EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA DEGRADACION AEROBICA DE VITAMINA C EN JUGOS DE FRUTAS CITRICAS

Juan de Dios Alvarado[1] *y Nelly Palacios Viteri*[2]

Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
Universidad Técnica de Ambato
Ambato, Ecuador

RESUMEN

Por el método de la 2, 4 - dinitrofenilhidrazina se determinó el contenido de ácido ascórbico total en jugos de lima, limón, mandarina y toronja, frescos y mantenidos a cuatro temperaturas por diferentes tiempos. Se comprobó en todos los casos que la degradación aeróbica del ácido ascórbico sigue una cinética de primer orden, y que los valores de la velocidad de reacción son diferentes entre las especies y aún entre variedades de limón y mandarina; se informan los valores de los términos de las ecuaciones y se citan ejemplos de aplicación. En el rango de 20º a 92ºC, el efecto de la temperatura sobre la velocidad de degradación del ácido ascórbico es descrito satisfactoriamente por la ecuación de Arrhenius, calculándose los correspondientes valores de energía de activación para compararlos con otros publicados. En base a la aplicación simple del método de dos etapas, y considerando que el ácido L-ascórbico y L-dehidroascórbico son predominantes, los resultados sirven para calcular pérdidas de vitamina C en jugos de frutas cítricas cuando éstos se someten a tratamientos térmicos tradicionales.

INTRODUCCION

Las frutas cítricas constituyen una de las principales fuentes de vitamina C, y su consumo como jugo fresco es predominante en los países latinoamericanos: sin embargo, la cantidad de jugo procesado por acción del calor se incrementa.

Manuscrito modificado recibido: 13–7–88.

1. Docente de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Casilla 334, Ambato, Ecuador.

2. Asistente de Investigación, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la misma Universidad.

Matthews y Hall (1) se refieren al ácido ascórbico total como la suma de ácido L-ascórbico, ácido L-dehidroascórbico con un valor vitamínico estimado en 75o/o respecto al anterior, y ácido L-dicetogulónico sin actividad vitamínica; las frutas y vegetales frescos contienen en forma predominante ácido L-ascórbico. El término vitamina C se informa como la suma de valores de las dos formas: reducido, ácido L-ascórbico, y oxidado, ácido L-dehidroascórbico (2). En consecuencia, la degradación de ácido ascórbico total está relacionada con una disminución del contenido de vitamina C.

Se han llevado a cabo varios trabajos sobre la degradación de ácido ascórbico. Saguy, Coppelman y Mizrahí (3), señalan que la destrucción del ácido ascórbico puede seguir una ruta aeróbica o anaeróbica; sumarizan los factores que determinan la ruta, y la velocidad de degradación: temperatura, oxígeno, pH, catalizadores metálicos, enzimas, concentración de azúcares y aminoácidos.

Además, existen estudios demostrativos de que la degradación de ácido ascórbico sigue una cinética de primer orden (4, 5); sin embargo, se ha notificado que la cinética de primer orden es válida únicamente en los casos de degradación totalmente aeróbica o totalmente anaeróbica. En situaciones intermedias, la reacción depende de las concentraciones de oxígeno y ácido ascórbico (6).

Labuza (7), presenta una recopilación de datos sobre la cinética de degradación de ácido ascórbico en varios alimentos, y señala que la aplicación del modelo de Arrhenius permite comprender el efecto de la temperatura sobre la reacción. En adición, Saguy y Karel (8) notifican valores típicos de energía de activación para degradación de vitaminas.

En frutas cítricas, se comprobó que la oxidación del ácido ascórbico en jugo de naranja en su estado líquido es una reacción de primer orden cuya velocidad es una función de la temperatura y que ocurre lentamente cuando está expuesto al oxígeno atmosférico a temperatura ambiente (9). En concentrado de jugo de naranja enlatado se estableció, asimismo, que la degradación de ácido ascórbico era rápida al existir oxígeno atmosférico en el espacio de cabeza; la velocidad de degradación disminuyó a menores concentraciones de oxígeno (10).

Estudios más específicos en jugo de limón indican que los niveles iniciales de oxígeno disuelto no tienen efectos significativos en la velocidad de degradación de ácido ascórbico durante el almacenamiento del producto envasado en frascos y almacenado a 36oC (11).

