
CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN DEL JUGO NATURAL DE NARANJA EN UN EVAPORADOR DE TRES EFECTOS

Belkis Avalo, Sergio Pérez y Marcos Tovar

RESUMEN

Se evaluó el proceso de concentración de jugo natural de naranja en un evaporador de laboratorio marca Didacta ICD17NT de tres efectos, midiendo comparativamente los parámetros físico-químicos de densidad, pH, acidez titulable, vitamina C, azúcares totales, azúcares reductores y azúcares no reductores, índice de diacetilo, °Brix, relación °Brix/acidez titulable, grado de hidrólisis de los azúcares no reductores para dos corridas de concentración durante un tiempo de 170 y 164min. Las condiciones del proceso de concentración en la corrida dos para el primer

efecto fueron temperatura de 102°C, presión de 19,6KPa, efecto dos a 77°C y presión de vacío de 52,3KPa, y en el tercer efecto a 61°C y 60KPa. Los resultados indicaron que a 77°C y 52,3 KPa el jugo de naranja se concentró desde 13 hasta 26,30°Brix, presentando el jugo el mayor contenido de vitamina C. El contenido de azúcares totales de 22,42g/100ml se encontró a 7 °C en el efecto dos y de 14,91g/100ml a 79°C en el efecto tres. El mayor grado de hidrólisis (85,25%) fue logrado en el efecto tres para una temperatura de 79°C.

PRELIMINARY CHARACTERIZATION OF THE CONCENTRATION PROCESS OF NATURAL JUICE ORANGE IN A THREE-EFFECT EVAPORATOR

Belkis Avalo, Sergio Pérez and Marcos Tovar

SUMMARY

The concentration process of natural orange juice was evaluated in a Didacta ICD17NT three effects laboratory evaporator measuring comparatively the physico-chemical parameters of density, pH, acidity, vitamin C, total sugars, reducing and non-reducing sugars, diacetyl index, °Brix, ratio °Brix/acidity, degree of hydrolysis of non-reducing sugars for two runs of concentration during 170 and 164min. The conditions of the concentration process in run two for the first effect were a temperature of 102° C

and pressure of 19.6kPa, for effect two they were 77°C and vacuum pressure of 52.3kPa, and for the third effect 61°C and 60kPa. Results indicated that at 77°C and 52.3kPa the orange juice was concentrated from 13 to 26.30°Brix, presenting the highest content of vitamin C. The highest total sugar contents were found to be 22.42g/100ml, at 77°C in effect two and 14.91g/100ml at 79°C in effect three. The highest degree of hydrolysis (85.25%) was achieved in three to effect at a temperature of 79°C.

Introducción

La evaporación es una operación unitaria empleada para remover agua de los alimentos líquidos diluidos y obtener un producto líquido concentrado (Singh *et al.*, 1993; Geankoplis, 1998). Entre los beneficios aportados por este proceso se tienen la reducción de las necesidades de espacio para almacenamiento al concentrar los alimentos antes de deshidratarlos, congelarlos

o esterilizarlos, ya que se reduce su peso y volumen; la pasteurización del jugo; la desactivación de las pectinas que afectan la materia opaca; y la protección contra el deterioro microbiano y prolongación de la vida útil de conservación. La desventaja de la evaporación es que el tratamiento térmico aumenta la susceptibilidad a la oxidación del producto y destruye componentes aromáticos delicados (Kimball, 2002). Los

estudios acerca de concentrados de jugos naturales por evaporación en múltiples efectos, en su mayoría han estado orientados hacia la evaluación microbiológica y fisicoquímica de los jugos en anaquel, y muy poco hacia el estudio del procesamiento o tipo de técnica empleada. Tal es el caso del trabajo realizado por Park *et al.* (1983) quienes estudiaron en el jugo de naranja concentrado en dos etapas los componentes fenólicos, car-

bohidratos, nitratos, sulfatos, proteínas, pectinas, minerales y carotenos. Vandercook *et al.* (1983) evaluaron estadísticamente los datos de tres tipos de adulteraciones en el jugo de naranja California.

En cuanto al tipo de técnica de separación para concentrar jugos naturales cabe mencionar la concentración de jugo de naranja por evaporación osmótica, la cual es una técnica de membranas a presiones cercanas a la atmosférica que

PALABRAS CLAVE / Concentración / Evaporación / Jugo de Naranja / Tres Efectos /

Recibido: 01/10/ 2008. Modificado: 22/10/2009. Aceptado: 24/10/2009.

Belkis Avalo. Ingeniera Química y M.Sc. en Ingeniería de Procesos, Universidad de Carabobo, (UC), Venezuela. M.Sc. en Diseño y Tecnologías Educativas, Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez

(UNESR), Venezuela. Profesor, UNESR, Venezuela. Dirección: Núcleo Canoabo, UNESR, Carretera Bejuma-Urama, Estado Carabobo, Código Postal 2043, Venezuela. e-mail: belkis.avalolo@unesr.edu.ve

Sergio Pérez. Ingeniero Químico y Doctor en Ingeniería Química. Profesor, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Marcos Tovar. Estudiante de Ingeniería de los Alimentos, UNESR, Venezuela.

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN DEL SUCO NATURAL DE LARANJA EN UN EVAPORADOR DE TRES EFECTOS

Belkis Avalo, Sergio Pérez e Marcos Tovar

RESUMO

Avaliou-se o processo de concentração do suco natural de laranja em um evaporador de laboratório marca didacta icd17nt de três efeitos, medindo comparativamente os parâmetros físico-químicos de densidade, pH, acidez titulável, vitamina C, açúcares totais, açúcares reductores e açúcares não reductores, índice de diacetil, °Brix, relação °Brix/acidez titulável, grau de hidrólise dos açúcares não reductores para duas corridas de concentração durante um tempo de 170 e 164min. As condições do processo de concentração na corrida dois para o primeiro efeito foram

temperatura de 102°C, pressão de 19,6kpa, efeito dois a 77°C e pressão de vácuo de 52,3kpa, e no terceiro efeito a 61°C e 60kpa. Os resultados indicaram que a 77°C e 52,3 kpa o suco de laranja se concentrou desde 13 até 26,30°Brix, apresentando, o suco, o maior conteúdo de vitamina C. O conteúdo de açúcares totais de 22,42g/100ml se encontrou a 7 °C no efeito dois e de 14,91g/100ml a 79°C no efeito três. O maior grau de hidrólise (85,25%) foi conseguido no efeito três para uma temperatura de 79°C.

ofrece mayor grado de concentración que el proceso de osmosis reversa (Shaw *et al.*, 2001).

