

7. La solubilidad de los gases, especialmente oxígeno en a-

2.6.- OPTIMIZACION DEL PROCESAMIENTO TERMICO PARA LA RETENCION DE NUTRIENTES

La optimización del procesamiento térmico pretende conseguir mediante un ahorro máximo de energía, la máxima retención posible de los componentes nutritivos del alimento. Así lo está exigiendo el mayor nivel de vida y una mejor información de los consumidores, las necesidades específicas de ciertos sectores (alimentación infantil, hospitalaria, etc.) y ciertas legislaciones en los países más avanzados que obligan a declarar en la etiqueta especificaciones sobre la composición en nutrientes del alimento envasado (Rodrigo y col., 1980).

La búsqueda para la consecución de este objetivo debe tender a modificar groseramente el proceso, básicamente la geometría del recipiente y el tratamiento tiempo-temperatura deberían de ser las variables a modificar, sin embargo actualmente se puede introducir otra variable a través de la modificación del nivel del nutriente (fortificación) y a la estabilidad mejorada del mismo (a través de la reacción química o encapsulación), Lund, (1982b).

En el escaldado, donde se desea la inactivación de enzimas, es difícil predecir un proceso óptimo puesto que los valores de z para enzimas termorresistentes, para nutrientes y factores de calidad son aproximadamente los mismos. Así, el escaldado a condiciones de alta temperatura por períodos de tiempo cortos (HTST) puede no tener ventaja sobre el escaldado a baja temperatura y largos tiempos. Sin embargo, en este proceso la degradación térmica de los nutrientes y de los factores de calidad puede no ser el principal mecanismo de pérdidas de los mismos, ya que por ejemplo durante el escaldado por medio de agua caliente, las pérdidas de nutrientes pueden ser considerables pero debidas a la lixiviación.

Similarmente, las pérdidas debidas a la oxidación pueden tener lugar en el escaldado por aire caliente. Por tanto, considerando las pérdidas oxidativas como las debidas a la lixiviación, el HTST deberá resultar en una mayor retención de nutrientes debido al tiempo de contacto y no a la temperatura (Lund, 1975a).

Para la pasteurización y esterilización comercial, la optimización es muy importante puesto que la inactivación microbiana tiene una dependencia de la temperatura de forma diferente que la destrucción de nutrientes. Por ejemplo, para los alimentos fluidos que son pasteurizados, el proceso HTST resulta en una retención de nutrientes máxima; esto ocurre porque un incremento de la temperatura en este proceso acelera la muerte microbiana más que la degradación de los nutrientes (Lund, 1975a).

En el caso de la esterilización comercial, la optimización no se da en línea recta debido a que el mecanismo de calentamiento dentro del producto viene a ser un importante factor.

Para los productos que se calientan por convección, el proceso resulta en una retención de nutrientes óptima, otra vez una comparación de los valores de z indica que la velocidad de destrucción de nutrientes es menos dependiente de la temperatura que la velocidad de muerte de esporas microbianas. Por consiguiente el proceso HTST favorece la retención de los nutrientes (Lund, 1975a). Sin embargo, a medida que la temperatura de calentamiento se eleva y el tiempo del proceso se acorta, se llega hasta un punto donde el proceso destruye las esporas microbianas pero no destruye las enzimas termorresistentes; esto ocurre debido a una diferencia en la constante de velocidad de la reacción para la destrucción de dichas enzimas comparada a la correspondiente a las esporas.

A baja temperatura la velocidad de destrucción para las enzimas termorresistentes es mayor que para las esporas, pero a

medida que la temperatura se eleva ocurre lo contrario, Por -
consiguiente, se encuentran algunas temperaturas altas en las -
cuales las velocidades de destrucción para las enzimas termo -
rresistentes y para las esporas son iguales. Arriba de estas -
temperaturas "T" la velocidad de destrucción de esporas es ma -
yor que para las enzimas mencionadas y un proceso térmico que -
esté basado sobre la destrucción de esporas no hace totalmente
inactivas a estas enzimas. Por consiguiente, el daño del pro -
ducto debido a las últimas aún activas puede ocurrir.

Actualmente el proceso debe de estar basado sobre la inacti -
vación de las enzimas termorresistentes más que sobre la inac -
tivación de esporas. Las temperaturas en las cuales la veloci -
dad de destrucción de estas enzimas es igual que para las espo -
ras están generalmente en el rango de los 132 a 144°C.

Para los productos que son procesados arriba de estas tempe -
raturas es difícil de calcular exactamente condiciones que re -
sulten en la inactivación tanto de enzimas termorresistentes -
como de esporas y a la vez causen un daño mínimo a los nutrien -
tes u otros atributos de calidad (Lund, 1975a).

En el caso de los alimentos que se calientan por conducción
cada punto de la sección transversal del recipiente recibe un -
proceso térmico diferente que en los demás puntos y el proceso
térmico se basa en el punto de más lento calentamiento (centro
geométrico). Los métodos desarrollados para calcular la letali -
dad del proceso térmico han sido también aplicados para optimi -
zar el proceso en dichos productos y así conseguir la máxima -
retención de los nutrientes.