El objetivo del trabajo aquí descrito fue establecer la velocidad de pérdida de ácido ascórbico en jugos frescos de frutas cítricas como una función de la temperatura, definir las ecuaciones correspondientes para calcular las pérdidas que ocurren en fresco, y cuando se someten a procesos de calentamiento en contacto directo con el aire atmosférico.

MATERIAL Y METODOS

Las frutas fueron adquiridas en su madurez comercial en los mercados de la ciudad de Ambato, libres de daños físicos y aptas para el consumo humano. Con cada fruta se hicieron cinco repeticiones, una por semana con frutas de lotes diferentes, por la variación en el contenido inicial de

ácido ascórbico atribuible a diferentes factores como: genéticos, origen del injerto, estado de madurez, conformación física y tamaño del fruto, y posición en el árbol, según lo señalado por Kefford (12). Se trabajó con: lima *(Citrus aurantifolia)*, limón del Oriente *(Citrus limon)*, limón de la Sierra *(Citrus limon)*, mandarina de la Costa *(Citrus reticulata)*, mandarina de la Sierra *(Citrus reticulata)*, y toronja *(Citrus paradisii)*.

La extracción del jugo se hizo en forma manual; luego de filtrado se determinó °Brix en refractómetro Abbe a 20°C y pH mediante un pH-Metro Photovolt Corporation. Se colocaron muestras de 250 ml de jugo contenidas en erlenmeyers de cristal en baños termostáticos a 20°, 40°, 60° y 92°C, con termostatos con una precisión de 0.1°C. Previa agitación, a diferentes intervalos de tiempo que se indican en la Tabla 1, se tomaron alícuotas que fueron enfriadas rápidamente y diluidas con solución de ácido oxálico hasta concentraciones de 400 -1,400 microgramos/100 ml para determinaciones de la vitamina C, además de la muestra de jugo original.

Para cuantificación de ácido ascórbico total se utilizó el método de la 2, 4-dinitrofenilhidrazina (13), previa oxidación de la muestra, con miras a determinar el ácido ascórbico y el dehidroascórbico; como solución extractora se utilizó ácido oxálico y tiourea para prevenir cambios durante el análisis. Fue necesario realizar un ajuste en la lectura espectrofotométrica en el equipo digital Varian 630, obteniendose los mejores resultados a una longitud de onda de 525 nm. En forma paralela, con cada jugo se elaboró la curva estándar con ácido L (+) - ascórbico p.a., y los resultados se informan como mg/100 g, considerando la densidad de los jugos.

El cálculo de las constantes de velocidad se llevó a cabo graficando en coordenadas semilogarítmicas la concentración residual, expresada como porcentaje de retención contra el tiempo según la ecuación cinética de primer orden:

$$\ln (100\,(C/C_0)) = A - Kt$$

siendo C la concentración a un tiempo t, C_0 la concentración inicial, A el valor del logaritmo natural de 100, y K la constante de velocidad de reacción. Por técnicas de regresión lineal se determinaron los valores de K.

En base a la ecuación de Arrhenius:

$$\ln K = \ln K_0 - E_a/RT$$

se graficó en coordenadas semilogarítmicas los valores de las constantes de velocidad contra el inverso de la temperatura absoluta (T). Luego, mediante técnicas de regresión lineal se determinó el valor de la pendiente, lo que permite establecer el valor de la energía de activación (E_a), pues R la constante de los gases es 8.314 Joules/g mol °K ; y el valor de K_0 que corresponde al factor de frecuencia.

El método es referido por Cohen y Saguy (14) como de mínimos cuadrados lineal con dos etapas, siendo menos exacto con relación al método de mínimos cuadrados no lineal para estimar los parámetros de la ecuación de Arrhenius; sin embargo, se utilizó por ser de amplia y fácil aplicación y permitir una presentación más completa de los datos.

