

APLICACIÓN DE PRETRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LA EXTRACCIÓN DE ZUMO DE NARANJA

Isabel Llópez Torrent, M^a Dolores Ortolá Ortolá¹, Ruth de los Reyes Cánovas¹

RESUMEN

Los cítricos, en especial, el naranjo y el limonero, son considerados entre los frutales más importantes del mundo. Constituyen una importante fuente nutricional de vitaminas, caracterizándose por su alto contenido en vitamina C.

Además del consumo en fresco, también presentan un alto grado de industrialización, siendo procesadas en forma de jugos naturales, concentrados, mermeladas y secciones enlatadas.

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.

Por ello, en este trabajo se pretende evaluar la aplicación de pretratamientos térmicos (baño termostático y energía de microondas) en naranjas Washington Navel con el objetivo de determinar el efecto en el rendimiento y la calidad del zumo final obtenido.

Las naranjas se sometieron a tres tipos de tratamientos que incluían tratamiento térmico con baño termostático y dos tratamientos con microondas: utilizando potencia alta (3,2KW) y potencia media (1,6KW). 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 de los siguientes parámetros de calidad del zumo: densidad, tamaño de partículas, propiedades ópticas, sólidos solubles, acidez, contenido en vitamina C y contenido en aceites esenciales.

Se obtuvieron mayores rendimientos en la extracción por efecto del aumento de temperatura, tanto con las muestras previamente calentadas con energía microondas y las calentadas en baño. No se observaron cambios de color por efecto de los pretratamientos. Se encontró un aumento de contenido de aceites esenciales en el zumo, especialmente en las muestras calentadas mediante baño hasta 30 y 40°C. No se observó una degradación de la Vitamina C en ninguna de las muestras.

PALABRAS CLAVE: zumo de naranja, microondas, rendimiento

ABSTRACT

Citrus fruits, specially, orange and lemon tree, are considered among the most important fruit trees in the world. Citrus constitute an important nutritional source of vitamins, defined by his high contents of Vitamin C.

In addition to the consumption in fresh they also present a high level of industrialization, being processed as organic juice, condensed juice, marmalades and tinned sections.

Although juice extraction industries do not tend to use any pre-treatment, some scientific researches show that, applying previous treatments to the extraction of juice with microwave energy, the performance of the juice can be improved.

This is why, this paper aims to evaluate the application of thermic pre-treatments (water bath and microwave energy) in Washington Navel oranges having the intention to determine the effect in the performance and quality of the final result of the juice obtained.

The oranges were subjected to three kinds of treatment which included thermic treatment with water bath and two treatments with microwaves: using high power (3,2kW) and mid power (1,6kW). Every result was compared with the control group where no kind of treatment was applied.

Once the treatments were carried out, the juice was extracted and the analyzed with these juice quality parameters: density, particles size, optical properties, soluble solids, acidity, the vitamin C content and essential oils content.

Better performances were obtained from the extraction due to the increase in temperature, in samples previously heated with both, microwave energy and bath. No colour change due to the effect of pre-treating was observed. An increase in the juice of essential oils was observed, especially in samples heated in 30-40°C hot bath. No Vitamin C degradation was observed in no one of the samples.

KEY WORDS: Orange juice, microwave, performance

RESUM

Els cítrics, en especial, el taronger i el llimoner, son considerats entre els fruiters mes importants del món. Constitueixen una important font nutricional de vitamines, caracteritzant-se per el seu alt contingut en vitamina C.

A més del consum en fresc, també presenten un alt grau de industrialització, sent processades en forma de suc natural, concentrats, melmelades i seccions enllandades.

Encara que les indústries de extracció de suc no solen aplicar cap pretractament, algunes investigacions científiques fiques de manifest que, realitzant tractaments previs a l'extracció del suc amb energia de microones, es pot millorar el rendiment en suc.

Per això, en aquest treball es pretén avaluar l'aplicació de pretractaments tèrmics (bany termostatat i energia de microones) en taronges Washington Navel amb l'objectiu de determinar l'efecte en el rendiment i la qualitat del suc final obtingut.

Les taronges es van sotmetre a tres tipus de tractaments que inclouen tractaments tèrmics amb bany termostatat i dos tractaments amb microones: utilitzant potència alta (3,2KW) i potència mitjana (1,6KW). Tots els resultats es van comparar amb el grup control on no es va aplicar cap tipus de tractament.

Una volta realitzats els tractaments es va extraure el suc i es va dur a terme el anàlisi dels següents paràmetres de qualitat del suc: densitat, grandària de partícula, propietats òptiques, sòlids solubles, acidesa, contingut en vitamina C i contingut en olis essencials.

