



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE PRETRATAMIENTOS
CON MICROONDAS EN LA EXTRACCIÓN
DE ZUMO DE NARANJA**

**MÁSTER
EN
CIENCIA E INGENIERIA DE ALIMENTOS**

ALUMNO:
BARBARA KALETA
DIRECTORA:
ANA ANDRÉS GRAU
M^a DOLORES ORTOLÀ ORTOLÀ
CODIRECTORA:
RUTH DE LOS REYES
CENTRO: IUIAD

RESUMEN

El zumo de naranja es una de las bebidas de frutas más populares en Europa. Los zumos de cítricos son apreciados por sus propiedades nutricionales fundamentalmente su alto contenido en vitamina C y carotenoides.

Aunque las industrias de extracción de zumo no suelen aplicar ningún pretratamiento, algunas investigaciones científicas ponen de manifiesto que, realizando tratamientos previos a la extracción del zumo con energía de microondas, se puede mejorar el rendimiento en zumo.

En consecuencia, el objetivo de este trabajo es determinar el efecto de aplicar un pretratamiento de microondas en el rendimiento y la calidad zumo de la naranja *Valencia Late* calibre 8. Para ello se valorará cuáles son los pretratamientos más eficaces en la extracción posterior de zumo, así como sus parámetros de calidad.

Las naranjas se sometieron a tres tipos de tratamientos que incluían tratamiento térmico con baño termostático y dos tratamientos con microondas: utilizando la potencia alta y tiempo de aplicación corto y utilizando la potencia baja y el tiempo de tratamiento largo. Todos los resultados se compararon con el grupo control donde no se aplicó ningún tipo de tratamiento.

Una vez realizados los tratamientos se extrajo el zumo y se llevó a cabo el análisis los siguientes parámetros de calidad del zumo: volumen, tamaño de partículas, color, °Brix, acidez, contenido en vitamina C y contenido en aceites esenciales.

No se obtuvieron mayores rendimientos en la extracción por efecto del aumento de la temperatura. Se observaron cambios de color por efecto de los pretratamientos, fundamentalmente en las muestras sometidas a calentamiento más intenso (60°) en baño termostático, con menores valores del parámetro a^* y del croma. Además, el tamaño medio de partícula del zumo tratado térmicamente es más pequeño.

Palabras claves: zumo de naranja, microondas, extracción de zumo

ABSTRACT

The orange juice is one of the most popular beverages in Europe. The citrus fruits' juice is appreciated for its nutritional properties, principally its high Vitamin C and carotenoids content.

Although, there is no application of pretreatment in orange juice extraction industry, various scientific studies were conducted with the results that application of microwave pretreatments prior to juice extraction improved the juice yield.

Consequently, the aim of this work was to study the influence on the juice yield and quality parameters of the orange juice (*Valencia Late*, calibre 8) after performing different microwave treatments.

The oranges (*Valencia late*) were submitted to three different treatments which included heat treatment with water bath, microwave treatment with high frequency and short time and microwave treatment with low frequency and long time. All the results were compared with the control sample that was not submitted to any kind of treatment.

Once the pretreatment were applied, the juice extraction and instrumental analysis were conducted. The analyzed parameters consisted in measuring the volume, particle size analysis, optical properties, soluble solids, density, acidity, the vitamin C content and essential oils content.

The obtained results showed no significant difference in juice yield between samples. The changes of color were observed, principally in samples submitted to heat treatment with the highest temperature (water bath, 60°C) and were characterized by lower values of a^* and C^* comparing to the other samples. The different pretreatments influenced on the particle size as well.

Key words: orange juice, microwave, juice extraction

RESUM

El suc de taronja és una de les begudes de fruites més populars a Europa. Els suc de cítrics són apreciats per les seues propietats nutricionals fonamentalment el seu alt contingut en vitamina C i carotenoides. Encara que les indústries d'extracció de suc no solen aplicar cap pretractament, algunes investigacions científiques posen de manifest que, realitzant tractaments previs a l'extracció del suc amb energia de microones, es pot millorar el rendiment en suc. En conseqüència, l'objectiu d'este treball és determinar l'efecte d'aplicar un pretractament de microones en el rendiment i la qualitat del suc de taronja València Late calibre 8. Per a això es valorarà quins són els pretractaments més eficaços en l'extracció posterior de suc, així com els seus paràmetres de qualitat.

Les taronges es van sotmetre a tres tipus de tractaments que incloïen tractament tèrmic amb bany termostatat i dos tractaments amb microones: utilitzant potència alta i temps d'aplicació curts i utilitzant potència baixa i temps de tractament llargs. Tots els resultats es van comparar amb el grup control on no es va aplicar cap tipus de tractament. Una vegada realitzats els tractaments es va extraure el suc i es va dur a terme l'anàlisi dels següents paràmetres de qualitat del suc: volum, grandària de partícules, color, °Brix, acidesa, contingut en vitamina C i contingut en olis essencials. No es van obtindre majors rendiments en l'extracció per efecte de l'augment de la temperatura

Es van observar canvis de color per efecte dels pretractaments, fonamentalment en les mostres sotmeses a calfament més intens (60°) en bany termostatat, amb menors valors del paràmetre a^* i del cromà. A més, la grandària mitjana de partícula del suc tractat tèrmicament és més menuda.

A causa de la aparició de estudis recents relacionats amb l'extracció de suc i l'aplicació de diferents pre-tractaments, l'objectiu d'aquest treball va ser estudiar la influència en els paràmetres del rendiment i la qualitat del suc de

taronja després de realitzar diferents tractaments. L'anàlisi instrumental de mostres consistia a mesurar el volum, l'anàlisi de mida de partícules, les propietats òptiques, els sòlids solubles, la densitat, l'acidesa, el contingut en vitamina C i el contingut d'olis essencials.

Les taronges (València late) es van presentar als tres diferents tractaments que inclouen el tractament tèrmic amb bany d'aigua, el tractament de microones amb alta freqüència i poc temps i el tractament de microones amb baixa freqüència i molt de temps. Tots els resultats es van comparar amb la Mostra de Control que no es va presentar a capius de tractament.

Els resultats obtinguts van mostrar cap diferència significativa en el rendiment del suc entre les mostres. El tractament de microones (baixa freqüència i molt de temps) va mostrar el rendiment més alt del suc (aproximadament 8% comparant amb la Mostra de Control).

Es van observar els canvis de color. La diferència de color ΔE , la lluminositat L i a^* van ser examinats.

Els diferents pre-tractaments també influïren en la distribució i el nombre de partícules del suc de taronja.

Paraules claus: suc de taronja, microones, extracció de suc

1.Introducción

El zumo de naranja es la bebida de fruta más popular en Europa según la AIJN (European Fruit Juice Association, Market Report, 2012). Debido a esto, los zumos de cítricos se han convertido en el objetivo de varios estudios universitarios. En ellos, se ha demostrado que el zumo de naranja tiene un alto contenido en vitamina C (Vikram, 2005; Sánchez-Moreno, 2003; Goodner y Johnson, 2001). Esta vitamina se relaciona con el aumento de defensas naturales del cuerpo y se reconoce su alta actividad antioxidante (Zequeira, 2006). También se ha demostrado su alto contenido de los carotenoides (Fратиanni, 2010; Sánchez-Moreno, 2003).