TABLA 1

CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO TOTAL (mg/100 g) EN JUGOS DE FRUTAS CITRICAS[1]

FRUTA	SOLIDOS SOLUBLES (°Brix)	TEMPERATURA (°C)	CONCENTRACION INICIAL (C_o) (mg/100 g)	PUNTO DE CORTE EN ORDENADAS (A)	CONSTANTE DE VELOCIDAD (K) (1/s)	COEFICIENTE DE CORRELACION (-r)	VIDA MEDIA (horas)
LIMA	6.34	20	43.5 ± 2.69*	4.6068	$5.0562 * 10^{-7}$	0.978	381
	6.34	40	43.5	4.6014	$3.9157 * 10^{-6}$	0.975	49
	6.34	60	43.5	4.5992	$1.7516 * 10^{-5}$	0.997	11
	6.34	92	43.5	4.5925	$5.5597 * 10^{-5}$	0.995	3
LIMON (ORIENTE)	6.00	20	26.7 ± 2.05	4.6100	$1.6080 * 10^{-6}$	0.971	120
	6.00	40	26.7	4.5972	$6.6172 * 10^{-6}$	0.988	29
	6.00	60	26.7	4.5950	$2.2471 * 10^{-5}$	0.996	9
	6.00	92	26.7	4.5734	$6.7957 * 10^{-5}$	0.984	3
LIMON (SIERRA)	7.56	20	37.9 ± 2.92	4.6158	$2.5191 * 10^{-6}$	0.939	76
	7.56	40	37.9	4.6041	$5.8637 * 10^{-6}$	0.997	33
	7.56	60	37.9	4.5948	$1.4188 * 10^{-5}$	0.989	14
	7.56	92	37.9	4.5721	$4.1959 * 10^{-5}$	0.956	5
MANDARINA (COSTA)	13.40	20	31.7 ± 1.93	4.6068	$2.2635 * 10^{-6}$	0.989	85
	13.40	40	31.7	4.6022	$8.6766 * 10^{-6}$	0.997	22
	13.40	60	31.7	4.6011	$2.8568 * 10^{-5}$	0.999	7
	13.40	92	31.7	4.5901	$8.1248 * 10^{-5}$	0.996	2
MANDARINA (SIERRA)	11.10	20	44.8 ± 3.33	4.6095	$1.5128 * 10^{-6}$	0.976	127
	11.10	40	44.8	4.6046	$5.8074 * 10^{-6}$	0.998	33
	11.10	60	44.8	4.5963	$5.0074 * 10^{-5}$	0.997	4
	11.10	92	44.8	4.5875	$9.2230 * 10^{-5}$	0.997	2
TORONJA	11.20	20	36.9 ± 2.19	4.6066	$5.7548 * 10^{-7}$	0.986	335
	11.20	40	36.9	4.6033	$3.0256 * 10^{-6}$	0.987	64
	11.20	60	36.9	4.5975	$1.5524 * 10^{-5}$	0.994	12
	11.20	92	36.9	4.5945	$5.3935 * 10^{-5}$	0.997	4

$\ln [100(C/C_o)] = A - Kt$

RESULTADOS Y DISCUSION

Según se indicó, en la Tabla 1 se informan los cambios de ácido ascórbico total registrados en los jugos de seis frutas cítricas a cuatro temperaturas y diferentes tiempos. El método de Roe-Oesterling (13), previa oxidación de la muestra, permite determinar el ácido ascórbico total. No obstante, considerando el hecho que en jugos de frutas es predominante el ácido L-ascórbico, los valores pueden ser considerados como una estimación aceptable del contenido de vitamina C. Al comparar los valores iniciales con otros publicados (2, 15) se encuentran diferencias que pueden explicarse por los factores señalados por Kefford (12), en lima 43.5 contra 35 mg/100 g publicado, y toronja 36.9 contra 38 mg/100 g; las mayores diferencias se establecieron en jugo de limón variedad Oriente, 26.7 contra 45 mg/100 g publicado. Sin embargo, el valor experimental es comparable con el determinado mediante cromatografía líquida por Lizcano (16) para limón sutil 26.87 mg/100 g. En adición, se destaca el hecho que las variedades de limón y mandarina cultivadas en las zonas altas acusan una mayor concentración de la vitamina con relación a las cultivadas en las zonas bajas tropicales, en donde los frutos son más grandes y rinden mayor cantidad de jugo.

Según se observa en la Figura 1 –que corresponde a los datos de jugo de naranja– al graficar en escala semilogarítmica el porcentaje remanente de ácido ascórbico total o porcentaje de retención contra el tiempo, a las cuatro temperaturas de trabajo, se cumple la linealidad prevista por la ecuación cinética de primer orden con coeficientes de correlación superiores a –0.97. Lo anterior está de acuerdo con lo informado por varios autores (4, 5, 9, 10) respecto a la cinética de degradación aeróbica de ácido ascórbico en alimentos. Resultados similares se establecieron en los jugos de todas las frutas en consideración. Como es de esperar, el valor del punto de corte en ordenadas de las ecuaciones es próximo a 4.6052 el logaritmo natural de 100, y la velocidad de degradación se incrementa con la temperatura, indicado por los valores más altos de las pendientes a temperaturas mayores, que corresponden a las constantes de velocidad de reacción (1/s).