Es van obtindre majors rendiments en l'extracció per efecte del augment de temperatura, tant amb les mostres prèviament calfades amb energia microones i les calfades en bany. No s'obtingueren canvis de color per efecte dels pretractaments. Es va encontrar un augment del contingut de olis essencials en el suc, especialment en les mostres calfades amb bany fins 30 i 40°C. No es va observar una degradació de la vitamina C en cap de les mostres.

PARAULES CLAU: suc de taronja, microones, rendiment

¹Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD). Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022. Valencia.

1. INTRODUCCIÓN

Los cítricos, en especial, el naranjo y el limonero, son considerados entre los frutales más importantes del mundo. Su cultivo y consumo se realiza por igual en los cinco continentes, siendo explotados comercialmente en prácticamente todos los países donde las condiciones climáticas les permiten prosperar, aún en ciertos casos expuestos a peligros como las heladas.

A diferencia de otros frutos, los cítricos presentan un mercado amplio y bien evolucionado. La producción de cítricos ocupa el primer lugar en el mundo en relación a otras frutas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), durante el periodo 2011/2012 se registró una producción global de aproximadamente 52 millones de toneladas (Tm). Tienen, al igual que muchos otros frutos, un importante volumen de consumo doméstico y local, lo que se traduce en un movimiento comercial fuerte dentro de cada país para abastecer centros de consumo, cercanos y lejanos a las zonas de producción. Fuera del consumo en fresco, también presentan un alto grado de industrialización, siendo procesadas en forma de jugos naturales, concentrados, mermeladas y secciones enlatadas; además el volumen de industrialización es suficientemente importante como para haber justificado la aparición de una serie de industrias anexas que aprovechan los subproductos de las industrias primarias.

Según el Instituto Valenciano de Investigación Agraria (IVIA), Washington es quizá la variedad Navel más extendida hoy por hoy ya que, por sus características ideales (dulzor, acidez, tamaño y color), la aceptación ha sido masiva. Es la variedad de tamaño más grande, con forma circular, piel lisa, y con una recolección amplia de noviembre a mayo, según la zona.

En particular, los cítricos constituyen una importante fuente nutricional de vitaminas, caracterizándose por su alto contenido en vitamina C. La vitamina C es el mayor responsable de la capacidad antioxidante de los cítricos. Además, los cítricos son una fuente de compuestos polifenólicos con propiedades antioxidantes, como por ejemplo los flavonoides (Sánchez Moreno et al., 2003). La variedad y abundancia de compuestos antioxidantes en los cítricos posibilita la aparición de sinergias entre estos compuestos contribuyendo a la capacidad antioxidante total de estas frutas. El consumo de frutas y vegetales puede prevenir ciertas enfermedades como el cáncer y enfermedades cardiovasculares, ya que estos alimentos son ricos en vitaminas antioxidantes, como la vitamina C y E, compuestos fenólicos y carotenos (McCall & Frei, 1999).

En la industria alimentaria no se suelen aplicar tratamientos a la fruta antes de exprimirla. Sin embargo, se están realizando estudios (Baysal, 2011; Mc Donald, 2013; Rayman et al., 2011) para comprobar la influencia de diferentes tratamientos en la extracción de zumo con el fin de mejorar el rendimiento y la calidad de éste. Entre los tratamientos en estudio se encuentran tratamientos térmicos convencionales o tratamientos con otro tipo de energías como las microondas.

La energía de microondas es una forma de radiación electromagnética con una longitud de onda que puede estar entre 10^{-3} y 0.3 metros, por lo que se encuentra dentro del espectro electromagnético entre los rayos infrarrojos y la radiofrecuencia, siendo por ende una radiación de carácter no-ionizante. Presenta un comportamiento similar al de la luz visible, debido a lo cual puede sufrir los fenómenos de reflexión, refracción y

absorción. Las microondas son reflejadas por superficies metálicas y refractadas por interfaces dieléctricas.

En el procesado con microondas, la energía es suministrada directamente al material por un campo electromagnético. 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. A diferencia de los hornos convencionales, en un horno de microondas el calentamiento actúa directamente sobre el interior de los alimentos. Este calentamiento se produce esencialmente por las elevadas pérdidas dieléctricas que se presentan prácticamente todos los tejidos orgánicos a frecuencias de microondas debido a su alto contenido acuoso.

La aplicación de microondas a alimentos ha tenido una gran repercusión tanto científica como industrial (Andrés, et al., 2004; Erle & Schubert, 2001; Funebo & Ohlsson, 1998; Clark, 1996; Rodriguez-lopez et al., 1999) pero hay que tener en cuenta que, en la mayoría de los casos, la forma de los alimentos viene determinada por la naturaleza y no siempre es la idónea para la aplicación de microondas, pudiéndose presentar problemas de sobrecalentamiento en los bordes o en el centro.