En cuanto a los beneficios para la salud, se ha documentado en experimentos de laboratorio (Bayers y Perry, 1992) que la vitamina C junto con los carotenoides y la vitamina E aumentan la protección contra el cáncer. Por otro lado se ha argumentado que el consumo de zumo de naranja puede tener un efecto beneficioso en las enfermedades cardiovasculares (Kurowska, 2000).

Respecto a la producción, las naranjas ocupan el cuarto lugar entre las frutas cultivadas en España, según FAO (2011). La producción se concentra en la Comunidad Valenciana y en Andalucía (respectivamente 53% y 38% de la producción total de las naranjas, según la revista Distribución y consumo, Julio – Agosto 2009). A nivel mundial el mayor productor de naranjas es Brasil, España ocupa el sexto lugar con el 4% del mercado mundial (Citrus fruit fresh and processed, Annual statistic 2012).

Actualmente se pueden distinguir cuatro grandes grupos de naranjas: Navel, Blancas, Sanguinas y Sucreñas. Dentro de cada grupo existen

diferentes variedades con diferente tiempo de recolección. La variedad utilizada en este trabajo, Navel late, se cosecha, en la Comunidad Valenciana, entre marzo y junio.

La industria de zumos tiene un gran interés en las naranjas Blancas, Sanguinas y Sucreñas por su alto contenido de zumo y sus propiedades organolépticas tales como su sabor dulce y bajo contenido en ácidos. Las naranjas del grupo Navel, en general, tienen limitada su aplicación industrial como consecuencia del elevado contenido en limonoides del zumo, entre los que destaca la limonina (glucósido que se hidroliza impartiendo un fuerte sabor amargo a los zumos en el proceso de tratamiento térmico y que lo hace inadecuado para el consumo). Sin embargo existen dos variedades de naranjas Navel en las que este fenómeno es menos acusado por su bajo contenido en limonina, Navel Late y Navel-Golosa (Johnson, 2001).

Más del 75% de la producción mundial de zumos cítricos se realiza basándose en la idea del “principio de extracción de toda la fruta”. Por este principio los componentes de la maquinaria interactúan de tal manera que pelan la naranja y exprimen el zumo de la naranja pelada mediante un colador, en fracciones de segundo (Johnson, 2001).

Después de la selección, lavado y clasificación, la fruta es enviada a los extractores de zumo de copas que suelen tener de 3- 5 copas dependiendo del tamaño de la fruta. Se intenta evitar el contacto entre el zumo y la piel para evitar el posible amargor del zumo provocado por la migración de aceites esenciales de la corteza de zumo. Después de la extracción, el zumo pasa por la centrifugadora para separar la pulpa (la cual se devuelve luego para producir el zumo con pulpa). El zumo extraído pasa por el vaporizador que recoge los aceites esenciales los cuales se pueden usar como esencias en otras ramas de la industria alimentaria.

En la industria alimentaria no se suelen aplicar tratamientos a la fruta antes de exprimirla. Sin embargo en los centros de investigación, donde siempre se busca una constante mejora de los procesos, se estudia la influencia de diferentes tratamientos a la extracción de zumo con el fin de mejorar el rendimiento y mejorar la calidad del mismo.

Uno de los tratamientos estudiados es la aplicación de un tratamiento térmico para el que suelen utilizarse los baños termostáticos. La transferencia de calor en este tratamiento se realiza mayoritariamente por conducción. En este tipo de tratamientos, las publicaciones consultadas, indican que aparecen cambios de color que pueden explicarse por la pérdida de carotenoides (Fратиanni, 2010). También se ha demostrado que el tratamiento térmico puede influir en la concentración de componentes fenólicos en el zumo de fruta (Gerard, 2004).

Una opción que se ha estudiado es la aplicación de microondas para realizar el tratamiento térmico de forma más rápida y eficaz. Esto podría paliar la pérdida de calidad del zumo aumentando la velocidad de extracción del mismo. Esto es así porque la acción de las ondas electromagnéticas provoca que determinados componentes del producto (moléculas polares, iones,...) absorban parte de la energía de la onda y en consecuencia, el calor no se transmite desde el exterior sino que se genera dentro del mismo producto.

La frecuencia utilizada para los tratamientos es 2,45 GHz, que es la más común entre las reservadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (banda ISM). A esa frecuencia, la profundidad de penetración en el producto, así como la cantidad de energía absorbida en el mismo depende de las propiedades dieléctricas (permitividad) del mismo. La eficiencia del proceso depende también de otros factores como: propiedades mecánicas y térmicas del producto, así como del tamaño y forma de la fruta.

Uno de los problemas que se pueden encontrar al utilizar esta técnica en naranjas enteras es la dificultad para controlar la temperatura alcanzada por el fruto en el caso de que aparezca sobrecalentamiento central. Al ser un fruto prácticamente esférico, pueden aparecer unas zonas en el producto donde la energía se concentra provocando un aumento de la temperatura. La energía de microondas se concentra en el centro de esferas y cilindros para diámetros de 1 a 3 veces el valor de la profundidad de penetración (D_p) que se calcula a partir de la propiedades dieléctricas del material (ϵ' y ϵ'') mediante la ecuación 1.

$$d_p = \frac{1}{2\alpha} = \frac{\lambda_0}{2\pi\sqrt{2}} \left(\epsilon' \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'} \right)^2} - 1 \right] \right)^{-1/2} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Se han obtenido muy buenos resultados en la aplicación de microondas a la inactivación de las enzimas y en consecuencia evitar el empeoramiento de la calidad del zumo, lo que es de gran interés para la industria alimentaria. Por esa razón se está desarrollando una amplia línea de investigación para aplicar microondas en este tratamiento o en procesos de pasteurización de productos líquidos (Fратиanni, 2010; Garnacho 2012; Tajchakavit, 1995).

El uso de microondas en los tratamientos previos a la extracción de zumo se ha documentado en algunas investigaciones. Se ha aplicado en la extracción del zumo de manzana (Wang 2002; Gerard, 2004) y en la extracción del zumo de uva (Baysal, 2011). En ambos casos se ha observado el aumento del volumen del zumo extraído y también se ha conseguido una mejora en la calidad del zumo.

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la aplicación de microondas, a modo de pretratamiento en la extracción de zumo de naranja. Para ello se aplicaran tres diferentes tipos de pretratamiento analizando cómo influyen en la posterior extracción del zumo. Se determinaron los factores de calidad de zumo como los grados Brix, el color, el tamaño de las partículas, el volumen y el rendimiento de la extracción, la densidad, la acidez y el contenido de la vitamina C.