Son escasos los valores de las constantes de velocidad de reacción para pérdida de vitamina C en frutas y vegetales frescos y durante el procesamiento térmico. Labuza (7), señala que una de las causas es que el deterioro de los componentes ocurre en el orden siguiente: sabor, color, textura y, con posterioridad, pérdidas nutritivas. No obstante, para establecer comparaciones, Saguy, Kopelman y Mizrahí (3) notifican datos de jugo de toronja con 11.2° Brix en condiciones anaeróbicas: $2.127 * 10^{-5}$ /s. a 61°C, $4.172 * 10^{-5}$ /s. a 95°C. Según se indica en la Figura para jugo de toronja con 11.2° Brix, los valores son semejantes: $1.5524 * 10^{-5}$ /s. a 60°C y $5.3935 * 10^{-5}$ /s. a 92°C.

En la Tabla 2 se detallan los valores de los términos de la ecuación cinética de primer orden para las seis frutas consideradas, con sus respectivos coeficientes de correlación y los tiempos de vida media –que es el tiempo en el que se destruye la mitad del compuesto. En la columna de los valores correspondientes a la concentración inicial de ácido ascórbico, se incluye la desviación estándar de las cinco determinaciones; las diferencias son pequeñas, con coeficientes de variación inferiores a 0.1. Los

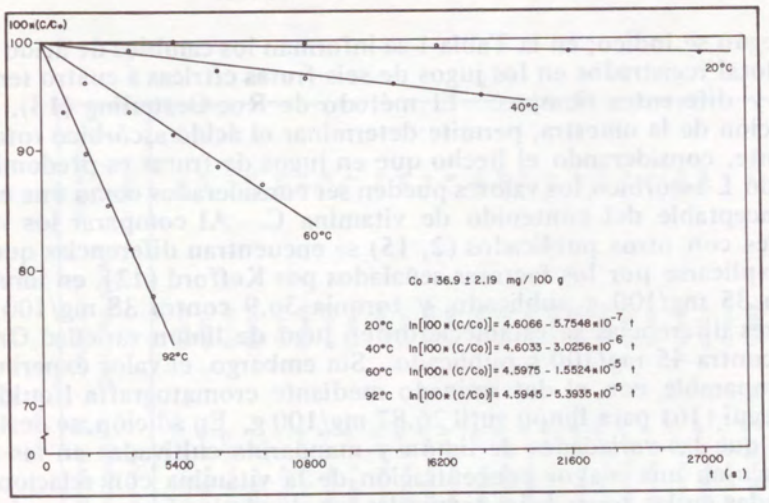

FIGURA 1

Efecto de la temperatura y tiempo sobre la retención de ácido ascórbico (escala logarítmica) en jugo de toronja. Valores promedio de 5 pruebas

valores más altos para la constante de velocidad de reacción se establecen en los jugos de mandarina y limón, lo que indica que la pérdida de la vitamina es más rápida en los jugos de estas frutas en relación a lima y toronja con velocidades de pérdida menores. Lo expuesto se aprecia en forma clara en los tiempos de vida media, a 20°C: lima 381 horas, toronja 335 horas, mandarina Sierra 127 horas, limón Oriente 120 horas, mandarina Costa 85 horas y limón Sierra 76 horas; las diferencias son menos notorias conforme la temperatura aumenta.

Con el propósito de comprobar que las velocidades de reacción son diferentes, se realizó un análisis de varianza considerando los valores correspondientes a cada determinación. Los resultados indicaron diferencias de significado estadístico para los factores temperatura y tipo o variedad de fruta; la prueba de Tukey a un nivel de significación de 0.01 permitió establecer que cada fruta acusa una velocidad de degradación específica, aún entre variedades, como es el caso del limón y la mandarina.