La evaluación de las propiedades físicas y químicas en el jugo de naranja (*Citrus sinensis*) vars. Navel y Valencia (Bull *et al.*, 2004) durante la concentración del jugo por osmosis reversa tratados a presiones de 20, 40 y 60bar, indican un incremento de la vitamina C desde 29,3 hasta 53,9; 82,7 y 101,1mg ácido ascórbico/100g para cada una de las presiones, alcanzando un contenido de sólidos solubles de 16, 28 y 36°Brix, respectivamente (Jesús *et al.*, 2007). La calidad de los jugos concentrados es un factor importante a considerar durante y después del procesamiento, porque la mayoría de los jugos reconstituidos y comercializados provienen de concentrados, siendo las características de contenido de ácido ascórbico o vitamina C, °Brix, contenido de azúcares totales y reductores, pH, y actividad microbiana, considerados como índices de calidad comercial.

Los altos niveles de sólidos solubles totales y color en jugos producidos de naranjas var. Valencia es usualmente demandada por los procesadores de jugo para utilizarlos en el mezclado de jugos de naranja de baja calidad (Bull *et al.*, 2004). El contenido de ácido ascórbico es un importante indicador de la calidad de jugos de naranja (Johnston

et al., 2002) y su concentración decrece durante el almacenamiento, dependiendo de condiciones tales como temperatura, contenido de oxígeno y presencia de luz (Manso *et al.*, 2001).

Durante el tratamiento con calor los azúcares presentes como sacarosa pueden hidrolizarse en fructuosa y glucosa, siendo estos monosacáridos azúcares reductores que pueden participar en las reacciones de caramelización y de Maillard cuando hay aminoácidos presentes, reacciones de pardeamiento no-enzimático que producen cambios de color, azúcares y pérdidas de vitamina C que afectan la calidad de los jugos de frutas (Lee *et al.*, 1988; Nagy *et al.*, 1990; Ibarz *et al.*, 1999).

La actividad microbiana es otro factor de interés en el procesamiento de jugos de naranjas por el creciente aumento de patógenos en jugos frescos. Uno de los métodos aplicados en la industria de cítricos es la determinación analítica de la concentración de diacetilo o 2,3 butanodiona, un producto de la actividad biológica de las bacterias lácticas que imparten un sabor y olor a mantequilla a los jugos no concentrados. Su presencia durante el procesamiento requiere limpieza de los equipos y se recomienda como contenido permisible 0,6-6ppm (Kimball, 2002).

El objetivo del presente estudio fue realizar un estudio descriptivo del proceso de

concentración por evaporación del jugo natural de naranja y de algunas de las propiedades físicoquímicas y microbiológicas en el tiempo tales como °Brix, pH, ácido ascórbico, azúcares totales y reductores, grado de hidrólisis, índice de diacetilo, para condiciones definidas de presión y temperatura en un evaporador de tres efectos de tubos verticales cortos.

Materiales y Métodos

El trabajo fue realizado en los laboratorios de Planta Piloto y Biomoléculas de Ingeniería de los Alimentos, Núcleo Canoabo, Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Venezuela. El jugo de naranja fue obtenido de naranjas (*Citrus sinensis* L.) var. Valencia de la cosecha de marzo 2008, procedentes de la Hacienda San Manuel, El Cedro, Municipio Miranda, Estado Carabobo, Venezuela.

Preparación del jugo natural de naranja

Para la preparación del jugo se utilizó una muestra de 243kg de naranjas, seleccionadas en estado de madurez óptimo, tamaño homogéneo y sin daño físico aparente, con un índice de madurez para la fruta fresca de 8,84 según la relación °Brix/acidez (Kimball, 2002). Las naranjas fueron lavadas con agua fría, cortadas simétricamente en dos para someterlas al proceso

de extracción del jugo mediante un exprimidor eléctrico. Se extrajo una cantidad de jugo equivalente a 119kg y en corteza y bagazo se alcanzó un 47,2% (p/p). El jugo de naranja fue filtrado y centrifugado mediante centrifugadora CEPA Carl Padbard, modelo 763 Larh LS a 3500rpm, obteniendo 1,78% (p/p) de pulpa, para un rendimiento en jugo del 51,02% (p/p) sobre el total de naranjas utilizadas. El proceso de concentración fue realizado en dos corridas. Para la corrida 1 se utilizó un peso de ~51kg de jugo de naranja durante 170min y en la corrida 2 una carga de 68kg durante 164 min.