1. Materiales y métodos

1.1. Materia prima

Las naranjas variedad Valencia Late, calibre 8 fueron adquiridas en una central hortofrutícola de la zona de su encerado, manteniéndose en el laboratorio a 8°C. Antes de empezar cualquier ensayo, las naranjas se atemperaron a 22°C.

1.2.Tratamientos térmicos

Para determinar el tiempo de calentamiento necesario para alcanzar una temperatura adecuada en el centro geométrico de la naranja, se determinó en primer lugar la difusividad térmica de las mismas.

Para ello se introdujeron 4 naranjas en un baño con regulación y lectura digital (Presicdig 6001238 J.P. Selecta s.a.) termostatado a 70°C. Se introdujo en cada naranja un termómetro digital con sonda de pincho (Lacor, no. 62453), registrándose la temperatura en el centro geométrico con el tiempo.

Una vez determinada la difusividad térmica, se definieron los diferentes tiempos y temperaturas de tratamiento que se muestran en la tabla 1.

Los diferentes ensayos planteados se llevaron a cabo en el mismo baño termostatado a 70°C. Las pruebas se realizaron por cuadruplicado con tres naranjas cada una.

Tabla 1. Condiciones de los tratamientos térmicos.

Muestra	Temperatura en el centro geométrico [°C]	Tiempo [min]
C	22	0
B40	40	13 – 15
B50	50	20 – 22
B60	60	29 – 31

1.3.Calentamiento por microondas

Todos los tratamientos de esta serie se llevaron a cabo en un horno microondas (LG MB4034B).

Para determinar el tiempo necesario para que el centro térmico de la naranja alcance la temperatura deseada, se llevaron a cabo una serie de ensayos previos. Para ello se introdujo las naranjas en el microondas y después de un tiempo determinado se midió la temperatura en el centro geométrico con el termómetro digital con la sonda de pincho.

Los tiempos de tratamiento para cada una de las potencias aplicadas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones del calentamiento por microondas.

Muestra	Temperatura en el centro geométrico [°C]	Potencia [W/g]	Tiempo [s]
C	22	0	0
MB40	40	1,23 – 1,58	40 – 50
MB50	50		60 – 70
MB60	60		80 – 90
MA40	40	5,5 – 7,2	10
MA50	50		15
MA60	60		20

Para llevar a cabo los tratamientos a alta potencia (MA) se introdujo una sola naranja en el plato central del equipo, mientras que para los tratamientos a baja potencia (MB) se introdujeron 4 naranjas. Una vez acabado el tiempo de tratamiento, se comprobó la temperatura en el centro geométrico de cada naranja con el termómetro digital con la sonda de pincho. Se descartaron las naranjas que no cumplían con el objetivo de temperatura deseada.

1.4.Extracción del zumo

Inmediatamente tras los tratamientos de calentamiento, así como en un lote de naranjas control a temperatura ambiente, se extrajo el zumo de las mismas con un extractor BodumBistro Electric Juicer. La presión aplicada para la extracción fue similar en todos los casos, estableciéndose un tiempo de extracción de 10 segundos en todos los casos.

Después de la extracción el zumo fue filtrado con el tamiz de 1 mm.

1.5.Determinaciones analíticas

1.5.1. Peso y diámetro de las naranjas

Para la medida del peso se utilizó una balanza electrónica (Precisa, serie 165 BJ 6100D).

El diámetro se midió con un calibre manual.

1.5.2.Tamaño de partícula

El tamaño de partícula en el zumo se determinó usando un difractómetro láser Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, Reino Unido). Las muestras fueron dispersadas en agua destilada. Se determinó el tamaño de partícula por triplicado de cada una de las muestras. El tamaño medio de las partículas fue expresado en términos de los parámetros $D_{4,3}$ y $D_{3,2}$.

Los valores de la refracción de la nube y de la fase dispersa fueron 1,73 y 1,33 respectivamente.

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

1.5.3.Propiedades ópticas

Para determinar las propiedades ópticas se utilizó un espectrocolorímetro Minolta CM-3600d (Minolta Co. Ltd., Japón) obteniendo el espectro de reflexión de las muestras entre 380 y 770 nm. Las muestras de zumo se introdujeron en una cubeta de 1,5 mm de espesor. La medida de color se realizó colocando la cubeta en una ventana de 10 mm de diámetro. Se obtuvieron las coordenadas de color CIE-L*a*b* utilizando como referencia el observador 10°e iluminante D65.

La luminosidad (L^*) define la claridad de la muestra y toma valores entre 0-100. La coordenada a^* representa los componentes de rojo (si los valores son positivos) y los componentes de verde (si es negativo). La coordenada b^*

determina las tonalidades amarillas (si es positivo) y las tonalidades azules (si los valores son negativos).

A partir de los valores de L^* , a^* y b^* , se calcularon las coordenadas psicométricas: tono (h^*_{ab}) y croma (C^*_{ab}), definidas mediante las ecuaciones 2 y 3 y la diferencia de color (ecuación 4):

$$h^*_{ab} = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

1.5.4. Sólidos totales

Para determinar el contenido en sólidos solubles totales de las muestras de zumo se utilizó el refractómetro de mesa (Atago NAR-3T) termostataado a 20°C. Los valores se obtuvieron directamente de la medida.

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

1.5.5. Contenido en ácidos totales

La acidez total del zumo se analizó por valoración con NaOH 0.1N. Para preparar la muestra se mezcló 5 mL de zumo con 45 mL de agua destilada añadiendo tres gotas de fenolftaleína. Se valoró hasta obtener el color rosa persistente durante 30 segundos. Los resultados se expresaron en gramos de ácido cítrico en 100 mL de zumo.

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

1.5.6. Contenido en la vitamina C

El contenido en vitamina C se determinó utilizando el método oficial de la AOAC 697.21 (2000) aprovechando las propiedades reductoras del ácido ascórbico sobre el colorante 2-6 diclorofenol indofenol. Para preparar el indicador se mezclaron 80 mg de 2-6 diclorofenol indofenol con 100 mL de agua destilada hervida y 2 mg de bicarbonato sódico. Se filtró y mantuvo en refrigeración en frasco de color topacio.

Para valorar el indicador se preparó una disolución patrón de ácido ascórbico de 250 ppm disolviendo el ácido ascórbico en ácido metafosfórico al 5%. Esta disolución se valoró rápidamente con la solución de colorante y se calcularon los miligramos de ácido ascórbico equivalente a 1 mL de indicador.

Para valorar las muestras se mezclaron 5 mL de zumo, 5 mL de ácido metafosfórico al 25% y se enrasó con agua destilada hasta 25 mL. Se valoraron 10 mL de la disolución anterior hasta obtener un color rosa persistente durante 30 segundos.

El resultado se expresó en mg de vitamina C/100 mL de zumo.

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

1.5.7.Densidad

La densidad del zumo se midió con un picnómetro a 22°C.