El sobrecalentamiento central se produce generalmente para diámetros del orden de 1 a 3 veces la profundidad de penetración, D_p (habitualmente 25-55 mm), en ese caso se focalizan radialmente las ondas en la zona central provocando un punto caliente, tal como podemos ver en la simulación electromagnética de la Figura 1, realizada para el caso típico de un huevo entero. Este fenómeno es tan conocido gracias a su aparatosidad, ya que un huevo puede explotar en 30 segundos a causa de la sobrepresión provocada por la evaporación súbita producida por el sobrecalentamiento de la zona central, en cambio el huevo abierto en un plato, no explota y tarda mucho más tiempo en cocerse. En la página web <http://www.qwed.eu/> pueden consultarse esta y otras simulaciones.

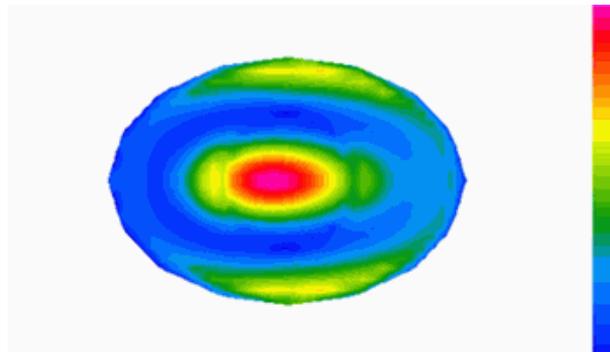


FIGURA 1. Simulación del calentamiento de un huevo entero ($\text{Ø}30$ mm; $\epsilon=70-j15.8$).

Por lo tanto, al ser la naranja un fruto prácticamente esférico, hay que tener en cuenta que uno de los principales puntos a tener en cuenta al utilizar esta técnica en naranjas enteras es controlar la temperatura alcanzada por el fruto en el caso de que aparezca sobrecalentamiento central, debido a que la energía se concentra provocando un aumento de la temperatura más rápido en esa zona.

Hay que tener en cuenta que esta rapidez de generación de calor en la zona central, si se controla adecuadamente puede ser una gran ventaja respecto a los procesos térmicos convencionales, que aunque garantizan la seguridad y extienden la vida media

de los alimentos, llevan a menudo a cambios perjudiciales en la calidad sensorial del producto (Bull et al., 2014).

La forma de generar calor con energía de microondas en el material es la principal diferencia respecto al calentamiento por métodos convencionales. La capacidad de calentamiento volumétrico más rápido de las microondas, el calentamiento uniforme, la disminución del tiempo de procesamiento y las propiedades del material son, a menudo, mejoradas. Esto podría paliar la pérdida de calidad del zumo aumentando la velocidad de extracción del mismo.

Hasta la actualidad, se han realizado numerosos estudios relacionados con la aplicación de microondas, entre ellos, a productos alimenticios o relacionados con éstos. En 2011, se realizó un estudio sobre difusión del vapor por microondas para la extracción de aceites esenciales de la piel de naranja al mismo tiempo que lo comparaba con la difusión de vapor convencional (Farhat, et al., 2011). El análisis estadístico reveló que las condiciones óptimas para la extracción de aceite esencial de naranja fue un flujo de masa de vapor con un índice de 25 g min^{-1} y un poder de microondas de 200 W.

Otro estudio basado en la técnica de aplicación de microondas trataba sobre la electroplasmólisis y las aplicaciones de microondas en la producción y almacenaje del zumo de zanahoria y sus efectos en la calidad (Rayman et al., 2011). Se llegó a la conclusión que los métodos eléctricos se pueden utilizar para mejorar las características de calidad y el rendimiento de zumo de zanahoria cuando se utiliza el electroplasmalizador del tipo tambor que se puede adaptar fácilmente a las líneas industriales de producción. Las características de calidad de los zumos se pueden preservar mejor y más tiempo en los zumos que se procesan con métodos eléctricos que con métodos convencionales.

En general, la calidad final de los frutos se puede mantener mediante el empleo de distintas tecnologías pos-cosecha, pero en todo caso siempre vendrá condicionada por la calidad inicial del fruto, siendo el grado de madurez en el momento de la recolección, uno de los factores que influyen de manera decisiva en la calidad y conservación de la fruta. De todas las técnicas pos-cosecha que existen: atmósferas con alto contenido de CO_2 , la aplicación de radiaciones ionizantes, el desarrollo de recubrimientos naturales y otros tratamientos térmicos diferentes a la aplicación de microondas, se ha decidido estudiar ésta última. 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 observó el aumento del volumen del zumo extraído y también se consiguió una mejora en la calidad del zumo.