Las ecuaciones cinéticas pueden ser aplicadas de dos maneras: para estimar la cantidad residual de vitamina C cuando un jugo es calentado a temperatura constante por determinado tiempo, o para estimar el tiempo en que se destruye una cantidad determinada de vitamina. En el primer caso, como ejemplo, si el jugo de toronja es pasteurizado a 92°C por 13 segundos, según la ecuación $\ln (100 * C/C_0) = 4.5945 - 5.3935 * 10^{-5} * 13$, el logaritmo natural del porcentaje de retención es 4.5938 y su

TABLA 3

VALORES DE LOS TERMINOS DE LA ECUACION CINETICA DE PRIMER ORDEN PARA LA DEGRADACION DE ACIDO ASCORBICO TOTAL EN JUGOS DE FRUTAS CITRICAS A CUATRO TEMPERATURAS

TIEMPO (segundos)	TEMPERATURA																							
	20 °C						40 °C						60 °C						92 °C					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
0	43.5	26.7	37.9	31.7	44.8	36.9	43.5	26.7	37.9	31.7	44.8	36.9	43.5	26.7	37.9	31.7	44.8	36.9	43.5	26.7	37.9	31.7	44.8	36.9
900																	42.3		40.5	23.9	34.3	28.7	40.1	34.4
1 800													41.8	25.1	36.3	29.7	40.4	35.4	38.4	22.4	33.6	26.5	36.6	33.1
2700											44.1						38.8		36.9	21.4	32.4	25.2	34.4	31.4
3 600							42.9	25.7	37.1	30.4		36.5	40.3	24.3	35.3	28.6	37.2	34.4	35.4	20.4	31.6	23.4	31.7	30.1
4 500																	35.6		33.5	19.3	30.7	21.7	29.2	28.7
5 400	43.5	26.7		31.5	44.8	36.9					43.4		39.3	23.4	34.8	27.0		33.6						
7200			37.8				41.7	25.2	36.1	29.7		35.8	38.1	22.6	33.9	25.7		32.6						
8 100											42.7													
9 000													37.1	21.6	33.1	24.4		32.0						
10 800	43.4	26.4		30.9	44.5	36.7	41.4	24.8	35.6	28.7	42.1	35.5												
13 500											41.6													
14 400			37.1				41.2	24.3	34.7	28.1		35.3												
16 200	43.2	26.2		30.5	43.8	36.6																		
18 000							40.4	23.5	34.1	26.9		34.9												
21 600	43.1	26.1	36.7	30.2	43.6	36.5																		
25 200			35.9																					
27 000	43.0	25.6		29.9	43.2	36.3																		
28 800			35.2																					

* Valores promedio de 5 pruebas, las determinaciones se realizaron por duplicado.

A.- Lima: pH=5.92±0.08; °Brix=6.34±0.42. B.- Limón del Oriente: pH=2.94±0.05; °Brix=6.00±0.10 C.- Limón de la Sierra: pH=2.74±0.05; °Brix=7.56±0.59.

D.- Mandarina de la Costa: pH=4.10±0.07; °Brix=13.40±0.45. E.- Mandarina de la Sierra: pH=4.02±0.15; °Brix=11.10±1.14. F.- Toronja: pH=3.54±0.05; °Brix=11.20±0.45.

antilogaritmo 98.9 que indica una destrucción del 1.1o/o con relación al contenido original. Además, como se conoce la concentración inicial, la concentración residual estará dada por C = 98.9 * 36.9/100 = 36.5 mg/100 g. En el segundo caso, si el jugo de toronja se mantiene a 20oC y se desea conocer el tiempo en que se perderá el 5o/o de la vitamina, el logaritmo natural de 95 es 4.5539 y según la ecuación respectiva t = (4.5539 – 4.6066)/(-5.7548 * 10^{-7}) = 91,576 segundos = 25 horas. Se destaca que, según lo indicado, previamente existirán cambios en el sabor, color y textura; sin embargo, si la temperatura es mayor, los tiempos serán menores.