1.5.8.Aceites esenciales

Los aceites esenciales se extrajeron del zumo utilizando el método oficial AOAC 698.20 (1968) de extracción por arrastre del vapor. Para obtener la muestra destinada para la extracción se mezclaron 25 mL de zumo, 25 mL de agua destilada y 25 mL de alcohol 2- propanol. Se extrajeron 30mL del destilado. Antes de la valoración con bromato- bromuro (0.05 mol/L) se le habían añadido 10 mL de ácido clorhídrico (0.5 mol/L) junto con tres gotas de naranja de metilo 0.1%. Para calcular el contenido en aceites esenciales se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{ppm aceite esencial} = (\text{mL valorante muestra} / \text{mL valorante blanco}) \times 160 \quad \text{Ecuación 5.}$$

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

1.5.9.Análisis de las propiedades dieléctricas

El análisis de las propiedades dieléctricas se realizó mediante una sonda coaxial Agilent 85070E conectada a un analizador de redes Agilent E8362B Vector Network Analyser. Se realizaron medidas de la constante dieléctrica y el factor de pérdidas en el rango de frecuencias de 500 MHz a 20 GHz en la piel, el flavedo y en el interior de gajo de la naranja. Las medidas se realizaron por triplicado a 25°C.

1.5.10.Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el programa StatgraphicsCenturion XVI versión 3.1.11 (2010), realizando un Análisis de la Varianza (ANOVA) utilizando un test de comparación múltiple, con un nivel de significación del 95% ($p < 0.05$) para evaluar las diferencias entre los distintos tratamientos.

2.Resultados y discusión

2.1.Determinación de la difusividad térmica

Tal y como se comentó en Materiales y Métodos, para establecer tiempos de calentamiento en baño termostático para asegurar una temperatura en el centro geométrico de la naranja, se determinó la difusividad térmica de la materia prima.

La figura 1 muestra un ejemplo de la variación de la temperatura con el tiempo registrada en el centro geométrico.

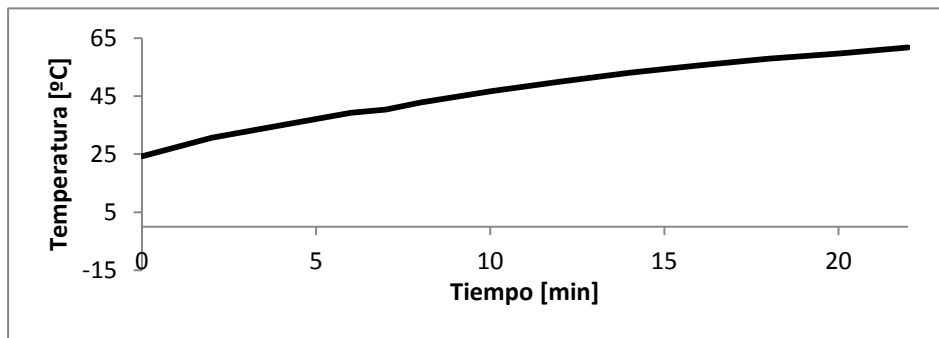


Figura 1. Aumento la temperatura en el centro geométrico de naranja

Considerando que la transmisión de calor en el sistema es unidireccional (esfera de radio infinito), que la temperatura inicial del sólido es uniforme (las naranjas se dejaron atemperar el tiempo suficiente), que el medio que rodea al sólido tiene una temperatura constante (70°C) y que las propiedades físicas del sólido (densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica) permanecen constantes con la temperatura, puede integrarse la ecuación diferencial en derivadas parciales general que proporciona la relación entre la temperatura en un punto del sólido con el tiempo (ecuación 6).

$$Y_e = 2[e^{-\pi^2 X_e}] \quad \text{Ecuación 6.}$$

En la que

$$Y_e = \frac{T_\infty - T}{T_\infty - T_0} \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$X_e = \frac{\pi^2 \alpha}{r^2} \quad \text{Ecuación 8.}$$

T_∞ : temperatura del baño

T : temperatura en el punto a tiempo t

T_0 : temperatura inicial

α : difusividad térmica del sólido

r : radio de la esfera

Con los resultados registrados de la variación de la temperatura con el tiempo en el centro geométrico y mediante la linealización de la ecuación 6, se determinó la difusividad térmica de la fruta, siendo esta de $1,28 \cdot 10^{-07} \text{ m}^2/\text{s}$.

A partir de este valor, y aplicando la ecuación 7, se determinaron los tiempos necesarios de tratamiento para cada una de las temperaturas para los posteriores ensayos.

2.2. Caracterización de la materia prima

Los zumos obtenidos tras los diversos pretratamientos se analizaron fisicoquímicamente, determinando su densidad, contenido en ácidos y grados Brix. En ningún caso se encontraron diferencias significativas por

efecto de los tratamientos, por lo que la tabla 3 muestra los valores medios para todos los tratamientos.

Como puede observarse, la materia prima utilizada, naranjas variedad Navel Late son adecuadas para la industrialización, pues su contenido en sólidos solubles se encuentra en el rango de 10,5 a 12,0.

Tabla 3. Valores medios de densidad, acidez y °Brix obtenidos para todos los tratamientos.

	Densidad [g/cm ³]	Acidez [g ácido/100mL]	°Brix
Valores medios	1,0 ± 0,4	0,98 ± 0,08	10,8065 ± 0,0012

2.3. Propiedades dieléctricas

Antes de tratamiento con microondas se midieron las dimensiones de diferentes partes de la fruta (tabla 4).

Tabla 4. Dimensiones de diferentes partes de fruta

	Diámetro hosquedad central	Espesor piel	Espesor pulpa	Diámetro
Valores medios [mm]	8,6 ± 1,1	4,6 ± 0,6	22,3 ± 1,1	61 ± 2

Así mismo también se caracterizaron las propiedades dieléctricas de 5 frutos para obtener valores medios y desviaciones estándar de la pulpa y piel por separado. Los valores de la constante dieléctrica (ϵ') y el factor de pérdidas (ϵ'') medidos y su correspondiente D_p calculada se presentan en la tabla 5. Las medidas del fruto completo proporcionaron valores muy similares a los obtenidos para la piel, aunque estos resultados no se consideran concluyentes, ya que, por el tipo de método de medida utilizado, es posible que no se esté midiendo más allá de la discontinuidad piel-pulpa, y por tanto se esté midiendo sólo la piel.

Tabla 5. Valores de las constantes dieléctricas de las partes de naranja

	ϵ'	ϵ''	D_p (mm)	$D_p \times 3$
pulpa	59,1 ± 1,7	13,1 ± 0,7	11,5 ± 0,7	34 ± 2
piel	29 ± 3	6,6 ± 0,8	16,2 ± 1,3	48 ± 4

Los valores calculados de profundidad de penetración (D_p) indican que en una esfera homogénea de piel o pulpa, no habría problemas de sobrecalentamiento central, ya que este sobrecalentamiento sólo se da cuando el diámetro de la esfera es del orden de 1 a 3 veces el valor de la D_p del material.