Por otro lado, Teixera y col., (1969) presentaron (fig. 4)
una relación entre varios tratamientos tiempo-temperatura que -
dan igual letalidad microbiana y retención de nutrientes con -
valores diferentes de z. Aquí se puede observar que la reten -
ción de un nutriente con un valor pequeño de z es favorecido -
por una alta temperatura y un corto tiempo de proceso. La cur-

va para $z = 45^{\circ}\text{F}$ (7.22°C), $D = 188$ minutos, representa la destrucción de la tiamina en puré de judías verdes; se observa que el proceso óptimo en este alimento es de 90 minutos a 248°F (120°C), muy próximo al usado comercialmente.

TABLA 4. OPTIMIZACION DEL PROCESAMIENTO TÉRMICO PARA LA RETENCION DE NUTRIENTES.

PROCESO	METODO PARA LA OPTIMIZACION
Escaldado	Basado sobre consideraciones diferentes a la degradación térmica (lixiviación, degradación oxidativa, daños al producto).
Pasteurización	HTST si las enzimas termorresistentes no están presentes.
Esterilización Comercial	Para alimentos calentados por convección y por proceso aséptico: HTST hasta que las enzimas termorresistentes llegue a ser un factor importante. Para alimentos calentados por conducción: proceso HTST no necesariamente. Difícil, pero no de imposible evaluación.

Más significativo es de notar que a medida que la temperatura del proceso aumenta, la retención de la tiamina disminuye rápidamente. En conclusión, la determinación del proceso térmico que provee una retención de nutrientes óptima en los alimentos calentados por conducción no es simple y requiere de un esfuerzo computacional considerable. Además debe de señalarse que los métodos para los alimentos calentados por conducción no pueden ser aplicados a condiciones de calentamiento y autoclaves donde el producto está íntimamente mezclado, tales como en los intercambiadores de calor de superficie barrida y en las autoclaves agitadoras, debido a que bajo estas circunstancias los productos generalmente reciben un suficiente mezclado tanto que todos los puntos en el alimento reciben aproximadamente el mismo tratamiento de calor letal. Consecuentemente un proceso bajo condiciones HTST favorece la retención de

los nutrientes (Lund, 1975a). La tabla 4 resume los métodos para la optimización en el escaldado, pasteurización y esterilización comercial para la máxima retención de nutrientes.

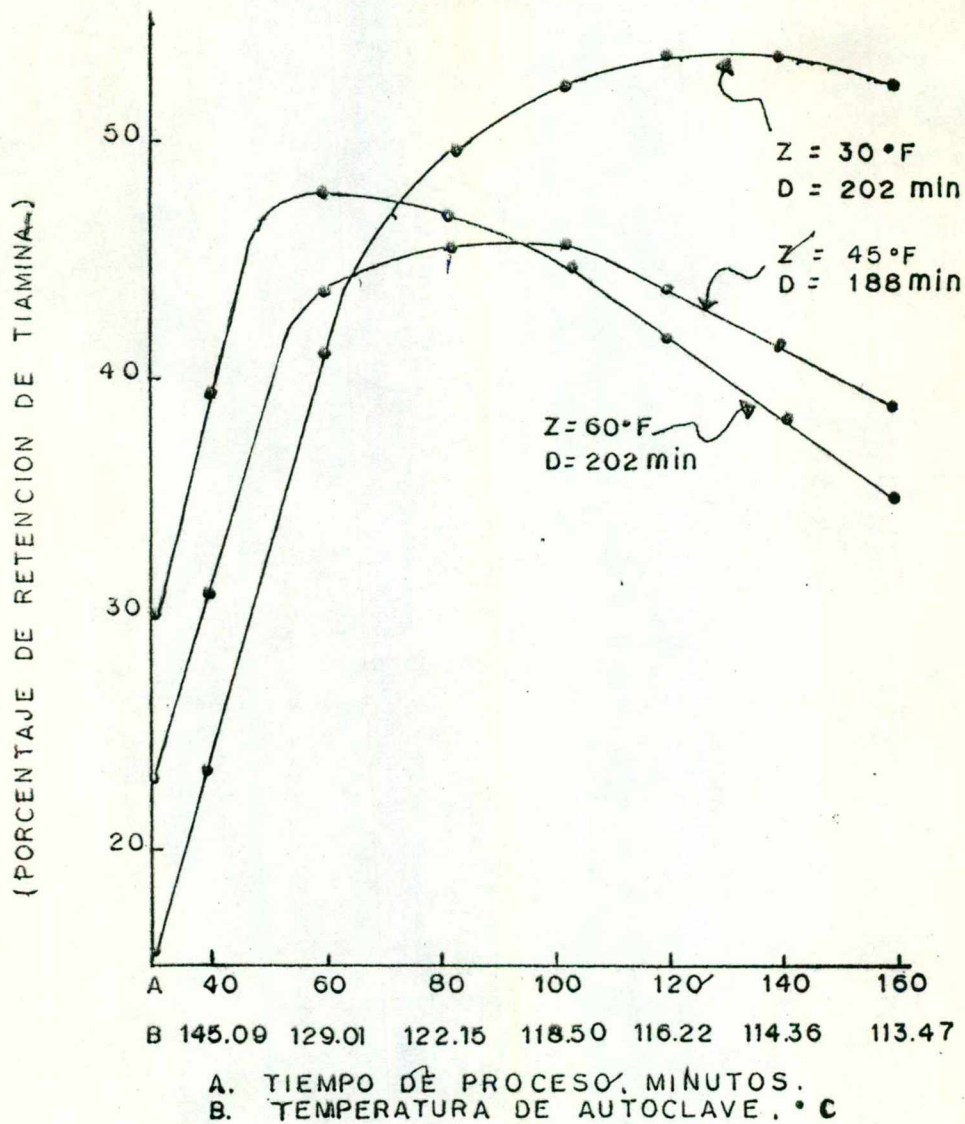


FIGURA 4. Porcentaje de retención de tiamina según el tiempo de proceso y la temperatura del autoclave.