En la Figura 2 se presenta el gráfico semilogarítmico de los valores de las constantes de velocidad de reacción correspondientes a jugo de toronja contra el inverso de la temperatura absoluta, según la ecuación de Arrhenius. Se observa que el efecto de la temperatura sobre la velocidad de degradación del ácido ascórbico total puede ser descrito de manera satisfactoria por la ecuación en el rango de temperaturas considerado, y el coeficiente de correlación es alto (-0.992); en todos los jugos se establecieron resultados similares. Del valor de la pendiente se calcula la energía de activación 56.90 KJ/g mol, que es superior al informado por Saguy, Kopelman y Mizrahí (3) 20.85 KJ/g mol, y por Kramer (17) para segmentos de

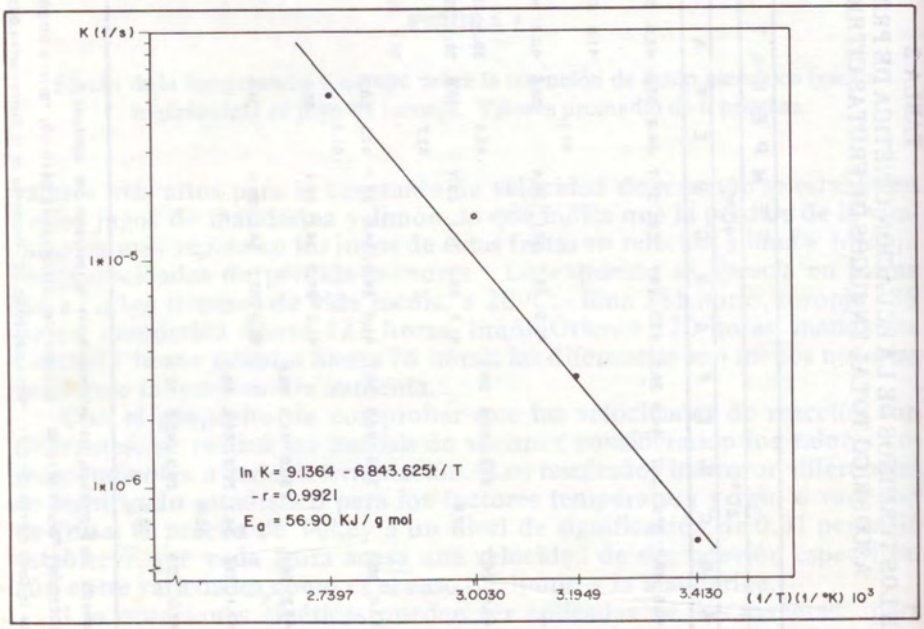

FIGURA 2

Gráfico de Arrhenius para determinar la energía de activación en la cinética de degradación de ácido ascórbico, en jugo de toronja

naranja almacenados en base a la pérdida del 10% de la vitamina 30.10 KJ/g mol. Al respecto, en sistemas modelo y condiciones aeróbicas se han notificado valores más altos de energía de activación, Blang y Hajratwala (18): 45.64 KJ/g mol. Lee y Labuza (19) informan para el rango de humedad intermedia, 81.20 KJ/g mol, lo que indica que la destrucción aeróbica de ácido ascórbico es más afectada por la temperatura que la destrucción anaeróbica.

En la Tabla 3 se presentan los valores de los términos de la ecuación de Arrhenius, los coeficientes de correlación, y los valores de energía de activación de las frutas consideradas. Por aplicación de las ecuaciones es posible calcular los valores de la constante de velocidad (K) a diferentes temperaturas en el rango de 20° a 92°C. A 37°C para jugo de toronja In K = 9.1364 − (6843.6251/310) = −12.9398 y K = 2.401×10^{-6}/s. = 0.20/día. Mediante igual procedimiento se establece, en lima, 0.22/día; limón del Oriente, 0.45/día; limón de la Sierra, 0.47/día; mandarina de la Costa, 0.60/día, y mandarina de la Sierra, 0.50/día. Los valores son del mismo orden que los informados por Saguy, Kopelman y Mizrahí (3) en jugo de toronja, 1/día, pero muy superiores a los notificados por otros autores a temperaturas comunes de almacenamiento. Esto lo explica el hecho de que existe un incremento drástico en la velocidad de reacción a temperaturas superiores a 27°C, según lo indicado por Nagy y Smoot (20). En cuanto a los valores de energía de activación, Lund (21) señala que es usual asumir que el ácido ascórbico es muy lábil al calor, pero se dispone de muy pocos datos cinéticos para la determinación de estos valores. Su recopilación de datos en lo referente a la degradación térmica de componentes alimenticios, al igual que los de Labuza (7), permiten establecer que la tiamina es la vitamina considerada en una gran extensión con valores para la energía de activación del orden de 84 a 126 KJ/g mol, según lo indicado por Saguy y Karel (8). Los valores para la energía de activación correspondientes a la degradación aeróbica del ácido ascórbico total en jugos de frutas cítricas son inferiores (rango de 35 − 58 KJ/g mol). Ello permite pensar en su uso más amplio como parámetro de