En cambio, experimentalmente, sí se han encontrado indicios de sobrecalentamiento medidos con la sonda de temperatura. Esto puede atribuirse a que cualquier fruto dista mucho de ser una “esfera homogénea”

siendo un sistema lleno de discontinuidades que provocan distintas reflexiones que pueden provocar el calentamiento en la zona central.

2.4. Rendimiento en peso

La figura 2 muestra el rendimiento obtenido de zumo de las naranjas sometidas a cada uno de los pretratamientos.

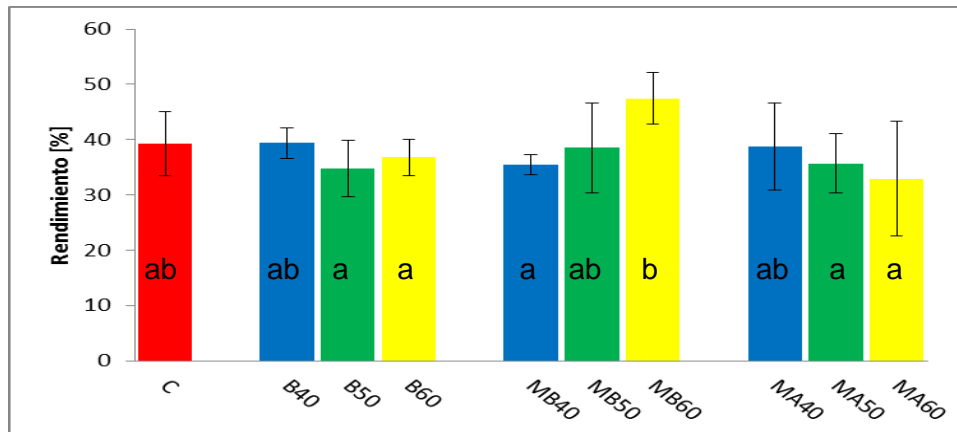


Figura 2. El rendimiento de las muestras según el pretratamiento

Como se puede observar no hay diferencias significativas en el rendimiento de la extracción del zumo entre las muestras. Sin embargo parece observarse que un pretratamiento de microondas a baja potencia hasta alcanzar 60°C en la fruta (MB60) aumenta ligeramente el rendimiento de la extracción. Este aumento se podría explicar por la degradación de los tejidos dentro de la naranja debido al sobrecalentamiento.

Un aumento similar se ha observado en otros estudios relacionados con la aplicación de microondas previa a la extracción de zumo. Así, en manzanas, hasta 7% con pretratamientos de microondas a 50°C (Wang, 2002), 8% para pretratamiento de microondas a 60°C (Gerard, 2004) y 15% en uva con tratamiento con microondas a 70°C (Baysal, 2011).

Por estudios previos llevados a cabo en otras variedades de naranjas (estudios no publicados) cabía esperar mayores diferencias en el rendimiento de la extracción. Las escasas diferencias obtenidas en estos ensayos podrían atribuirse a que el tiempo de extracción fijado (10s) consiguiera, en todos los casos, la extracción de todo el zumo de fruta. De hecho, el rendimiento en zumo de esta variedad de naranjas ronda el 40%, valor similar al obtenido en la fruta control.

2.5. Tamaño de partículas

La distribución de tamaño de partícula para las distintas muestras de zumo se muestra en la figura 3.

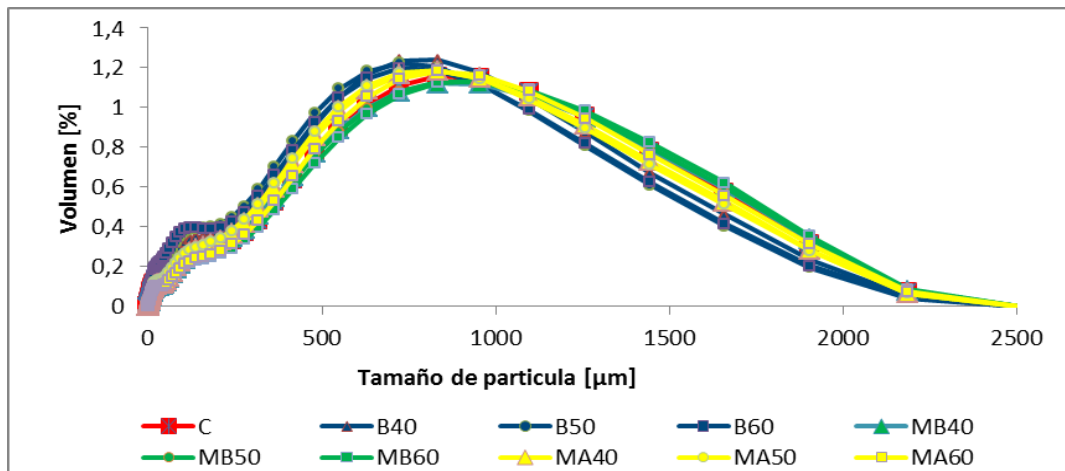


Figura 3. Distribución del tamaño de partícula

En todos los casos se observa una distribución de tamaño de partícula monomodal con tamaños hasta de 2500 μm . La gran dispersión en tamaños de partícula se explica por ser el zumo de naranja una disolución en agua de numerosas sustancias entre las que se encuentran azúcares, ácido cítrico, constituyentes minerales, glucósidos, sustancias pécticas, productos nitrogenados, grasas, vitaminas, componentes aromáticos, etc.

La tabla 6 muestra los valores de $d_{4,3}$ y $d_{3,2}$ para cada una de las muestras analizadas. La media del tamaño de la distribución de partículas en superficie ($d_{3,2}$) permite caracterizar las partículas pequeñas y esféricas, mientras que la media de tamaño de la distribución de partículas en volumen ($d_{4,3}$) representa las partículas de mayor tamaño con formas irregulares. De los valores obtenidos en ambos parámetros, y de igual forma a lo observado en la figura 3, puede observarse que las muestras sometidas a un calentamiento en baño termostatado (B) tienen tamaños de partícula más pequeños, tanto más cuanto mayor es la temperatura. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los zumos pretratados con microondas y el zumo control. Este hecho podría atribuirse al efecto del tiempo de calentamiento, mucho mayor en calentamientos en baño, que produciría una descompartimentación celular mucho mayor en la fruta con degradación de componentes y tejidos.

Tabla 6. Valores de tamaño medio de partícula $d_{3,2}$ y $d_{4,3}$,

Muestra	$d_{3,2}$ (μm)	$d_{4,3}$ (μm)
Control	88 ± 22	608 ± 93
B40	74 ± 10	549 ± 35
B50	65 ± 5	522 ± 51
B60	56 ± 4	511 ± 32
MB40	92 ± 7	620 ± 41
MB50	96 ± 22	633 ± 104
MB60	100 ± 19	656 ± 81
MA40	89 ± 11	595 ± 78
MA50	79 ± 12	577 ± 72
MA60	87 ± 5	626 ± 18

2.6. Propiedades ópticas

La figura 4 muestra los valores de luminosidad del zumo obtenido tras los diferentes pretratamientos. No se encontraron diferencias significativas por efecto de los diferentes pretratamientos.