Caracterización física química y microbiológica

Muestras de jugo natural de naranja sin concentrar y concentradas fueron sometidas a los siguientes análisis: densidad (COVENIN 1116:77), °Brix (COVENIN 924:83), pH (COVENIN 1315:83), acidez titulable (COVENIN 1151:77), vitamina C por el método volumétrico con 2,6 dicloroindofenol, azúcares totales, reductores y no reductores (% p/v) aplicando método de Lane y Eynon, según metodología AOAC (1990), y relación °Brix/acidez según Kimball (2002). Las mediciones fueron realizadas por duplicado. Los °Brix (sólidos solubles totales, SST) fueron determinados mediante un refractómetro Baush & Lomb modelo Adl-3, el

pH con un potenciómetro Hannan Instruments pH 211. Para el índice de diacetilo ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), se utilizó el método de Hill *et al.* (1954) citado por Kimball (2002), que consistió en preparar una solución de 1-naftol (5g en 100ml de alcohol isopropílico 99%), solución de creatina (100g de KOH en 150ml de agua, agregando 0,75g de creatina y aforando a 250ml con agua destilada.). El procedimiento requirió preparar patrones de diacetilo en agua destilada de concentración 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 y 10ppm, medir su absorbancia a 530nm mediante un espectrofotómetro Agilent 8453 UV-VIS y elaborar una curva de calibración con las medidas de absorbancia de los patrones, para luego determinar el contenido presente en las muestras de jugo de naranja. Las muestras de jugo de naranja fresco y concentradas fueron sometidas a destilación para obtener tres porciones de destilado, de 25ml cada una, tomando por separado 10ml de la primera y tercera porción del destilado, haciéndolas reaccionar con 1-naftol (5ml) y creatina (2ml) para luego medir su absorbancia a 530nm (a los 5min). El blanco utilizado fue agua destilada en presencia de 1-naftol y creatina.

Análisis estadísticos

Se aplicó análisis de varianza Anova de dos factores (temperatura y tiempo) en la variable de respuesta vitamina C para el proceso de concentración en los tres efectos de la corrida 2, usando el paquete estadístico Minitab® Release 14.1.

Descripción del Proceso

El proceso de concentración por evaporación del jugo de naranja fue realizado en un evaporador de laboratorio de tres efectos verticales marca Didacta modelo ICD17NT de

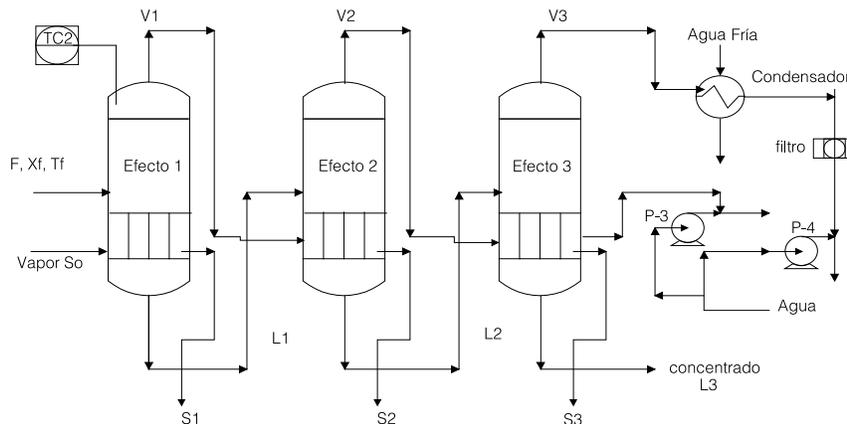


Figura 1. Evaporador ICD17NT de tres efectos con alimentación en paralelo. So: flujo del vapor de calentamiento; L1, L2, L3: flujos de concentrado; V1, V2, V3: flujos de vapor producido; P-3, P-4: Bombas de vacío; xf: composición en peso del jugo alimentado; TC2: controlador de temperatura; S1, S2, S3: flujos de condensado; F: flujo de jugo alimentado; T: temperatura. Tomado de Avalo (2004).

tubos cortos, representado en la Figura 1. El proceso se realizó de forma semi-continua, durante 164min. Cada efecto tiene una altura de 1,20m y está compuesto por una sección de campana y calandria. En esta última se ubicaron 30 tubos cortos de 40cm de longitud por donde circuló el fluido fresco a concentrar (F: flujo de alimentación). Por la parte externa de la calandria del primer efecto se alimentó el flujo de vapor para calentamiento (S_0) sin contacto directo con el jugo. La temperatura en el primer efecto (T_1) fue mantenida mediante un controlador e indicador TIC2 tipo PID que actuó en modo on-off (Smith *et al.*, 2002). Se dispuso de control de nivel en los tres efectos mediante sensor conductivo de varilla, efectuándose el control a una altura (h) de 13cm por encima de la longitud total de los tubos (40cm).

Las presiones de tope fueron medidas a través de manómetros colocados en cada efecto, y las temperaturas IT2 e IT3 fueron medidas a través de elementos indicadores digitales acoplados a termopares. El primer efecto operó a presiones superiores a la atmosférica, mientras que el segundo y el tercer efecto operaron a presiones de vacío. El equipo dispuso de un condensador de superficie donde se condensó el flujo de vapor (V_3) prove-

niente del tercer efecto. Desde el tanque de alimentación del sistema fue suministrado mediante bomba al primer efecto, el flujo másico de jugo natural de naranja fresco (F) equivalente a $10,0\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$, de $12,0^\circ\text{Brix}$ (%p/p) a temperatura de $30,0^\circ\text{C}$, alcanzando el volumen de llenado del efecto de $8,0\text{l}$ y una temperatura de 102°C (corrida 2, valor del set-point, 100°C) mediante suministro del flujo de vapor (S_0) a una presión de 2bar (199KPa). Una vez alcanzado el estado estable de ebullición, comenzó la separación del solvente (agua) en forma de vapor V_1 por el tope del primer efecto y descendió el nivel de jugo dentro del efecto (concentrado L_1 , jugo de mayor $^\circ\text{Brix}$) y por acción de la presión de vacío pasó al

segundo efecto. En ese momento se abrió la válvula de alimentación al primer efecto y se alimentó jugo fresco. El flujo V_1 fue utilizado para el calentamiento del jugo contenido en el segundo efecto, donde ocurrió una separación de fases, obteniéndose un flujo de vapor V_2 y un concentrado L_2 . Las descargas sucesivas de concentrado a través de los efectos se hicieron por diferencia de presión. Cuando descendió el nivel, ello indicó que se había llevado a cabo la concentración, comportamiento que ocurrió de igual forma para el segundo y tercer efecto, correspondiendo con un estado repetitivo o cíclico. El proceso de puesta en marcha para realizar el llenado de todos los efectos ocurrió con un intervalo de 1-2min entre efectos, para lo cual se esperó que alcanzase la ebullición el jugo contenido en el efecto en cuestión, y posteriormente se permitió el llenado del efecto siguiente, previa conexión del sistema (válvulas abiertas en la línea de conexión).