3

Características de la estabilidad de las vitaminas durante el procesamiento de los alimentos

3.1.- INTRODUCCION

Al igual que los demás nutrientes las vitaminas son destruídas cuando los alimentos son procesados durante largo tiempo, porque son sensibles -en mayor o menor grado- al pH del solvente, al oxígeno, luz y calor o combinaciones de estos. Las trazas de elementos (especialmente hierro y cobre), así como las enzimas pueden catalizar estos efectos (Harris, 1975).

En la tabla 5 se muestran las estabilidades relativas de las vitaminas bajo varias de las anteriores condiciones.

3.2.- VITAMINAS LIPOSOLUBLES

VITAMINAS A Y D

Estos dos nutrientes, así como la provitamina A beta-caroteno, son sensibles a los mismos factores aunque si bien existen diferencias cuantitativas en la influencia de estos sobre las mismas. Bajo condiciones comparables la estabilidad de la vitamina D es generalmente igual o mejor que la de la vitamina A (De Ritter, 1976).

Estos 3 nutrientes son sensibles al aire, a agentes oxidantes y a la luz ultravioleta, su descomposición es acelerada debido al incremento de la temperatura y es catalizada por iones minerales.

La vitamina A se destruye completamente cuando se oxida o se deshidrogena; en un pH de 4.5 o menor puede ocurrir una isomerización parcial de esta vitamina durante el almacenamiento de los alimentos, desde su forma trans a la forma cis con una

resultante disminución de la potencia de la vitamina debido a la más baja potencia del isómero cis.

Los carotenoides naturales de las frutas y vegetales son generalmente estables durante los procesos de escaldado, esterilización y congelado, aunque ocurren ciertas pérdidas al freír (Fisher y Bender, 1976), además de que el calor también puede ocasionar alguna isomerización de la forma trans a la cis.

Las frutas y vegetales pierden gran parte de sus carotenoides cuando se secan al aire, mediante los métodos antiguos, así mismo cuando se secan rápidamente a bajas temperaturas como en los métodos actuales; aquí estos alimentos deben de procesarse cuidadosamente y ser prontamente guardados con sellos hermeticos en una atmósfera inerte para evitar grandes pérdidas de sus carotenoides (De Ritter, 1976).

VITAMINA E

Esta vitamina se encuentra en forma natural en los alimentos bajo la forma de tocoferoles libres, de los cuales el alfa tocoferol posee la más alta actividad. La estabilidad de la vi tamina E es influenciada por el solvente en el cual se encuentra disuelta pero en sus formas libres o no esterificadas los tocoferoles son oxidados lentamente en una atmósfera de oxígeno; en ausencia de aire la estabilidad de estos al calor es buena pero oscurecen cuando son expuestos a la luz, principalmente en alimentos y forrajes que son ligeramente alcalinos.

Se ha demostrado que el proceso común de cocinado de los alimentos no causa grandes pérdidas de tocoferol, sin embargo se han encontrado altas pérdidas del mismo durante el almacenamiento de los alimentos que habían sido freídos en aceites vegetales tales como las papas fritas a la francesa y la casi pérdida total cuando los aceites de freído fueron calentados a altas temperaturas (De Ritter, 1976).

Por otro lado, el tocoferil acetato adicionado a los mismos aceites antes del calentamiento sufrió sólo pequeñas pérdidas.

Por lo tanto la estabilidad mayor de la forma ester al calor y a la oxidación hace del tocoferil ester la forma preferida para la fortificación de los alimentos (De Ritter, 1976).

3.3.- VITAMINAS HIDROSOLUBLES

TIAMINA

El pH, la temperatura y el tiempo de calentamiento o almacenamiento son los principales factores en la pérdida de la tiamina en los alimentos que la contienen. Esta vitamina es estable frente a los ácidos aún en el punto de ebullición, pero inestable en condiciones neutras o alcalinas. De acuerdo a esto las pérdidas se acercan al 100% cuando se calienta a pH de 9.0 durante 20 minutos.

El oxígeno, los agentes oxidantes, radiaciones gamma y ultravioleta, así como las tiaminasas naturales de vegetales y de productos animales (especialmente ciertos productos del mar) pueden causar la destrucción de la tiamina. Los iones metálicos, tales como el cobre, pueden catalizar estas reacciones de destrucción. El sulfato cúprico puede atacar e inactivar la molécula de tiamina mediante una reacción muy lenta a pH de 3.0, muy rápida a pH de 5.0 e inmediata a un pH de 6.0 (De Ritter, 1976).