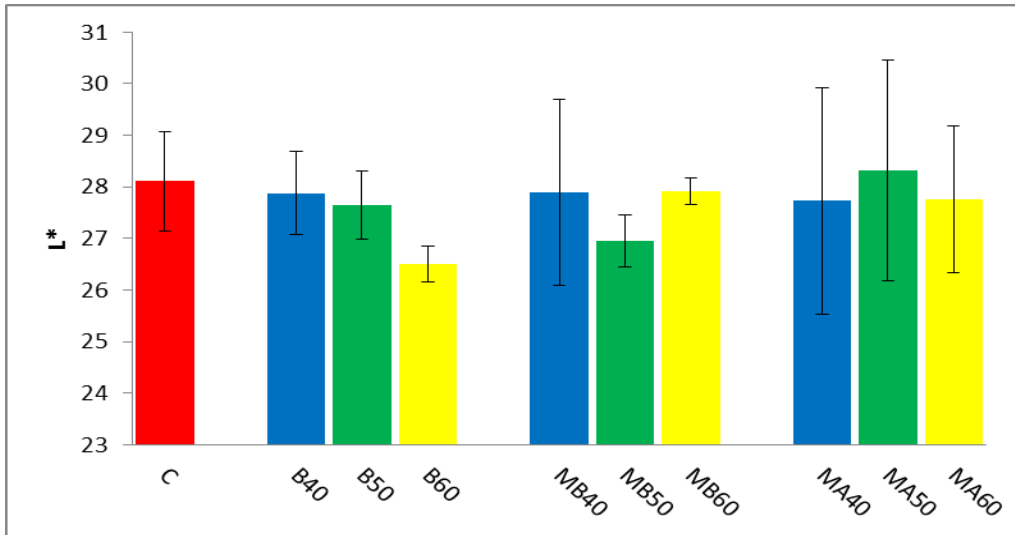
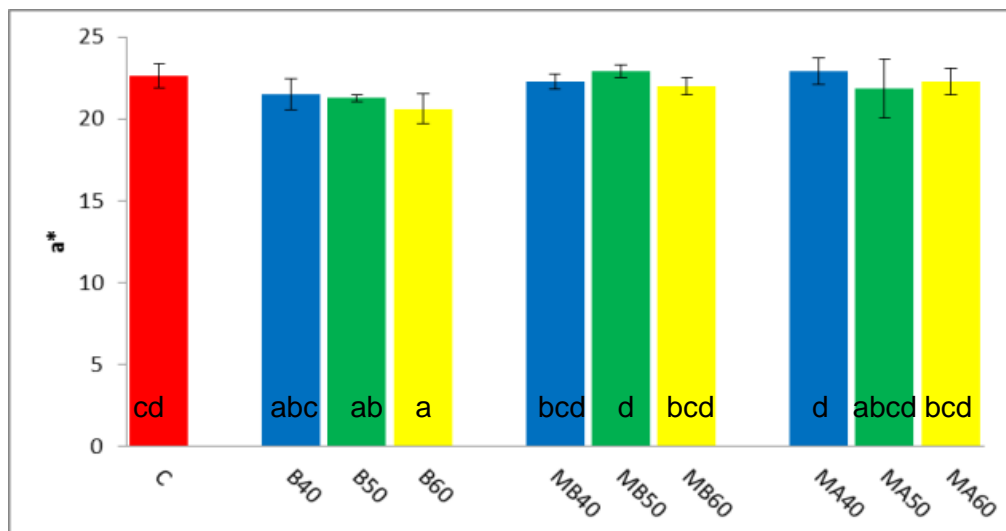


Figura 4. Valores de luminosidad de las muestras

La figura 5 muestra los valores del parámetro a^* en los zumos obtenidos. Como puede observarse, el zumo obtenido tras un calentamiento en baño termostático (B60) muestra diferencias significativas ($\alpha < 0.95$), con valores del parámetro a^* menores, siendo, por tanto, el zumo ligeramente menos rojizo. La alta temperatura de tratamiento y los tiempos elevados serían los responsables de la degradación de carotenoides en el zumo (Lee, 2003). Un tratamiento a alta temperatura pero con tiempos cortos (calentamiento por microondas) evitaría esta degradación. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los valores del parámetro b^* (figura 6).



Figuras 5. Valores del parámetro a^* en los zumos con distintos pretratamientos

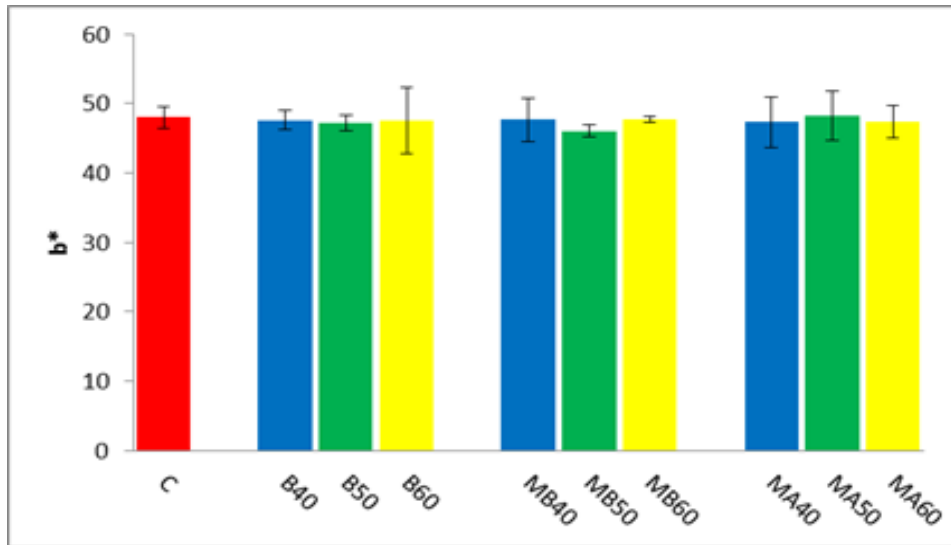


Figura 6. Valores del parámetro b* en los zumos con distintos pretratamientos

En relación al croma (c^*) y al tono (h^*), las figuras 7 y 8 muestra los valores obtenidos para cada uno de los zumos. El tono de las diferentes muestras de zumo no presentó diferencias significativas, mientras que el zumo obtenido tras un pretratamiento en baño a 60°C (B60) presentó una menor saturación del color (croma). Teniendo en cuenta que el zumo de naranja es rico en carotenoides, la degradación de estos compuestos por efecto de la temperatura y el tiempo largo de tratamiento puede ser la causa de estos cambios (Fратиanni, 2010).