Resultados

Análisis del jugo natural de naranja

La Tabla I muestra los resultados de los análisis físico-químicos efectuados al jugo

TABLA I
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN EL JUGO NATURAL DE NARANJA (*Citrus sinensis* L.)

Parámetro	Resultados
Sólidos solubles ($^\circ\text{Brix}$)*	$13,00 \pm 0,1$
Acidez titulable (% p/p, g a.c./100g muestra)	$1,47 \pm 0,00$
Relación $^\circ\text{Brix}/\text{acidez}$ **	8,84
Acidez iónica pH	$3,63 \pm 0,01$
Vitamina C (mg a.a./100ml de jugo)	$50,05 \pm 0,78$
Azúcares totales (g/100ml de jugo)	$6,92 \pm 0,00$
Azúcares reductores (g/100ml de jugo)	$3,08 \pm 0,02$
Azúcares no reductores (g/100ml de jugo)	$3,84 \pm 0,02$
Azúcares no reductores (g sacarosa /100ml de jugo)	$3,65 \pm 0,02$
Densidad ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	$1,0567 \pm 0,0002$
Índice de diacetilo ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	$1,96 \pm 0,02$

*: $^\circ\text{Brix}$ corregido por temperatura e índice de acidez, a.a.: ácido ascórbico, **: relación determinada al corregir $^\circ\text{Brix}$ por efecto de temperatura e índice de acidez (p/p).

TABLE II
VARIABLES DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN
DEL JUGO DE NARANJA EN EL EVAPORADOR
ICD17NT DE TRES EFECTOS

Renglón	Variables	Corrida	
		1	2
Vapor saturado	Presión del vapor S_0 $PS_0 \pm 0,13$ (KPa)	199,0	199,0
	Temperatura promedio TIC2 $\pm 0,1$ (°C)	104,0	102,0
Efecto uno	Presión de tope IP1 $\pm 0,13$ (KPa)	25,0	19,6
	Temperatura promedio IT2 $\pm 0,1$ (°C)	89,0	77,0
Efecto dos	Presión de tope IP2 $\pm 0,13$ (KPa)	32,0	52,3
	Temperatura promedio IT3 $\pm 0,1$ (°C)	79,0	61,0
Efecto tres	Presión de tope IP3 $\pm 0,13$ (KPa)	51,0	60,0

natural de naranja, reportando sus valores promedios ($n=2$). Los sólidos solubles (°Brix) alcanzaron un valor de $13,00 \pm 0,1$ (%p/p) corregido por índice de acidez y temperatura. Este valor y el índice de acidez concuerdan con los reportados por Kimball (2002), quien señala que los °Brix varían entre 9 y 15 y el índice de acidez se puede ubicar entre 0,5 y 1,5%. El pH (3,60) presentó un valor menor al jugo de naranja (3,90) evaluado por Moreno *et al.* (2004). El valor encontrado para el índice de diacetilo, se encuentra dentro del límite permisible (Kimball, 2002) entre 0,6 y 6 ppm.

Resultados del proceso de concentración en el triple efecto

En la Tabla II se presentan las variables de proceso medidas durante la concentración para las dos corridas. Se puede observar que en la corrida 2 el proceso de concentración fue efectuado a temperaturas menores, logrando en el segundo efecto 77°C y en el tercero 61°C por alcanzar mayores presiones de vacío (52,3 y 60,0KPa) respecto a la corrida 1. Este comportamiento es acorde a lo establecido teóricamente, que a mayor presión de vacío se consigue una menor temperatura durante un proceso de concentración

(Geankoplis, 1998).

El segundo efecto mantuvo un proceso de ebullición estable, lográndose una relación de correspondencia aproximada entre la temperatura promedio y presión manométrica de vacío ($77^\circ\text{C}/52,3\text{KPa}$), relación que se corrobora al consultar tablas de vapor de agua (Crane, 1994) y determinar que a una presión de vacío de 57 KPa, el agua pura (que en este caso es el solvente del jugo de naranja) alcanzó ebullición a 77°C . Es sabida la relación de dependencia o correspondencia entre la temperatura y la presión durante un proceso térmico, siendo la diferencia entre el estado ideal y el real de solo 4,7KPa para

el segundo efecto. Para el primer efecto se apreció una diferencia de 10,6KPa respecto al estado ideal (9KPa, valor en tabla de vapor para T promedio) y el real (19,6KPa), comportamiento de exceso de presión que se atribuyó a la ausencia de precalentamiento en la alimentación, ocurriendo que la válvula de alimentación del vapor (Flujo So, Figura 1) abriera continuamente hasta alcanzar la temperatura fijada en el controlador de temperatura (TC2), produciéndose un exceso que luego disminuyó para alcanzar condiciones estables.

El flujo de jugo fresco F alimentado durante el proceso causó una dilución de la concentración del jugo presente en el primer efecto, provocando un descenso de °Brix de 22,0% a 15,0 %, como es el caso observado para 89min (Tabla III). Este comportamiento también fue observado en el segundo efecto, ya que tuvo alimentación procedente del primer efecto. En cambio, para el tercer efecto no se observó dilución porque no hubo alimentación de jugo procedente del segundo efecto, manteniendo un estado de ebullición bajo, al no existir correlación entre la temperatura observada (61°C) y el vacío (60,0KPa).