TABLA 3

VALORES DE LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION DE ARRHENIUS Y DE LA ENERGIA DE ACTIVACION PARA LA CINETICA DE DEGRADACION DE ACIDO ASCORBICO EN JUGOS DE FRUTAS CITRICAS

Fruta	In (K_o)	$-(E_a/R)$ (°K)	− r	E_a (KJ/g mol)
Lima	9.6492	6 987.0678	0.9846	58.09
Limón Oriente	5.8854	5 595.5114	0.9942	46.52
Limón Sierra	1.4600	4 211.9567	0.9996	35.02
Mandarina Costa	5.4163	5 360.0446	0.9939	44.56
Mandarina Sierra	8.7286	6 442.2546	0.9669	53.56
Naranja	9.1364	6 843.6251	0.9921	56.90

In $K = K_o - E_a/RT$; K_o en l/s.

pérdida de calidad nutricional durante el procesamiento térmico de jugos, pues al necesitar una energía de activación menor que la requerida por otros compuestos como la tiamina, se esperaría que los cambios son más notorios en condiciones similares de procesamiento.

Se reconoce que un tratamiento térmico adecuado en alimentos permite retener un porcentaje alto de las vitaminas y otros nutrientes, ya que las pérdidas mayores ocurren por un manejo inadecuado durante la cadena alimentaria y en operaciones como el blanqueado o el almacenamiento. Benterud (22), concluye que más del 90o/o de la vitamina C es retenido en jugos enlatados de frutas cítricas con alta acidez; en purés de frutas, pH próximo a 3.5, con adición de ácido ascórbico y esterilizados en autoclave por 30 minutos a 95oC utilizando envases de cristal, se establecieron pérdidas del 10o/o.

Como ejemplo de aplicación del método de dos etapas, se realizará el cálculo para jugo de mandarina de la Costa en el caso que sea sometido al tratamiento térmico de esterilización indicado. Según la ecuación de Arrhenius:

$$\ln K = 5.4163 - (5360.0446/368) = -9.1490 \text{ y } K = 1.0632 * 10^{-4}/s$$

Según la ecuación cinética de primer orden:

$$\ln (100 * C/C_o) = 4.6052 - 1.0632 * 10^{-4} * 1800 = 4.4138$$

el porcentaje de retención corresponde a 83o/o de ácido ascórbico; para un contenido inicial de 31.7 mg/100 g, el contenido residual es 26.3 mg/100 g.

Resultados similares pueden ser establecidos en todos los jugos de las frutas cítricas analizadas para diferentes condiciones de temperatura - tiempo en el blanqueado, evacuado, pasteurización o esterilización. En consecuencia, la aplicación de las ecuaciones permite estimar las pérdidas de vitamina C, hecho de especial interés en tecnologías de alimentos que requieren reponer las pérdidas del nutriente, o cuando es necesario realizar cálculos dietéticos luego de preparaciones domésticas.

SUMMARY

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE AEROBIC DEGRADATION OF VITAMIN C IN CITRIC FRUIT JUICES

By means of the method of the 2,4-dinitrophenylhydrazine the total ascorbic acid content in lima, lemon, tangerine and grapefruit juices, fresh and kept at four temperatures and different times, was determined. It was confirmed that in all the cases, the aerobic degradation of ascorbic acid follows a kinetic first order and that the values of the reaction rate are different between species and even between varieties of lemon and tangerine. The values of the equation terms are reported, and examples of application given. Within a range from 20o to 92oC, the effect of temperature on the velocity of the ascorbic acid degradation is described satisfactorily following the Arrhenius equation, in accordance with which, the corresponding values of activation

energy are calculated to compare them with other published values. With the simple application of the method, in two steps, and considering that the L-ascorbic acid and the L-dehydroascorbic acid are predominant, the results can be used to calculate the vitamin C losses in citric fruit juices, indicated when they are processed by traditional thermal treatments.