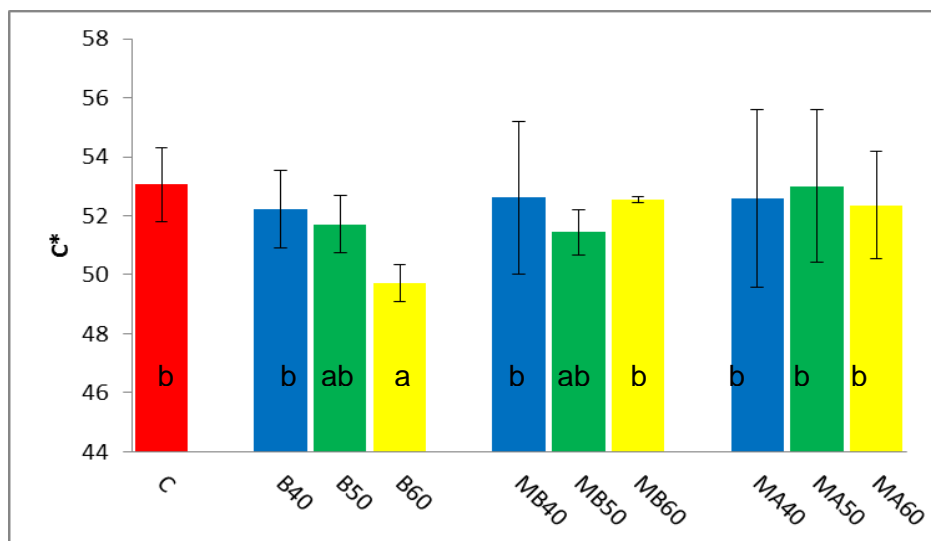


Figura 7. Valores del parámetro c* en los zumos con distintos pretratamientos

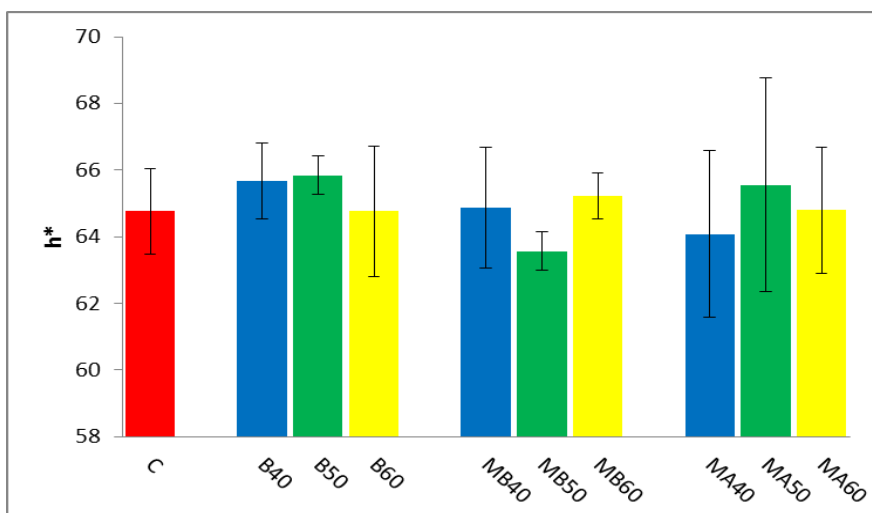


Figura 8. Valores del parámetro h* en los zumos con distintos pretratamientos

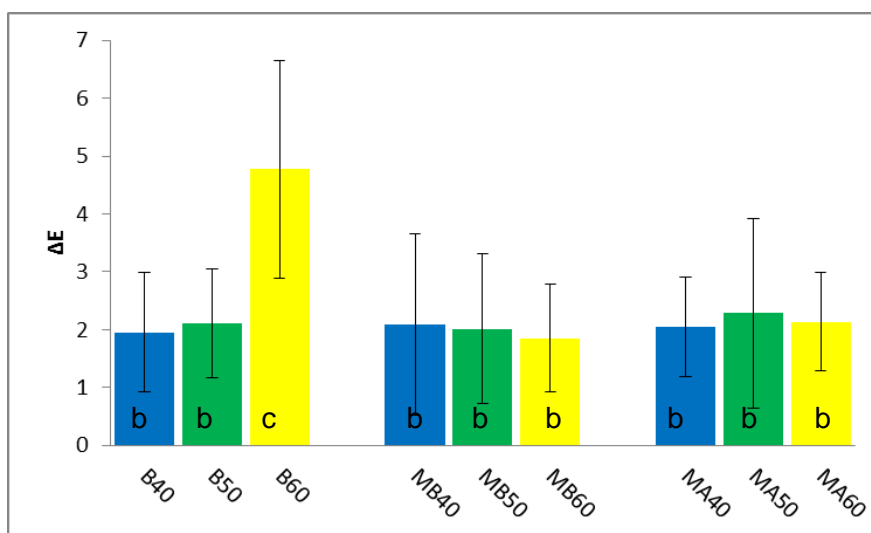


Figura 9. Cambios de color según tratamiento.

Las diferencias encontradas sobre todo en la muestra B60 pueden observarse también en la figura 9 donde se representa la diferencia de color calculada para cada una de las muestras según la ecuación 4.

En otros estudios llevados a cabo en zumo de naranja (Vikram, 2005) también se observaron diferencias de color como consecuencia de tratamientos térmicos convencionales, no observándose cuando el fruto era sometido a calentamientos con microondas. Resultados en el mismo sentido fueron encontrados en zumo de uva (Baysal, 2011).

2.7. Aceites esenciales

El contenido en aceites esenciales en el zumo de naranja es uno de los factores importantes relacionados con el sabor y aroma. De entre los numerosos componentes volátiles encontrados en zumos de naranja, el limoneno es, sin duda, el componente más abundante, llegando a representar entre el 79 y el 83% del total de volátiles (Ikeda et al, 1962).

La figura 8 muestra el contenido en aceites esenciales analizados en los zumos obtenidos tras los pretratamientos. Cabe destacar la gran diferencia observada entre el zumo control y los zumos obtenidos tras los pretratamientos. Estando la mayor parte del limoneno concentrado en la piel de la fruta, su incorporación al zumo se produce durante el proceso de extracción. En este sentido, parece que la extracción en frutos pretratados ha sido menos agresiva que en la fruta control, donde la rotura de las celdillas que contienen el aceite ha sido importante.