En alimentos de baja acidez, la tiamina se retiene más cuando se emplea el proceso de envasado aséptico que con el proceso convencional, aunque durante el almacenamiento se pierde la vitamina independientemente del proceso de envasado y del producto de que se trate. Parece ser que en el jugo de jitomate la retención de esta vitamina es del 100% tanto en la esterilización convencional como en el envasado aséptico (De Ritter, 1976).

VITAMINA C O ACIDO ASCORBICO

El ácido ascórbico y sus sales de sodio son muy estables en

auscencia de humedad pero en presencia de esta y del aire u otros agentes oxidantes, la vitamina puede ser muy lábil. La velocidad de su descomposición es acelerada por la temperatura, el pH y la presencia de iones metálicos tales como cobre y hierro, estos dos y el oxígeno catalizan la descomposición del ácido ascórbico cuando es expuesto a radiaciones gamma y ultravioleta (De Ritter, 1976).

La vitamina C se puede oxidar tanto con el aire como con la enzima oxidasa del ácido ascórbico, presente en la misma verdura. La oxidación por aire significa que si la verdura se conserva caliente, sobreviene una rápida destrucción de la vitamina. Por ejemplo, si se conserva caliente el puré de papa puede perder la mitad de la vitamina en 20 minutos.

En la planta viva, la enzima oxidasa del ácido ascórbico está separada de la vitamina pero cuando el tejido de la verdura se daña al marchitarse, machucarse, congelarse, rallarse o cortarse finamente, la enzima entra en contacto con la vitamina y principia la destrucción.

Las pérdidas al mantener caliente o recalentar las verduras dependen de la clase de verdura y de la superficie expuesta; aproximadamente la cuarta parte de la vitamina C se destruye al mantener caliente el alimento durante 15 minutos; la mitad en 45 minutos y del 80 al 90% en una hora (Fisher y Bender, 1976).

A causa de sus propiedades reductoras el ácido ascórbico se puede adicionar a los alimentos para mejorar la preservación de la calidad, el color, la estabilidad, palatabilidad y las características de cocimiento. Para lograr la óptima estabilidad del ácido ascórbico durante el procesado de los alimentos es deseable (De Ritter, 1976):

- A) Adicionar la vitamina tan tarde como sea posible en el proceso.
- B) Minimizar el tiempo de calentamiento y la temperatura tanto como sea posible.

- C) Evitar el uso de bronce, latón, cobre, metal monel, acero -
rolado en frío o equipo de hierro negro.
- D) Minimizar el espacio de cabeza en los envases y,
- E) Usar vacío y tratamiento de gas inerte durante el procesa -
miento dondequiera que sea factible.

VITAMINA B₆

Se encuentra bajo tres formas naturales en los alimentos - que son piridoxina, piridoxal y piridoxamina; la estabilidad - de estas dos últimas es significativamente menor que para la - primera. La piridoxina es estable al calor, a los álcalis y á- cidos fuertes, pero es sensible a la luz ultravioleta. La piri- doxal y la piridoxamina son rápidamente destruidas por su expo- sición al aire, calor y a la luz; las tres formas son sensi - bles a la luz ultravioleta en solución neutra o alcalina.

Por otro lado, calentando y almacenando, las pérdidas de vi- tamina B₆ en la leche son altas; el secado por aspersion causa algunas pérdidas de esta vitamina pero menores que las hechas_ durante la pasteurización o esterilización de la leche fluída_ (De Ritter, 1976).

VITAMINA B₁₂

Es ligeramente inestable en soluciones ácidas suaves o alca- linas; en soluciones del rango de pH de 4.0 a 7.0 es más esta- ble a temperatura ambiente. Los agentes oxidantes y reductores así como la exposición a la luz solar tienen un efecto deterio- rativo sobre la misma; la presencia de sales de hierro en solu- ción tienden a estabilizar esta vitamina.

En la leche fluída la vitamina B₁₂ es lábil a altas tempera- turas; en un estudio su retención después de la ebullición por 2-3 minutos fue del 69% y después por tratamiento en autoclave por 13-15 minutos a 119-120°C fue solo del 23% (De Ritter, - 1976).

VITAMINA B₂

Es muy sensible a la luz y su velocidad de destrucción se incrementa a medida que el pH y la temperatura también lo hacen. Así, la riboflavina o B₂ de la leche se pierde rápidamente (50% en 2 horas) cuando es expuesta a la luz solar y su resultante derivada, la lumiflavina, destruye al ácido ascórbico de la leche. Esta vitamina es estable al calor seco o en medio ácido (Harris, 1975).