En este trabajo se pretende evaluar la aplicación de pretratamientos térmicos (baño termostático y energía de microondas) en naranjas Washington Navel con el objetivo de determinar el efecto en el rendimiento y la calidad del zumo final obtenido.

2. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de pretratamientos térmicos sobre el rendimiento y calidad del zumo de naranja obtenido.

Para ello se aplicaron tres diferentes tipos de pretratamientos (baños termostáticos, microondas a 3,2KW y microondas a 1,6KW) analizando cómo influyen cada uno de ellos en la posterior extracción del zumo. Se determinaron los factores de calidad del zumo como volumen y

rendimiento de la extracción, grados Brix, densidad, acidez, contenido en Vitamina C y en aceites esenciales, color y tamaño de partículas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materia prima

Las naranjas variedad Washington, fueron recolectadas directamente del campo en la localidad de Torrent (Valencia) en el mes de Noviembre, manteniéndose en el laboratorio a 8°C. Antes de empezar cualquier ensayo, las naranjas se atemperaron a 21°C.

3.2. Tratamientos térmicos en baño

Para definir el tiempo de calentamiento necesario para alcanzar una temperatura determinada 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]
N	21	0
30B	30	14 - 16
40B	40	35 - 38
50B	50	65 - 68
60B	60	108 - 115

3.3. Calentamiento por microondas

Todos los tratamientos de esta serie se llevaron a cabo en un horno microondas (Panasonic NE-3240 propiedad de la empresa Microbiotech)

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 introdujeron las naranjas de una en una en el microondas y, después de un tiempo determinado, se midió la temperatura en el centro geométrico y cerca de la superficie de la naranja con un termómetro digital con 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 media en el centro geométrico [°C]	Potencia [W/g]	Tiempo [s]
N	21	0	0
30mp	30	13,79 – 15,70	8
40mp	40		12
50mp	50		14
30Mp	30	5,82 – 8,88	16
40Mp	40		24
50Mp	50		28

3.4. 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.

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

3.5. Determinaciones analíticas

3.5.1. PESO Y DIÁMETRO DE LAS NARANJAS

Para la medida del peso se utilizó una balanza electrónica (Precisa, serie 165 BJ 6100D), cuyo rango de medida es hasta 6100 g y un error de 0,1 g.

El diámetro se midió con un calibre manual

3.5.2. RENDIMIENTO EN ZUMO

Tras cada tratamiento se realizó una curva de extracción evaluándose la cantidad de zumo obtenido en función del tiempo de extracción.

3.5.3. TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula en el zumo se determinó utilizando 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.

3.5.4. 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 10ºe 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 1 y 2 y la diferencia de color (ec. 3):

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

3.5.5. SÓLIDOS TOTALES

Para determinar el contenido en sólidos solubles totales de las muestras de zumo se utilizó el refractómetro de mesa (Atago NAR-3T) termostatado a 20°C. Los resultados se expresaron en Brix.

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

3.5.6. CONTENIDO EN ÁCIDOS TOTALES

La acidez total del zumo se analizó por valoración con NaOH 0,1N. Los resultados se expresaron en gramos de ácido cítrico en 100 mL de zumo.

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

3.5.7. 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 diclorofenolindofenol. Para preparar el indicador se mezclaron 80 mg de 2 – 6 diclorofenolindofenol 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.

3.5.8. DENSIDAD

La densidad del zumo se midió con un picnómetro a 21°C.

3.5.9. 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 30 mL 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:

$$\begin{aligned} \text{ppm de aceite esencial} \\ &= (\text{volumen de valorante de la muestra (mL)} - \text{volumen de valorante del blanco (mL)}) \\ &\times 160 \end{aligned} \tag{4}$$

Todas las medidas se realizaron por triplicado.

3.5.10. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DIELECTRICAS

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.

Para tener una mejor comprensión de la distribución de temperaturas en los diferentes pretratamientos aplicados, se realizaron fotografías térmicas a las naranjas previamente calentadas, tanto con baño como con microondas. La cámara utilizada para ello fue la Optris PI 160 Thermal Imager. Con ello se pudo ver la transferencia de calor dentro de las naranjas y determinar los gradientes de temperatura entre la superficie y el centro geométrico de éstas.

3.5.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo mediante el programa Statgraphics Centurion 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.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de la difusividad térmica

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

La figura 2 muestra un ejemplo de la variación de la temperatura con el tiempo registrada en el centro geométrico.