BIBLIOGRAFIA

1. Matthews, R. F. & J. W. Hall. Ascorbic acid, dehydroascorbic acid and diketogulonic acid in frozen green peppers. **J. Food Sci., 43**: 532-534, 1978.
2. Bauerfeind, J. C. & D. M. Pinkert. Ascorbic acid and food technology. In: **Encyclopedia of Food Technology**. A. H. Johnson and M. S. Peterson (Eds.). Vol. 2. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., Inc., 1974, p. 67-75.
3. Saguy, I., I. J. Koperman & S. Mizrahi. Simulation of ascorbic acid stability during heat processing and concentration of grapefruit juice. **J. Food Proc. Eng., 2**: 213-225, 1978.
4. Waletzko, P. & T. P. Labuza. Accelerated shelf-life testing of an intermediate moisture food in air and in oxygen-free atmosphere. **J. Food Sci., 41**: 1338-1340, 1976.
5. Saguy, I., I. J. Kopelman & S. Mizrahi. Extent of nonenzymic browning in grapefruit juice during thermal and concentration processes: Kinetics and prediction. **J. Food Proc. Preserv., 2**: 175-184, 1978.
6. Singh, R. P., D. R. Heldman & J. R. Kirk. Kinetics of quality degradation: Ascorbic acid oxidation in infant formula during storage. **J. Food Sci., 41**: 304-307, 1976.
7. Labuza, T. P. **Shelf-life. Dating of Foods.** Westport, Conn., The Avi Publishing Co., Inc., 1982, 500 p.
8. Saguy, I. & M. Karel. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. **Food Technol., 34**(2): 67-77, 1980.
9. Sinclair, W. B. **The Grapefruit, Its Composition, Physiology and Products.** Los Angeles, Calif., The University of California, Division of Agricultural Sciences, 1972.
10. Johnson, R. L. & R. T. Toledo. Storage stability of 55° Brix orange juice concentrate aseptically packaged in plastic and glass containers. **J. Food Sci., 40**: 433, 1975.
11. Robertson, G. L. & C. M. L. Samaniego. Effect of initial dissolved oxygen levels on the degradation of ascorbic acid and the browning of lemon juice during storage. **J. Food Sci., 51**: 184-187, 192, 1986.
12. Kefford, J. F. The chemical constituents of citrus fruits. **Adv. Food Res., 9**: 285-372, 1959.
13. Roe, J. H. & M. H. Oesterling. The determination of dehydroascorbic acid and ascorbic acid in plant tissues by the 2-4 dinitrophenylhydrazine method. **J. Biol. Chem., 152**: 511-517, 1944.
14. Cohen, E. & I. Saguy. Statistical evaluation of Arrhenius model and its applicability in prediction of food quality losses. **J. Food Proc. Preserv., 9**: 273-290, 1985.
15. Nelson, P. E. & D. K. Tressler. **Fruit and Vegetable Juice Processing Technology.** 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., Inc., 1980, 603 p.

16. Uzcátegui, E. Contenido de ácido ascórbico en algunas frutas y vegetales exóticos del Ecuador, determinado por cromatografía de alta presión con fase reversa. En: **Memorias del II Encuentro Ecuatoriano de Tecnología Alternativa.** Universidad Técnica de Ambato, 1985, p. 129-139.
17. Kramer, A. Storage retention of nutrients. **Food Technol., 28**: 50-60, 1974.
18. Blang, S. M. & B. Hajratwala. Kinetics of aerobic oxidation of ascorbic acid. **J. Pharm. Sci., 61**(4): 556-561, 1972.
19. Lee, S. H. & T. P. Labuza. Destruction of ascorbic acid as a function of water activity. **J. Food Sci., 40**: 370-373, 1975.
20. Nagy, S. & J. M. Smoot. Temperature and storage effects on per cent retention and per cent U. S. recommended dietary allowance of vitamin C in canned single-strength orange juice. **J. Agric. Food Chem., 25**: 135-138, 1977.
21. Lund, D. B. Effects of blanching, pasteuritation and sterilization on nutrients. In: **Nutritional Evaluation of Food Processing.** 2nd ed. Robert S. Harris & E. Karmas (Eds.). Westport, Conn., The Avi Publishing Co., Inc., 1977, p. 205-240.
22. Benterud, A. Vitamin losses during thermal processing. In: **Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing.** T. Hoyem and O. Kvale (Eds.). London, England, Applied Science Pub. Ltd., 1977, p. 185-201.