TABLA 5. ESTABILIDAD DE LOS NUTRIENTES

NUTRIENTE	NEUTRAL		ACIDO		ALCALINO		AIRE OXIGENO ^U LUZ	% PERDIDA POR ESTERILIZACION
	pH=7	<pH 7	<pH 7	>pH 7	>pH 7	>pH 7		
VITAMINAS								
Vitamina A	E	I	E	I	I	I	I	40
ac. ascórbico (C)	I	E	I	I	I	I	I	100
biotina	E	E	E	E	E	E	E	60
caroteno (pro-A)	E	E	E	E	I	I	I	30
colina	E	E	E	E	I	E	E	5
cobalamina (B-12)	E	E	E	I	I	I	I	10
vitamina D	E	—	I	I	I	I	I	40
ac. fólico	I	I	E	I	I	I	I	100
inositol	E	E	E	E	E	E	E	95
vitamina K	E	I	I	I	E	I	I	5
niacina (PP)	E	E	E	E	E	E	E	75
ac. pantotónico	E	I	I	I	E	E	E	50
ac. p-aminobenzoico	E	E	E	E	I	E	E	5
piridoxina (B-6)	E	E	E	E	E	I	I	40
riboflavina (B-2)	E	E	I	E	E	I	I	75
tiamina (B-1)	I	E	I	I	I	E	E	80
tocoferol (E)	E	E	E	E	I	I	I	55
AMINOACIDOS ESCENCIALES								
isoleucina	E	E	E	E	E	E	E	10
leucina	E	E	E	E	E	E	E	10
lisina	E	E	E	E	E	E	E	40
metionina	E	E	E	E	E	E	E	10
fenilalanina	E	E	E	E	E	E	E	5
treonina	E	I	I	I	E	E	E	20
triptófano	E	I	E	E	E	I	I	15
valina	E	E	E	E	E	E	E	10
AC. GRASOS ESCENCIALES	E	E	I	I	I	I	I	10
SALES MINERALES	E	E	E	E	E	E	E	3
E = estable (destrucción no importante) I = inestable (d. significativa)								

Efecto de los métodos de escaldado y pasteurización sobre la retención de nutrientes

4.1.- INTRODUCCION

Como es ya conocido la reducción en el contenido de nutrientes de los productos alimenticios como resultado de un proceso térmico depende de la severidad del mismo, por lo que esta reducción tiene lugar fundamentalmente en las operaciones de escaldado, de pasteurización y de esterilización. esta última se tratará en un capítulo aparte.

El escaldado es uno de los mejores métodos de preservación de alimentos y el más usado para las frutas y vegetales. En estos alimentos, el escaldado inactiva los sistemas biológicos que degradan el sabor y el color, así como los sistemas causantes de la pérdida del valor nutritivo, además de tener otros efectos sobre los mismos, mencionados anteriormente (ver capítulo 1).

Este método se vale de agua caliente o vapor de agua como medios de transferencia de calor, los que constituyen los dos métodos tradicionalmente usados, no obstante, actualmente se ha venido aplicando el escaldado a los alimentos por medio de microondas, aire caliente y vapor sobrecalentado para el logro de sus objetivos (Lund, 1975a).

En el caso de la pasteurización, la mayoría de los alimentos que reciben este tratamiento son de pH bajo (menor de 4.5) ya sea porque el pH natural del sistema es bajo o porque el producto ha sido fermentado para producir el medio ácido.

Para los microorganismos esta condición es adversa por lo que las temperaturas aplicadas en este proceso para la destrucción de los mismos no son muy severas, además debido a que la mayoría de los nutrientes termolábiles son relativamente estables bajo condiciones ácidas, ocurren pocas pérdidas de los mismos debidas a la degradación térmica por las bajas temperaturas aplicadas (Lund, 1975a).

Este proceso generalmente involucra la aplicación de temperaturas por debajo de los 100°C por períodos de tiempo relativamente cortos (del orden de segundos hasta varios minutos), (Pflug y Esselen, 1973).

En la siguiente tabla (6) se muestran los alimentos que reciben el tratamiento de pasteurización y sus respectivos valores de pH.

TABLA 6. ALIMENTOS ENLATADOS CON UN PH MENOR DE 4.5 (ALIMENTOS ACIDOS).

PRODUCTO ENLATADO	valor de pH		
	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO
manzanas	3.4	3.2	3.7
pulpa de manzana	3.6	3.2	4.2
chabacanos	3.9	3.4	4.4
zarzamoras	3.5	3.1	4.0
cereza, negra	3.4	3.3	3.3
cereza, roja	4.0	3.8	4.2
jugo de uva	2.6	2.4	2.8
jugo de limón	3.2	2.8	3.4
jugo de naranja	2.9	2.7	3.3
duraznos	3.7	3.5	4.0
peras, Bartlett	3.8	3.6	4.0
encurtidos, pepinos frescos	4.1	3.6	4.4
jugo de piña	2.7	2.5	3.0
frambuesas, negras	3.7	3.2	4.1
frambuesas, rojas	3.1	2.8	3.5
sauerkraut (col ácida)	3.5	3.4	3.7
fresas	3.4	3.0	3.9
jitomates	4.3	4.1	4.6
jugo de jitomate	4.3	4.0	4.4
puré de jitomate	4.4	4.2	4.6

4.2.- LOS METODOS DE ESCALDADO Y SUS EFECTOS

En el escaldado por medio de agua caliente o vapor de agua muchos sistemas se han diseñado para que el tiempo de contacto del producto con el medio de calentamiento consiga los objetivos de este proceso. En este escaldado tradicional, las temperaturas aplicadas varían en el rango de los 76 a 100°C por un tiempo de hasta varios minutos. Puesto que un proceso que use cualquiera de estos dos medios de calentamiento debe de cumplir tales objetivos y puesto que aquí no debe de parecer una ventaja el uso de un proceso HTST desde un punto de vista de degradación térmica de nutrientes, la diferencia primaria entre estos dos, con respecto a la retención de los nutrientes deberá de ser la extensión de la lixiviación de los últimos. Por ejemplo, en algunas investigaciones se ha atribuido la pérdida de ácido ascórbico en chícharos casi enteramente a la lixiviación aunque la degradación térmica se toma en cuenta también.