La presión de vacío fue proporcionada mediante bombas (P3, P4 en Figura 1) que

utilizaron agua para hacer el vacío a través de un sistema de tuberías y accesorios conectados al segundo y tercer efecto. A la presión de vacío de 60KPa (45cm Hg) en el tercer efecto, no se alcanzó la temperatura de 79°C (correlación entre presión de vacío y temperatura), infiriéndose que la carga térmica procedente del segundo efecto (vapor V2) que pasa al tercer efecto (sección externa de tubos, carcasa de fondo) para proporcionar el calentamiento y ebullición del jugo, no fue suficiente, razón por la cual solo se alcanzó 61°C .

En la Tabla III se presentan los valores en °Brix durante el proceso de concentración en los tres efectos para la corrida 2. Se aprecia que para 164 min, el jugo logró mayor grado de concentración en el segundo efecto con un valor en °Brix de 25,20%, respecto a 20°Brix para el jugo en el primer efecto y 14°Brix para el tercero. El jugo concentrado en el segundo efecto duplicó su valor en °Brix respecto al inicial ($12,0^\circ\text{Brix}$), satisfaciendo una de las condiciones establecidas por la norma COVENIN (2395:1986), la cual señala que para considerar un jugo en la categoría de concentrado su valor final debe ser no menor a dos veces los sólidos solubles (°Brix) de la fruta madura. Las características fisicoquímicas del jugo de naranja concentrado (Tabla IV) reflejan un comportamiento variable en la acidez iónica (pH) oscilando entre 3,63 y 3,87, y el índice de acidez presentó una tendencia creciente durante el proceso, apreciándose descenso solo a los 89min.

La tendencia creciente puede atribuirse al hecho de que tratamientos térmicos prolongados y de alta temperatura en ciertos alimentos como los jugos que contienen hidratos de carbono (azúcares) puede inducirse caramelizaciones

TABLE III
CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES (°BRX) EN EL JUGO
DE NARANJA DURANTE EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN
EN EL PRIMER, SEGUNDO Y TERCER EFECTO
DEL EVAPORADOR ICD17NT (CORRIDA 2)

Tiempo(min)	°Brix (% p/p) *			
	Temperatura / Presión			
	Efecto Uno $102^\circ\text{C}/19,6\text{KPa}$	Efecto Dos $77^\circ\text{C}/52,3\text{KPa}$	Efecto Tres $61^\circ\text{C}/60\text{KPa}$	Tiempo carga al efecto uno
0	12,0	12,0	12,0	↑↑↑
34	17,2	14,2	11,0	
50	17,2	20,0	13,2	
79	22,0	25,0	14,0	
89	15,0	22,2	14,0	↑
119	16,2	22,2	14,0	
134	15,2	22,2	14,0	↑
154	17,0	23,2	14,0	
164	20,0	25,2	14,0	

*: Valores sin corregir por temperatura e índice de acidez.

o transformaciones por isomerización y deshidratación de sus hidratos de carbono que dan origen a una serie de compuestos que incluyen furanos, pironas, aldehidos, cetonas, ácidos, esterres y pirocinas de bajo peso molecular que pueden afectar el índice de acidez, reflejando un posible aumento de éste (Fennema, 2000). En cambio el descenso para el tiempo de 89min se atribuye al efecto de dilución causado por la alimentación fresca del jugo de naranja, fenómeno explicado previamente que ocurre con los °Brix.

La tendencia en el tiempo de la vitamina C para las muestras de jugo de naranja concentradas en el evaporador de tres efectos se aprecia en la Figura 2. Se observa que la vitamina C, desciende desde el valor inicial (50,05mg a.a./100ml de muestra) hasta un valor mínimo a los 34min, siguiendo luego un comportamiento irregular de puntos máximos y mínimos para las tres tendencias durante todo el proceso de concentración (164min), correspondiente a un modelo sigmoidal (Manso *et al.*, 2001). El valor mínimo de la vitamina C alcanzado en el jugo concentrado en cada uno de los efectos fue de 1,09mg ácido ascórbico/100ml de muestra para el jugo en el primer y tercer efecto, y de 19,62mg ácido ascórbico/100ml de muestra para el concentrado en el segundo efecto.

Durante la fase de descenso que se corresponde a los 34min (Figura 2), el mayor valor en el contenido de vitamina C se alcanzó en el efecto dos, con valores menores para el primer y tercer efecto, infiriendo que este com-

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DEL JUGO DE NARANJA DURANTE EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN EN EL SEGUNDO EFECTO DEL EVAPORADOR ICD17NT (CORRIDA 2)

t (min)	pH± 0,01	P ±0,0001 (g·l ⁻¹)	Brix ± 0,1 (% p/p) c	Índice de acidez (g.a.c./100ml)	°Brix/Acidez *	Índice de diacetilo (mg·l ⁻¹)
0	3,63	1,0567	13,00	1,65 ±0,00	8,35	1,96
34	3,87	1,0706	15,20	1,57 ±0,00	10,37	4,39
50	3,78	1,0968	21,20	2,51 ±0,00	9,25	nr
79	3,68	1,1196	26,30	3,10 ±0,04	9,47	nr
89	3,79	1,1070	23,40	2,73 ±0,04	9,50	4,25
119	3,80	1,1071	23,40	2,73 ±0,04	9,50	nr
134	3,80	1,1070	23,40	2,76 ±0,00	9,39	nr
154	3,75	1,1107	24,40	2,89 ±0,00	9,40	nr
164	3,72	1,1192	26,30	3,07 ±0,00	9,56	4,66

*relación °Brix/acidez determinada al corregir °Brix por temperatura e índice de acidez. nr: no realizado, ρ: densidad de la muestra., c: °Brix corregidos.

portamiento se debió a que la muestra en el segundo efecto fue tratada a una temperatura menor (77°C) por procesarse a un mayor vacío (52,3KPa por debajo de la presión atmosférica) respecto al efecto uno (102°C; 19,6KPa sobre la presión atmosférica), corroborándose que los parámetros de procesamiento afectan los productos obtenidos de las frutas y especialmente a los niveles de vitamina C (Nagy, 1980; Manso *et al.*, 2001).