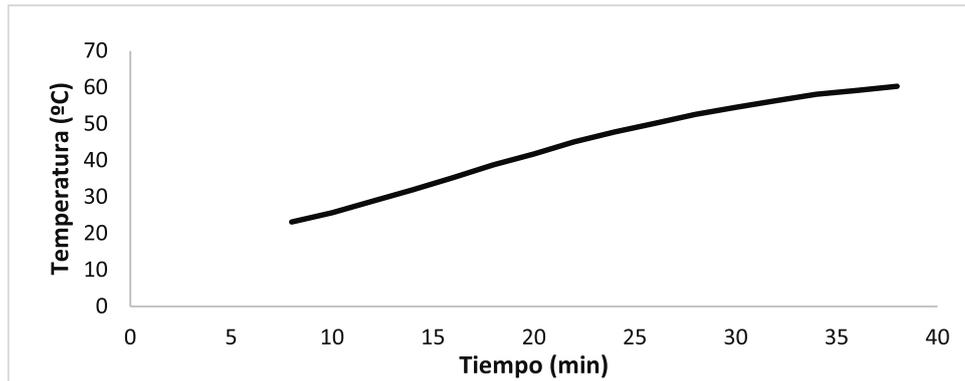


FIGURA 2. Aumento la temperatura en el centro geométrico de naranja.

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 (ec. 5).

$$Y_e = 2[e^{-\pi^2 X_e}] \quad (5)$$

En la que

$$Y_e = \frac{T_\infty - T}{T_\infty - T_0} \quad (6)$$

$$X_e = \frac{\pi^2 \cdot \alpha}{r^2} \quad (7)$$

T_∞ =Temperatura del baño

T =Temperatura en el punto geométrico 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 5, se determinó la difusividad térmica de la fruta, siendo esta de $1,41 \cdot 10^{-07} \text{ m}^2/\text{s}$. Resultados del mismo orden se han publicado para difusividad térmica de otras frutas, tales como banana, $1,44 \cdot 10^{-07} \text{ m}^2/\text{s}$ (Erdogdu, F., et al, 2013), y zanahoria, $1,94 \cdot 10^{-07} \text{ m}^2/\text{s}$ (Erdogdu, F., 2008).

A partir de este valor, y aplicando la ecuación 6, se determinaron los tiempos necesarios de tratamiento para cada una de las temperaturas para los posteriores ensayos, tal y como se ha mostrado en el apartado 3.2. de Materiales y Métodos. Hay que destacar que los tiempos de calentamiento por microondas a máxima potencia (3,2KW) coinciden con el doble de los tiempos de calentamiento de media potencia (1,6KW), es decir, existe una relación lineal de tiempo-Temperatura.

4.2. Propiedades dieléctricas

Antes del tratamiento con microondas se midieron las dimensiones de diferentes partes de la fruta (tabla 3).

TABLA 3. Dimensiones de diferentes partes de la 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 medias y desviaciones estándar de la pulpa y piel por separado. Los valores de la constante dieléctrica (ϵ') y el factor de las pérdidas (ϵ'') medidos y su correspondiente D_p calculada se presentan en la tabla 4. 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 esté midiendo más allá de la discontinuidad piel-pulpa, y por tanto se esté midiendo sólo la piel.

TABLA 4. Valores de las constantes dieléctricas de las partes de la 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 asumiendo que fuera una esfera homogénea de piel o pulpa, no habría problema 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, si se han encontrado indicios de sobrecalentamiento medidos con la sonda de temperatura. Esto puede atribuirse a que el fruto dista mucho de ser una “esfera homogénea” siendo un sistema de discontinuidades que provocan distintas reflexiones que pueden provocar el calentamiento en la zona central.

Para verificar este punto, tal y como se ha comentado en Materiales y Métodos, se realizaron fotos termográficas a las naranjas recién calentadas para poder ver la distribución de temperaturas en el interior.

4.3. Calentamiento

La Figura 3 muestra las imágenes térmicas de naranjas después de ser calentadas hasta que sus centros geométricos (CG) llegaron a unas temperaturas de 30, 40 y 50°C, en un baño de agua de 70°C. Como puede observarse, la transferencia de calor en estas naranjas se llevó a cabo mediante conducción desde la parte externa de la naranja hacia el interior de forma radial.