Como es esperado, en el escaldado con agua caliente, las pérdidas de vitaminas hidrosolubles aumentan con el tiempo del contacto, no así las vitaminas liposolubles que son relativamente no afectadas.

Los factores que deberán de afectar las pérdidas de nutrientes durante el escaldado por agua caliente deben de ser los factores afectantes de la transferencia de masa (Lund, 1975a): La superficie; la concentración de solutos en el agua caliente y la agitación del agua.

En lo que respecta al escaldado con vapor, se obtiene una mayor retención de nutrientes hidrosolubles que en el método con agua caliente (Lund, 1975a). Recientemente ha sido desarrollado un nuevo método de escaldado por vapor, el cual está diseñado para reducir el escaldado efluente y ha sido llamado escaldado rápido individual (IQB). Se ha indicado que con este nuevo método se obtiene una ligera mejoría en la retención de la vitamina C en comparación al escaldado con vapor convencio-

nal. Esto puede ser debido a que en el IQB cada partícula del alimento recibe individualmente, casi el mismo tratamiento térmico mientras que con el otro método, las partículas que se encuentran sobre la periferia del lecho de escaldado, son generalmente sobre-escaldadas y las que se encuentran en el centro son solo las que se escaldan adecuadamente (Lund, 1975a).

EJEMPLO DE APLICACION DE UN MODELO DE LIXIVIACION PARA DESCRIBIR LAS PERDIDAS DE NUTRIENTES EN PAPAS ESCALDADAS EN AGUA CALIENTE

Son varios los autores que han publicado datos sobre los contenidos de aminoácidos y vitaminas en papas frescas y procesadas y, generalmente estos datos reflejan pérdidas significantes de estos nutrientes.

Por otro lado, no existe un modelo matemático aceptable con el cual predecir estas pérdidas como una función de los parámetros de proceso durante el escaldado con agua caliente. Se han reportado pérdidas de nutrientes debidas a la lixiviación que en algunos casos son dos o tres veces mayores que las pérdidas debidas a la degradación térmica (Artz y col., 1983).

No obstante, Kozempel y col., (1982) mostraron que las pérdidas de sólidos, azúcares y minerales, durante el escaldado por agua caliente, pueden ser predichas a partir de los parámetros de proceso, usando un modelo de lixiviación con la difusión de nutrientes como el paso que controla la velocidad de dichas pérdidas.

En ésta investigación la temperatura del agua de escaldado fue de 77°C mientras que los pasos precedentes al mismo fueron: pelado en sosa a 71°C por 15 minutos (20%NaOH), cortado, lavado en sulfito (1/4% NaHSO₃), tamizado/lavado, enjuagado con sulfito. Las papas fueron cortadas como papas a la francesa de 0.95 cm de espesor, el rango de alimentación fue de 21-29 Kg/h permanecieron un tiempo nominal de residencia de 16 minutos, -

que fue suficiente para escaldar las papas y gelatinizar el almidón (Kozempel y col., 1982).

Por lo que se refiere a las vitaminas se determinó el contenido de ácido ascórbico, tiamina, riboflavina y niacina en las papas frescas, peladas y cortadas, así como después de haber estado estas durante varios tiempos de residencia en el agua caliente de escaldado. La tabla 7 incluye estas determinaciones y los datos muestran una pérdida significativa para las cuatro vitaminas estudiadas.

Tomando como ejemplo al ácido ascórbico y teniendo un buen mezclado en el escaldador, un balance de masa nos dará la concentración de este soluto en el agua de escaldado en estado estacionario, esta puede ser calculada de la siguiente ecuación si se supone que la pérdida de esta vitamina es debida solo a la lixiviación (Kozempel y col., 1982):

$$S = \frac{P M C_1 \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \exp(-\pi D/L^2) \right] + W S_1}{P M \left[1 - \frac{8}{\pi^2} \exp(-\pi^2 D T/L^2) \right] + W} \quad (16)$$

donde P = velocidad de flujo de la papa, Kg/h.

M = contenido de humedad de la papa, por peso.

C₁ = concentración de soluto en equilibrio o inicial en el jugo de la papa, por peso.

D = difusividad, cm²/h.

L = espesor nominal de las piezas cortadas, cm.

T = tiempo de residencia de la extracción, h.

Ahora, conociendo la concentración del ácido ascórbico en el agua de entrada y en el de salida, así como la alimentación de las papas, otro balance de masa nos dará la concentración del ácido ascórbico en las papas a la salida.