La muestra de jugo en el tercer efecto fue procesada a una temperatura promedio de 61°C y presión de vacío de 60KPa alcanzando un contenido de vitamina C equivalente al del jugo en el primer efecto (1,09mg a.a./100ml muestra). Se puede inferir que esta muestra recibió los tratamientos térmicos anteriores (primer y segundo efecto) por efectuarse el llenado en serie;

es decir, se esperó que el jugo alcanzara ebullición en el primer efecto, para proceder al llenado del segundo efecto, y por último del segundo al tercero, con un intervalo de tiempo de cerca de 2min entre efectos.

La variación de vitamina C durante el proceso fue representada por un comportamiento irregular, lo cual se atribuye a que el L-acido ascórbico se degrada u oxida fácilmente durante un tratamiento en presencia de aire, componente que fue adicionado al jugo durante el proceso de extracción, al realizar la centrifugación para eliminar pulpa antes de alimentarlo al proceso y al bombeo en el sistema de evaporación (llenado del primer efecto desde el tanque de alimentación), factores que han sido reconocidos como causantes de pérdidas de vitamina C (Nagy, 1980).

En condiciones aeróbicas el ácido ascórbico es degradado a ácido deshidroascórbico, el cual puede ser reconvertido por una reducción suave a ácido ascórbico o también ser hidrolizado en ácido 2,3-dicetogulónico, que permite la formación de pigmentos que causan pardeamiento (Tannenbaum *et al.*, 1985). Los puntos máximos obser-

vados en el contenido de vitamina C durante el procesamiento del jugo de naranja (Figura 2), después de haber alcanzado un valor mínimo, podrían atribuirse a la formación de ácido deshidroascórbico en lugar de vitamina C, con la desventaja de que este ácido no posee el mismo valor nutritivo que la vitamina C y solo es su forma oxidada, lo cual puede ser considerado como índice de stress oxidativo (Johnston *et al.*, 2002) y no puede

ser detectado por el método de titulación empleado con el 2,6-dicloroindofenol. La degradación del ácido ascórbico en jugo de naranja 20 y 45°C fue estudiada por Manso *et al.* (2001), quienes determinaron por cromatografía líquida de alto rendimiento que en la tendencia de la vitamina C, los puntos de inflexión observados en la gráfica de degradación del ácido ascórbico coinciden con el tiempo para el cual la concentración de ácido deshidroascórbico aumenta junto con el pH y el índice de pardeamiento.

El análisis estadístico en la variable de respuesta vitamina C evidenció que existieron diferencias significativas (p<0.05) para los factores temperatura y tiempo, no existiendo interacción entre ellos, por lo que se infiere que siguen una tendencia independiente.

En las Tablas V y VI se presentan los contenidos de azúcares en el tiempo para el jugo de naranja concentrado en el segundo efecto, corrida 2 y tercer efecto, corrida 1. La variable contenido de azúcares, bien sea totales, reductores o no reductores es la de mayor importancia ya que indica el desarrollo del proceso de concentración al aumentar los azúcares totales y por consiguiente los °Brix. Al inicio del proceso el contenido de azúcares totales en el jugo de naranja fue de 6,92g/100ml, valor acorde

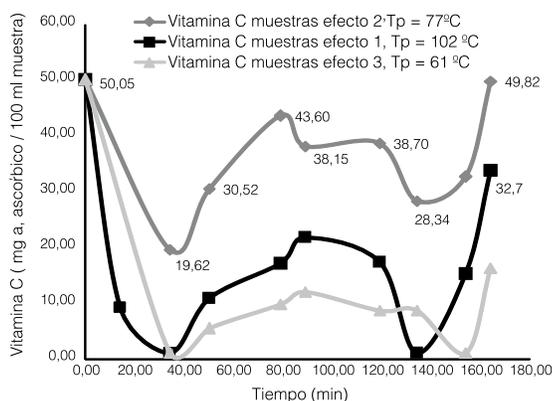


Figura 2. Tendencia de la vitamina C durante el proceso de concentración. Corrida 2. Tp: temperatura de proceso.

con lo reportado por INN (2001) para el jugo fresco de naranja, azúcares reductores de 3,08 y no reductores de 3,84g/100ml, correspondiendo a 44,50% de azúcares reductores y 52,75% de no reductores como sacarosa respecto a los totales, siendo la relación entre reductores y totales de ~0,44 (1:2,25) para el jugo de naranja de la variedad Valencia, la cual es algo menor a la reportada por Hours *et al.* (2005), de 0,487 para jugo de la misma variedad.

A medida que transcurrió el proceso de concentración se observó un aumento progresivo de los azúcares totales, alcanzando un máximo de 22,42g/100ml a los 164min, comportamiento esperado durante un proceso de concentración (Fellows, 1994; Geankoplis 1998; Kimball, 2002). Para los 89min se observó un descenso de los azúcares reductores (4,85g/100ml) y un aumento pronunciado de los no reductores como sacarosa (10,06g/100ml), comportamiento que pudo deberse a que en ese tiempo, cuando se efectuó la toma de muestra, ocurrió la alimentación fresca de jugo al primer efecto, que por consiguiente implica alimentación al segundo efecto, causando dilución de azúcares reductores, que presentaron un valor de 12,91g/100ml para el tiempo anterior de 79min.