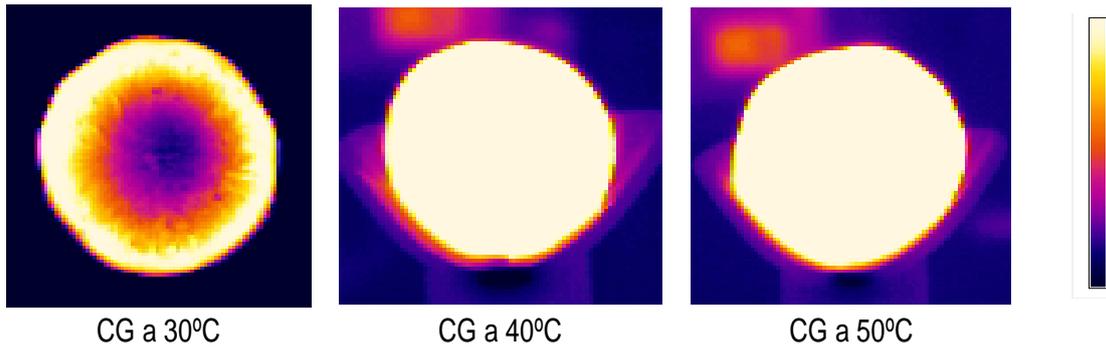


FIGURA 3. Fotos termográficas de las naranjas calentadas en un baño a 70°C.

Las imágenes donde el centro geométrico de las naranjas alcanzó temperaturas de 40 y 50°C muestran cómo se llegó a un punto del tratamiento donde se eliminó el gradiente de temperatura y se estableció una distribución uniforme de temperatura en la naranja.

En cambio, la Figura 4 muestra el calentamiento de la naranja mediante microondas. Se puede observar cómo la temperatura es más elevada en la zona central debido a que la energía de microondas se concentra en el centro del fruto y la transmisión de calor dentro de este es unidireccional desde el interior hacia el exterior.

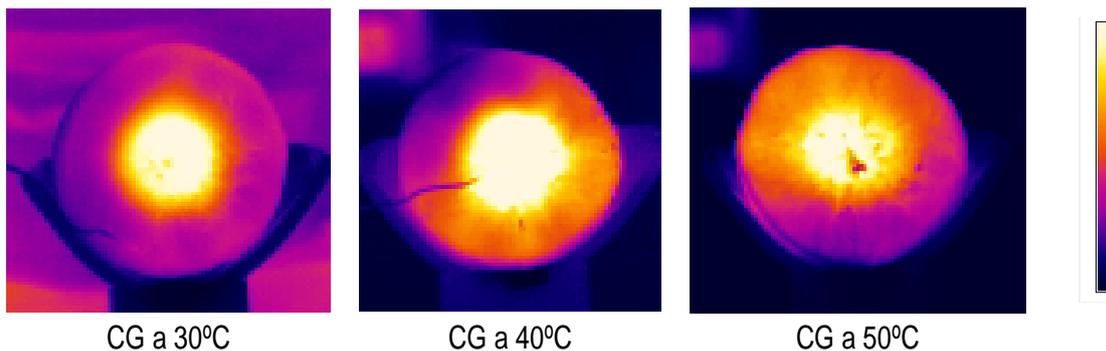


FIGURA 4. Fotos termográficas de las naranjas calentadas por microondas.

4.4. Rendimiento en peso

La Figura 5 muestra las curvas de extracción donde se evaluó la cantidad de zumo obtenido tras cada tratamiento en función del tiempo de extracción.

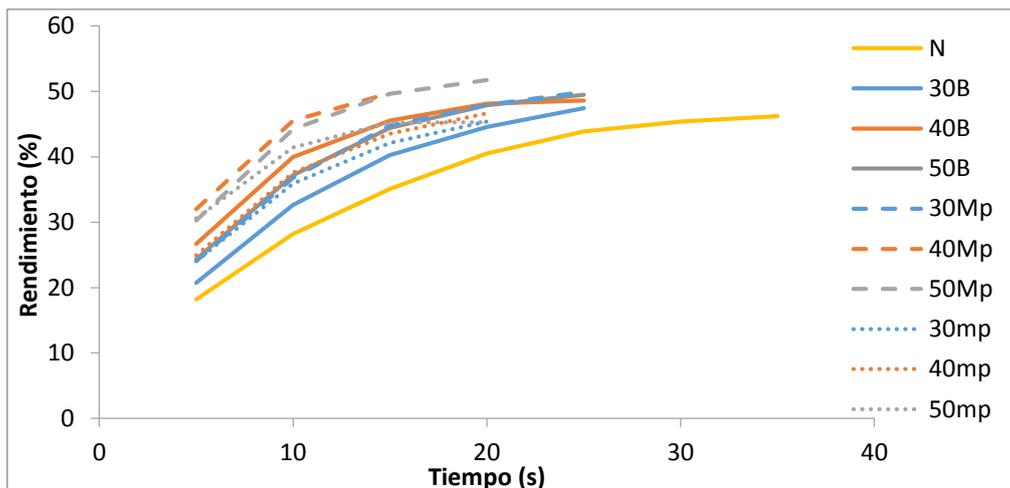


FIGURA 5. Curvas de extracción de zumo.