La ecuación 16 contiene dos constantes intrínsecas al ácido ascórbico en las papas: la difusividad y la constante de equi-

TABLA 7. CONCENTRACION DE VITAMINAS EN PAPAS ESCALDADAS EN AGUA CALIENTE

VITAMINA	tiempos de escaldado, min. ^o												
	4		8		12		16		20				
	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	
	Papas frescas												
	pelados y cortados												
AC. ASCORBICO (mg)	28.6	17.0	18.6	15.4	16.0	12.2	14.0	13.9	12.6	8.8	11.5		
	36.1	15.6	23.8	18.0	21.0	19.4	18.8	12.9	17.4	14.5	16.3		
	24.9	23.2	16.0	11.0	13.8	12.3	12.0	7.7	10.8	8.6	9.8		
	35.8	25.6	23.0	23.8	19.6	19.4	17.3	17.1	15.3	15.2	14.1		
NIACINA (mg)	6.3	5.6	6.0	4.9	5.3	5.7	5.2	3.5	5.2	5.6	5.2		
	6.1	5.1	5.4	4.9	4.6	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	4.5		
	7.2	6.4	6.2	5.5	5.2	5.2	5.1	5.2	5.1	4.9	5.0		
	6.8	5.8	5.8	5.6	4.9	5.3	4.8	4.7	4.7	4.6	4.7		
TIAMINA (ug)	334.7	302.5	311.9	281.6	293.1	270.8	275.3	288.0	280.8	291.0	247.4		
	344.2			311.1	302.2			247.6	269.0				
	413.0	387.8	384.9	300.8	361.9	316.9	388.9	309.4	320.5	299.9	303.4		
	415.3	396.2	387.0	413.2	363.3	343.1	340.8	340.8	322.3	339.2	305.1		
RIBOFLAVINA (mg)	92.0	81.4	86.2	82.6	81.5	82.5	77.6	69.6	73.4	72.2	70.0		
	90.8	73.6	84.1	75.1	79.3	83.3	74.8	71.5	71.1	65.2	67.6		
	126.6	118.0	117.0	103.5	110.3	102.3	98.6	102.3	98.6	105.2	93.6		
	122.4	117.4	113.1	116.1	106.6	115.7	100.4	115.9	95.3	98.8	90.5		

E = experimental

C = calculado

/100 g papa seca

librio, esta última es la concentración de soluto lixiviado en el jugo de las papas. El valor de C_1 no puede ser analizado directamente, sin embargo, está relacionado a la concentración del ácido ascórbico en las papas según la siguiente ecuación:

$$C_1 = K \cdot C_0$$

donde $K = \text{radio de } C_1/C_0$.

$C_0 =$ concentración de soluto determinada analíticamente en las papas, por peso.

La tabla 8 da los valores para K , D y el respectivo coeficiente de correlación. Estos datos muestran que hubo un alto grado de correlación, se obtuvo un valor de difusividad para el ácido ascórbico de $0.344 \text{ cm}^2/\text{h}$ a 77°C (Kozempel y col., 1982).

Las vitaminas restantes son también hidrosolubles y para correlacionar sus pérdidas se usó el mismo modelo de difusión. De acuerdo a la tabla 8, por los coeficientes de correlación se observa que la pérdida de cada vitamina fue altamente correlacionada por el modelo. El valor de la constante K es mayor de 1 para estas 3 vitaminas.

TABLA 8. CORRELACION DE LOS DATOS DE VITAMINAS

VITAMINA	$K = \frac{C_1}{C_0}$	Difusividad (cm^2/hr)	r
Ac. ascórbico	0.896	0.344	0.984
Tiamina	1.17	0.130	0.997
Riboflavina	1.15	0.121	0.994
Niacina	2.41	2.854	0.997

Recordando que C_1 es el parámetro de concentración del soluto (vitamina) en la fase acuosa de las papas y que C_0 es la concentración de soluto analizada en el total papa-agua más las fases sólidas, el valor de C_1 puede ser igual, mayor que o menor que el valor de la concentración del soluto en la fase sólida, dependiendo esto del soluto, de la temperatura y de la distribución del soluto entre las dos fases.

Se analizaron las papas entrando al escaldador para determinar la concentración de vitamina C_0 , para lo cual se calculó la constante de equilibrio por medio de la ecuación 17, después usando la ecuación 16 y haciendo un balance de masa se predijeron las concentraciones de vitamina en las papas escaldadas.

La tabla 9 presenta los resultados experimentales y los predichos para las cuatro vitaminas, a un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$), la media de las diferencias no es significativamente diferente de cero, por lo que se concluye que este modelo de difusión predice con buen éxito las pérdidas de estas cuatro vitaminas hidrosolubles debidas al escaldado de papas en agua caliente (Kozempel y col., 1982).

En cuanto a los aminoácidos, los resultados obtenidos no son lo suficientemente precisos para permitir trazar curvas de concentración Vs. tiempo de escaldado. Estas curvas son necesarias para correlacionar los datos y así desarrollar un modelo apropiado.

La mayoría de las pérdidas de aminoácidos de las papas puede ser debida a la lixiviación de estos aminoácidos en su forma libre a través de las membranas celulares de la papa, por ser de menor tamaño molecular bajo esta forma más simple de los demás derivados proteicos y porque la mayoría de los aminoácidos en las papas se encuentran bajo la forma de aminoácidos libres.