Los azúcares totales se mantuvieron aproximadamente iguales para los 79 y 89min. Para el tiempo de 79 min se apreció un descenso del contenido de sacarosa respecto a su valor inicial (3,65g/100 ml), descenso que

TABLA V
TENDENCIA DEL CONTENIDO DE AZÚCARES EN EL JUGO DE NARANJA DURANTE EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN EN EL SEGUNDO EFECTO DEL EVAPORADOR ICD17NT (CORRIDA 2)

Tiempo (min)	Azúcares (g/100ml muestra)					
	Temperatura 77 (°C)					
	Azúcares totales	Azúcares reductores	Azúcares no reductores	Azúcares no reductores (sacarosa)	Hidrólisis sacarosa (%)**	Azúcares totales/°Brix***
0	6,92 ±0,00	3,08 ±0,10	3,84 ±0,10	3,65 ±0,10		57,66
34	10,41 ±0,40	5,79 ±0,90	4,63 ±0,90	4,40 ±0,90		73,33
50	12,73 ±0,70	8,17 ±0,60	4,56 ±0,60	4,33 ±0,60		63,65
79	15,06 ±0,10	12,91 ±0,10	2,15 ±0,10	2,04 ±0,10	44,00	60,24
89	15,44 ±0,40	4,85 ±0,40	10,59 ±0,40	10,06 ±0,40		69,54
119	17,07 ±0,40	10,89 ±0,60	6,17 ±0,60	5,86 ±0,60		76,88
134	18,07 ±0,80	17,07 ±0,50	1,00 ±0,50	0,95 ±0,50	73,97	81,40
154	20,48 ±0,00	18,07 ±0,60	2,41 ±0,60	2,29 ±0,60	37,26	88,28
164	22,42 ±0,60	15,52 ±0,60	6,91 ±0,60	6,56 ±0,60		89,69

*: Valores obtenidos al multiplicar los azúcares no reductores por el factor F= 0,95; deducido de los pesos moleculares (g/gmol) de la sacarosa, respecto a la fructosa y glucosa F= 342/ 360. ** Valor determinado como: ((So-S)/So)*100, donde S: concentración de la sacarosa al inicio del proceso, S: concentración de la sacarosa después del tratamiento térmico. *** Los Brix utilizados en esta relación no están corregidos por temperatura e índice de acidez.

TABLA VI
TENDENCIA DEL CONTENIDO DE AZÚCARES EN EL JUGO DE NARANJA DURANTE EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN EN EL TERCER EFECTO DEL EVAPORADOR ICD17NT (CORRIDA 1)

Tiempo (min)	Azúcares (g/100ml muestra)					
	Temperatura 79 (°C)					
	Azúcares totales	Azúcares reductores	Azúcares no reductores	Azúcares no reductores (sacarosa)*	Hidrólisis sacarosa (%)**	Azúcares totales/°Brix***
0	6,94 ±0,1	3,78 ±0,1	3,16 ±0,1	3,00 ±0,1	0,00	63,05
29	9,14 ±0,4	6,10 ±0,6	3,05 ±0,6	2,90 ±0,6	3,54	81,61
41	7,68 ±0,5	6,68 ±0,4	1,00 ±0,6	0,95 ±0,6	68,29	69,82
56	8,85 ±0,1	7,53 ±0,6	1,32 ±0,1	1,26 ±0,1	58,10	80,45
71	9,45 ±0,4	8,58 ±0,1	0,87 ±0,4	0,83 ±0,4	72,44	72,69
91	10,45 ±0,4	8,44 ±0,3	2,01 ±0,6	1,91 ±0,6	36,42	80,38
106	9,69 ±0,2	9,23 ±0,6	0,47 ±0,1	0,44 ±0,1	85,25	63,75
121	9,69 ±0,0	9,21 ±0,2	0,48 ±0,2	0,46 ±0,3	84,75	63,75
131	9,69 ±0,6	9,20 ±0,1	0,49 ±0,1	0,47 ±0,6	84,40	60,56
146	14,91 ±0,6	10,04 ±0,2	4,87 ±0,2	4,63 ±0,2		90,91

*:Valores obtenidos al multiplicar los azúcares no reductores por el factor F= 0,95; deducido de los pesos moleculares (g/gmol) de la sacarosa, respecto a la fructosa y glucosa F= 342/ 360. ** Valor determinado como: ((So-S)/So)*100, donde So: concentración de la sacarosa al inicio del proceso, S: concentración de la sacarosa en el tiempo después del tratamiento térmico. *** Los Brix utilizados en esta relación no están corregidos por temperatura e índice de acidez.

se atribuye a la hidrólisis de los azúcares formados por la unión de monosacáridos, tal como señala Stephen (1985), ya que los disacáridos son polímeros formados por la unión de monosacáridos como la sacarosa, a su vez compuesta por dos unidades de monosacáridos (D- glucosa y D-fructosa) que son menos estables a su hidrólisis, por lo cual pueden sufrir despolimerización durante el procesado y/o almacenamiento de los

alimentos. Además, la hidrólisis de los enlaces glicosídicos que unen las unidades de monosacáridos puede ser catalizada tanto por ácidos como por enzimas; el grado de despolimerización está determinado por la fuerza del ácido, tiempo, temperatura y estructura del polisacárido, por lo que generalmente se produce la hidrólisis con facilidad durante el procesado térmico de alimentos ácidos (Fennema, 2000).

Conclusiones y Recomendaciones

El proceso de concentración por evaporación del jugo natural de naranja en el evaporador de tres efectos ICD17NT, fue realizado en un intervalo de presiones para el primer efecto entre 25,0 y 19,6KPa y temperaturas entre 104 y 102°C; para el segundo efecto a presiones de vacío entre 32,0 a 52,3KPa para temperaturas entre 89 y 77°C; y el tercer efecto a 51,0-60,0 KPa y 79-61°C. La máxima concentración para el jugo de naranja se alcanzó en el segundo efecto, con un valor de 26,3°Brix corregido por temperatura y acidez titulable, mientras que para el primer efecto se alcanzó 20,0°Brix y para el tercero 14,0°Brix (sin corregir por índice de acidez y temperatura). Los parámetro de densidad, °Brix y relación °Brix/acidez mostraron una tendencia creciente a medida que se concentró el jugo de naranja. El contenido de vitamina C evaluada en el jugo de naranja mostró máximos y mínimos durante el proceso de concentración para las tres temperaturas, con un valor inicial de 50,05 y un mínimo de 1,09mg a.a./100ml muestra. Este descenso pronunciado en el contenido de vitamina C sugiere utilizar una mayor presión de vacío que permita bajar más las temperaturas en los efectos durante el proceso, ya que pone en evidencia la agresividad de este tipo de tratamiento térmico sobre la calidad nutricional del jugo en su contenido de vitamina C. En relación a los azúcares totales, estos mostraron una tendencia creciente, acorde con el comportamiento esperado durante un proceso de concentración.