En un principio se había previsto calentar hasta 60°C, pero se desestimó esta temperatura al observar que el rendimiento no se diferenciaba a los obtenidos calentando la naranja hasta 50°C.

Como se puede observar, hay diferencias significativas en el rendimiento de la extracción del zumo entre las distintas muestras. Hay un claro aumento del rendimiento al aplicarle un pretratamiento de calentamiento a la naranja ya que, a igualdad de tiempo de extracción, el rendimiento en zumo en las naranjas pretratadas es mayor, tanto en baño como en microondas respecto a la naranja sin tratar. Este aumento se podría explicar por la degradación de los tejidos dentro de la naranja debido al sobrecalentamiento. Así, la siguiente figura (Figura 6) muestra como a los 10 segundos de exprimido ya hay una clara diferencia de rendimiento entre el zumo natural y el pretratado, sobre todo para las naranjas cuyo centro geométrico ha alcanzado las temperaturas de 40 y 50°C.

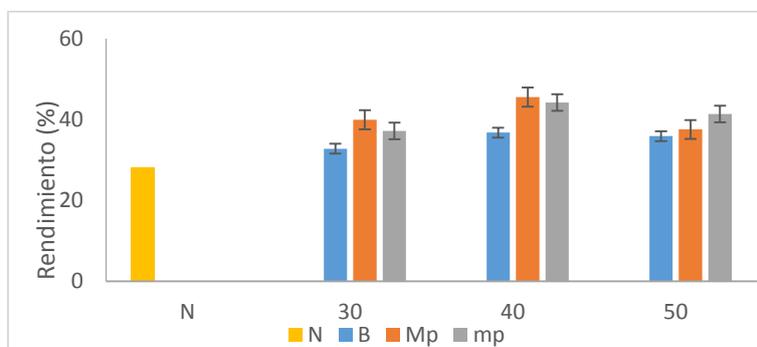


FIGURA 6. Rendimiento de zumo a 10".

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

Quizás a nivel industrial, ésta sería una de las principales ventajas de los pretratamientos térmicos, ya que habría una reducción del tiempo de extracción del zumo y, por lo tanto, la optimización del proceso de elaboración.

4.5. Análisis fisicoquímicos

Como puede observarse (tabla 5), la materia prima utilizada, naranjas variedad Washington Navel son adecuadas para la industrialización, pues su contenido en sólidos solubles se encuentra en el rango de 9,0 y 15,0.

Los zumos obtenidos tras los diversos pretratamientos se analizaron fisicoquímicamente, determinando su densidad, contenido en ácidos y grados Brix. La tabla 5 muestra los valores medios de cada temperatura para todos los tratamientos.

No se encontraron diferencias significativas en el caso de acidez y densidad entre las muestras tratadas con microondas y las tratadas previamente con baño termostático. Sin embargo, el pretratamiento parece disminuir en todos los casos la acidez del zumo con respecto al zumo natural. Si se encontraron diferencias significativas entre las muestra con respecto al contenido en sólidos totales, viendo un aumento de estos en las muestras tratadas con energía de microondas.

TABLA 5. Valores medios de densidad, acidez y °Brix del zumo obtenido para todos los tratamientos.

	Acidez [g ácido/100mL]	°Brix	Densidad [g/cm ³]
N	1,71 ± 0,06	11,6 ± 1,3	1,07 ± 0,01
30B	1,57 ± 0,03	11,6 ± 1,1	1,06 ± 0,03
40B	1,52 ± 0,03	11,6 ± 0,3	1,04 ± 0,01
50B	1,42 ± 0,06	11,2 ± 0,3	1,06 ± 0,02
30Mp	1,3 ± 0,5	13,6 ± 1,5	1,09 ± 0,03
40Mp	1,67 ± 0,11	13,1 ± 1,0	1,08 ± 0,01
50Mp	1,6 ± 0,2	12,3 ± 0,7	1,080 ± 0,001
30mp	1,5 ± 0,2	13,2 ± 1,8	1,12 ± 0,01
40mp	1,62 ± 0,09	12,7 ± 0,4	1,06 ± 0,01
50mp	1,57 ± 0,04	12,5 ± 0,7	1,10 ± 0,01

4.6. Tamaño de partículas

La distribución de tamaño de partícula para las distintas muestras de zumo se muestra en la figura 7.