En las papas y bajo esta forma, la aspargina es el que está

presente en más alta concentración pero se ve limitada en su solubilidad; la glutamina es el siguiente, seguido por el ácido gamma-aminobutírico. El resto de los aminoácidos estudiados también están en concentraciones apreciables como aminoácidos libres. De las proteínas como tales no debe esperarse la lixiviación fácilmente a través de las membranas celulares de la papa.

TABLA 9. PREDICCIÓN DE LAS PERDIDAS DE VITAMINAS DURANTE EL ESCALDADO DE PAPAS

VITAMINA CORRIDA	ac. ascórbico ^a		tiamina ^b		riboflavina ^b		niacina ^a	
	P ^c	E	P	E	P	E	P	E
1	15.6	19.4	207	186	68.4	54.6	3.8	3.8
2	9.7	7.7	—	—	77.3	66.2	4.5	3.9
3	8.8	7.3	162	178	73.3	60.2	3.7	3.7
4	23.9	29.2	255	254	83.1	74.7	3.9	3.9
5	14.0	17.2	220	233	76.0	79.0	4.6	4.8
6	12.8	10.2	237	204	74.3	70.1	4.4	4.4
7	13.2	17.7	229	224	67.0	65.9	4.5	4.4

^a = mg/100 g papa seca

^b = ug/100 g papa seca

^c P = predicho E = experimental

El calentamiento con microondas también ha sido aplicado para el escaldado de los productos alimenticios. De este se asume que la energía de este tipo de radiación no tiene un efecto directo de aumento sobre la degradación de los componentes del alimento más que solo a través de la elevación de la temperatura, por lo cual este tipo de radiación o escaldado deberá de resultar en una retención de nutrientes en el peor de los casos, al igual conseguido utilizando vapor de agua y mejor que el logrado por medio de agua caliente. No obstante, Dietrich y col., (1970), han verificado que el mejor producto en consideración a la retención de la vitamina C en col de brucas, es el conseguido con combinación de procesos que implican el escaldado con microondas y con agua caliente.

Actualmente el escaldado con aire caliente ha sido desarrollado para reducir la lixiviación generada durante la operación propia de escaldado. Si bien son usadas temperaturas arriba de los 121°C , la temperatura en el producto deberá no ser mayor de los 100°C debido a la evaporación de la humedad de su superficie. Aunque no han sido reportados estudios sobre el efecto de este tipo de radiación sobre los nutrientes del alimento, uno de los factores que deberá de contribuir significativamente a las pérdidas de estos, es la oxidación (Lund, 1975 a).

El vapor sobrecalentado también ha sido usado para escaldar pero particularmente los vegetales secos. Si bien no han sido reportados datos sobre el efecto de este proceso sobre los nutrientes, es probable que no deberá de tener efecto mayor sobre los mismos que el comparado con el aire caliente. Aquí se utilizan temperaturas de hasta 106°C .

4.3.- LOS METODOS DE PASTEURIZACION Y SUS EFECTOS

En el caso de los alimentos pasteurizados, la preservación de estos se ve afectada por una combinación del tratamiento de calor y de otros factores tales como un pH bajo, una alta concentración de sal, una alta concentración de azúcar y temperaturas de almacenamiento de 0 a 4°C.

No obstante que las pérdidas térmicas de nutrientes durante este proceso pueden ser pequeñas, las debidas a la oxidación - pueden ser altas, razón por la cual se recomienda desairear - los fluidos antes de pasteurizarlos (Brody, 1971).

Debido al problema de la oxidación, la pasteurización para los alimentos fluidos, tales como jugos de frutas, cerveza, vino, etc., es realizada generalmente en intercambiadores indirectos de calor (tales como el intercambiador de calor de placas) más bien que en otros tipos de pasteurizadores.

El más importante de los alimentos no ácidos que reciben este tratamiento es la leche, el efecto de la pasteurización sobre los nutrientes de la misma ha recibido considerable atención. La tabla 10 de Thompson resume el efecto de la pasteurización y de la esterilización en la leche.

Por otro lado, es ya conocido que un procesamiento bajo condiciones HTST resulta en una mayor retención de los nutrientes afectados por la pasteurización (principalmente tiamina, vitaminas C y B₁₂), sin embargo los datos incluidos en la tabla 10 indican que el procesamiento de ultra-alta-temperatura (UHT) - resulta en una retención significativamente aún mayor de estos nutrientes termolábiles. En el UHT son usadas temperaturas por arriba de los 150°C por períodos de tiempo muy cortos (del orden de segundos).

TABLA 10. PERDIDAS DE NUTRIENTES DURANTE EL PROCESAMIENTO DE LA LECHE

NUTRIENTE	Pasteurización		Esterilización	
	HTST (%)	lenta (%)	UHT (%)	embotellada (%)
Proteínas	0	0	▲	▲
Grasa	0	0	◆	◆
carbohidratos	0	0	○	■
Minerales	0	0	0	0
vitamina A	}	d	0	0
vitamina D				
Riboflavina				
vitamina B-6				
Ac. pantoténico				
Biotina				
Ac. nicotínico				
Tiamina	10	10	10	35
vitamina C	10	20	10	50
Ac. fólico	0	0	10	50
vitamina B-12	0	10	20	30

▲ = desnaturalización de las proteínas de la leche en polvo.

◆ = algo de pérdida de ac. grasos polinsaturados

■ = ligera pérdida del valor nutritivo