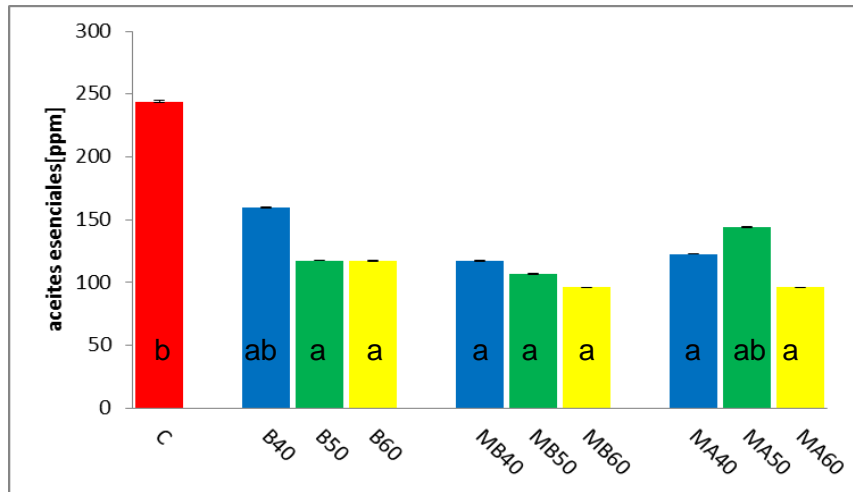


Figura 8. Contenido en aceites esenciales de las muestras

2.8. Contenido en vitamina C

No se encontraron diferencias significativas por efecto de los diferentes pretratamientos en relación al contenido en ácido ascórbico de los zumos (figura 9). Dada la alta termolabilidad del ácido ascórbico, sin embargo los tiempos de calentamiento no han sido suficientemente largos como para disminuir el contenido en vitamina C del zumo.

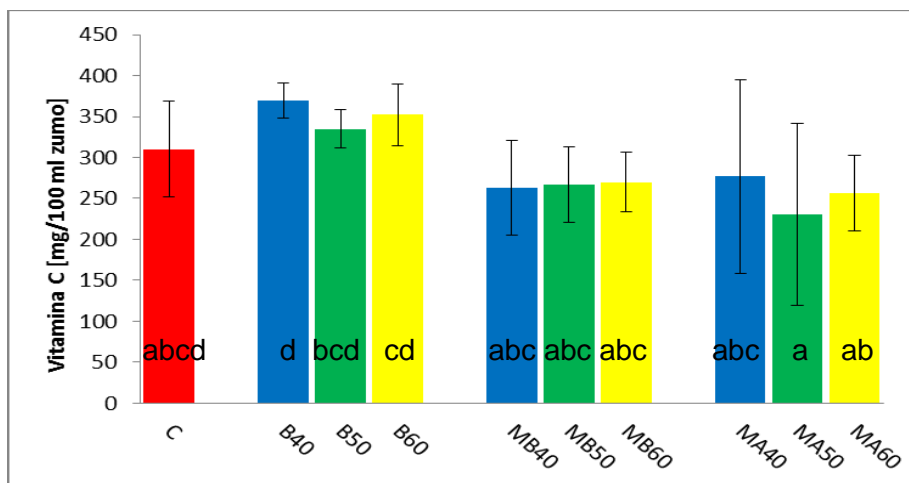


Figura 8. Contenido de vitamina C según tratamiento

3. Conclusiones

Con los tiempos utilizados de extracción no han podido observarse efectos significativos de los pretratamientos con microondas en relación al rendimiento en zumo. Deberían continuarse los estudios variando los tiempos de extracción para poder observar si existen diferencias entre pretratamientos.

Aunque en la mayor parte de los análisis efectuados no se han encontrado diferencias entre las propiedades fisicoquímicas de los diferentes zumos, cabe destacar que calentamientos de la fruta previos a la extracción (tanto en baño como con microondas) disminuyen el contenido en aceites esenciales en el zumo, lo que a nivel industrial podría suponer una reducción de costes en la etapa de eliminación de aceites esenciales.

Pre calentamientos a 60°C con velocidades de calentamiento lentas (baño termostado) afectan de forma importante a la calidad del zumo, oscureciendo el mismo y disminuyendo la saturación de color.

Pre calentamientos a 60°C con microondas (tratamiento MB60) no disminuyen la calidad del zumo obtenido y muestran un aumento en el rendimiento similar al obtenido con tratamientos análogos en otras frutas, aunque en este caso ese incremento no sea significativo.

4. Bibliografía

1. Baysal, T., Demirdöven, A., Rauman, A. 2011. Effects of electrical pre – treatment applications on yield and quality of grape juice. *GIDA*. Vol. 36. Pages 145 – 152.
2. European Fruit juice Association (AIJN). 2012. 2012 Market report. Printed by Williams Press, 2012. Pages 23.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. Citrus fruits. Fresh and processed. Annual statistics 2012.
4. Fratianni, A., Cinquanta, L., Panfili, G. 2010. Degradation of carotenoides in orange juice during microwave heating. *LWT – Food Science and Technology*. Vol. 43. Pages 867 – 871.
5. Garnacho, G., Kaszab, T., Horváth, M, Gécz, G. 2002. Comparative study of heat – treated orange juice. *Journal of Microbiology and Food Sciences*. Vol. 2. Pages 446 – 457.
6. Gerard, K.A., Roberts, J.S. 2004. Microwave heating of apple mash to improve juice yield and quality. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*. Vol. 37. Pages 551 – 557.
7. Goodner, K.L., Rouseff, R.L., Hofasommer, H.J. 2001. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 43. Pages 1146 – 1150.
8. Ikeda, R.M.; Rolle, L.A.; Vannier, S.H. y Stanley, W. 1962 a. Lemon oil composition. Isolation and identification of aldehydes in cold-pressed Lemon oil. *J. Agric. Food Chem.* 10, 98-102.
9. Johnson, T. 2001. La producción de zumo de cítricos y la aplicación de tecnología al mercado de productos frescos. *FAO Simposio sobre Cítricos. China 2001*. Pages 79 – 86.
10. Johnston, C., Bowling, D.L. 2002. Stability of Ascorbic Acid in Commercially Available Orange Juices. *Journal of American Dietetic Association*. Vol. 102. Pages 525 – 529.
11. Kurowska, E. M., Spence, J. D., Jordan, J., Wetmore, S. 2000. HDL-cholesterol raising effect of orange juice in subjects with hypercholesterolemia. *American Society for Clinical Nutrition*. Vo. 72. Pages 1095 – 1100.

12. Lee, H.S., Coates, G. A. 2003. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *LWT – Food Science and technology*. Vol. 36. Pages 153 – 156.
13. Sánchez – Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., Cano, M. 2003. Vitamin C, provitamin A, carotenoids, and other carotenoids in high-Pressurized orange Juice during Refrigerated storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.51. Pages 647 – 653.
14. Tajchakavit, S., Ramaswamy, H.S. 1995. Continuous – flow microwave heating of orange juice; evidence of nonthermal effects. *International Microwave Power Institute*. Vol.30. Pages 141 – 148.
15. Vikram, V.B., Ramesh, M.N., Prapulla, S.G. 2005. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. *Journal of Food Engineering*. Vol. 69. Pages 31 – 40.
16. Wang, W., Sastry, S. 2002. Effects of moderate electrothermal treatment on juice yield from cellular tissue. *Innovative Food Science and Emerging technologies*. Vol. 3. Pages 371 – 377.
17. Zequeira, D.E. 2006. Vitaminas y oxidorreductasas antioxidantes: defensa ante el estrés oxidativo. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. Vol. 25.

Paginas consultadas

Portal de FAOSTAT - producción de España – julio 2013

<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>