Se recomienda realizar una evaluación organoléptica de los concentrados, e identificar y recuperar aromas o aceites esenciales arrastrados en las corrientes de vapor producidas durante la concentración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Hacienda San Manuel y a Carlos Fuentes, Universidad Simón Rodríguez, Núcleo Canoabo, por la donación de las naranjas, y al personal técnico de Planta Piloto y al Laboratorio de Biomoléculas de la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Núcleo Canoabo, Venezuela.

REFERENCIAS

- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, EEUU. 1298 pp.
- Avalo B (2004) Puesta en Marcha y Simulación de un Evaporador de Triple Efecto para la Concentración de Jugos Naturales. Tesis. Universidad de Carabobo. Venezuela. 82 pp.
- Bull M, Zerdin K, Howe E, Goicoechea D, Paramanandhan P, Stockman R, Sellahewa J, Szabo, E, Johnson R, Stewart C (2004) The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 5: 135-149.
- COVENIN (924:83) Frutas y Productos Derivados. Determinación de Sólidos Solubles por Refractometría. Fondonorma. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- COVENIN (1116:77) Frutas, Vegetales y Productos Derivados. Determinación de la Densidad Relativa. Fondonorma. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- COVENIN (1151:77) *Frutas y Productos Derivados. Determinación de la Acidez*. Fondonorma. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- COVENIN (1315:83) *Alimentos. Determinación del pH*. Fondonorma. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- COVENIN (2395: 1986) Concentrado de Frutas para Consumo Directo. Requisitos Físicos, Químicos y Microbiológicos para el Concentrado de Naranja. Fondonorma. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- Crane (1994) Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tubos. McGraw-Hill. México. 32 pp.
- Fellows P (1994) *Tecnología del Procesado de los Alimentos*. Acribia. Zaragoza, España. 554 pp.
- Fennema O (2000) *Química de los Alimentos*. 2^a ed. Acribia. Zaragoza, España. 1258 pp.
- Geankoplis C (1998) *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. 3^a ed. Continental. México. 1007 pp.
- Hours R, Ferreyra M, Schvab M, Gerard L, Zapata L, Davies C (2005) Caracterización fisicoquímica y microbiológica de jugos de naranjas destinados a vinificación. *Cien. Docenc. Technol.* 31: 219-239.
- Ibarz A, Pagan J, Garza S (1999) Kinetic models for color changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. *J. Food Eng.* 39: 415-422.
- INN (2001) *Tabla de Composición de Alimentos para Uso Práctico*. Publicación 54. Serie Cuadernos Azules. Instituto Nacional de Nutrición. Caracas, Venezuela. 97 pp.
- Jesus D, Leite M, Silva L, Modesta R, Matta V, Cabral L (2007) Orange (*Citrus sinensis*) juice concentration by reverse osmosis. *J. Food Eng.* 81: 287-291.
- Johnston C, Bowling D (2002) Stability of ascorbic acid in commercially available orange juices. *J. Am. Diet. Ass.* 102: 525-529.
- Kimball D (2002) *Procesado de Cítricos*. Acribia. Zaragoza, España. 463 pp.
- Lee H, Nagy S (1988) Relationship of sugar degradation to detrimental changes in citrus juice quality. *Food Technol.* 42: 91-94.
- Manso M, Oliveira F, Oliveira J, Frías J (2001) Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 303-312.
- Moreno-Álvarez M, Machado A, Padrón A, García D, Belén D (2004) Evaluación microbiológica y fisicoquímica de bebidas pasteurizadas fortificadas con extractos de desechos desodorizados de naranja. *Arch. Latinoam. Nutr.* 54: 308-313.
- Nagy S (1980) Vitamin C contents of citrus fruit and their products: A review. *J. Agric. Food Chem.* 28: 8-18.
- Nagy S, Lee H, Rouseff R, Lin J (1990) Nonenzymic browning of commercially canned and bottled grapefruit. *J. Agric. Food Chem.* 38: 343-346.
- Park G, Byer J, Pritz C, Nelson D, Navarro J, Smolensky D, Vandercook C (1983) Characteristics of California navel orange juice and pulp wash. *J. Food Sci.* 48: 627-632.
- Shaw P, Lebrum M, Dornier M, Ducamp M, Courel M, Reynes M (2001) Evaluation of concentrated orange and passion-fruit juices prepared by osmotic evaporation. *Lebens.-Wissen. Technol.* 34: 60-65.
- Singh R, Heldman D (1993) *Introduction to Food Engineering*. 2^a ed. Academic Press. Nueva York, EEUU. 499 pp.
- Smith C, Corripio A (2002) *Control Automático de Procesos*. Teoría y Práctica. Limusa, México. 717 pp.
- Stephen AM (1985) Food polysaccharides and their applications. En Fennema OR (Ed.) *Química de los Alimentos*. 2^a ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 212-221.
- Tannenbaum SR, Young VR, Archer MC (1985) Vitamins and minerals. En Fennema OR (Ed.) *Food Chemistry*. 2^a ed. Dekker. Nueva York, EEUU. pp. 489-491.
- Vandercook C, Navarro J, Smolensky D, Nelson D, Park G (1983) Statistical evaluation of data for detecting adulteration of California navel orange juice. *J. Food Sci.* 48: 636-640.