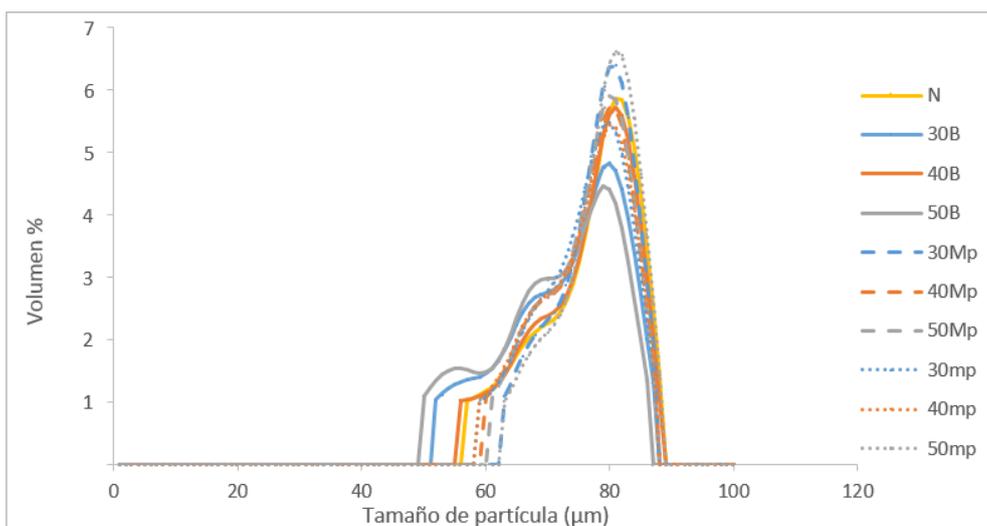


FIGURA 7. Distribución del tamaño de partícula.

En todos los casos se observa una distribución de tamaño de partícula multimodal con tamaños hasta de 100 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 medios de $D_{3,2}$ y $D_{4,3}$ 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 7, puede observarse que las muestras sometidas a un calentamiento en baño termostático (B) tienen tamaños de partícula más pequeños. 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.

Además, existe una gran diferencia entre los valores $D_{3,2}$ y $D_{4,3}$, siendo éste último más alto. Los valores obtenidos de $D_{4,3}$ junto a la Figura 7 indican que el zumo obtenido contiene partículas de mayor tamaño con formas irregulares.

TABLA 6. Valores de tamaño medio de partícula $D_{3,2}$ y $D_{4,3}$

	$D_{3,2}$ (μm)	$D_{4,3}$ (μm)
N	82.838	513.080
30B	51.920	389.873
40B	66.843	476.265
50B	36.422	328.976
30Mp	83.031	499.607
40Mp	72.769	453.647
50Mp	74.624	455.599
30mp	68.673	434.815

40mp	66.886	448.511
50mp	87.958	554.487

4.7. Propiedades ópticas

La figura 8 muestra los valores de luminosidad (L^*) del zumo obtenido tras los diferentes pretratamientos.

No se encontraron diferencias significativas entre las muestras tratadas con baño termostático y las tratadas con energía de microondas cuando el calentamiento es intenso (50°). Sin embargo, a menores temperaturas, la luminosidad de las muestras tratadas con energía de microondas disminuye, no encontrándose diferencias significativas por efecto de la potencia aplicada. Además, cualquier calentamiento de la fruta se traduce en una ligera disminución de la luminosidad del zumo con respecto al natural.

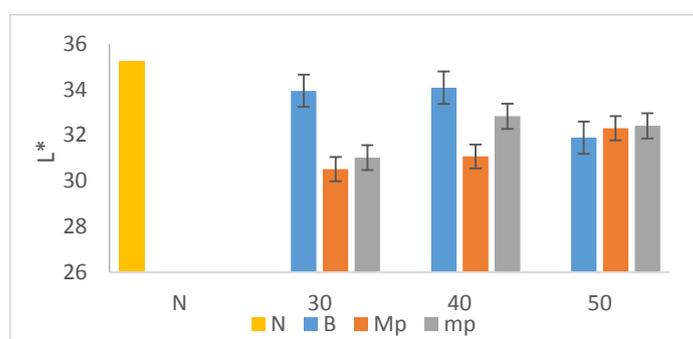


FIGURA 8. Valores de Luminosidad de las muestras.

La Figura 9 muestra los valores obtenidos del parámetro b^* . No se encontraron diferencias significativas entre las muestras tratadas con microondas y las tratadas previamente con baño caliente ni de estas con el zumo natural. La Figura 9, muestra como al calentar la naranja el parámetro b^* las temperaturas aplicadas y los tiempos de tratamiento no parecen afectar a la degradación de carotenoides del zumo, tal y como han observado otros autores (Lee, 2003).

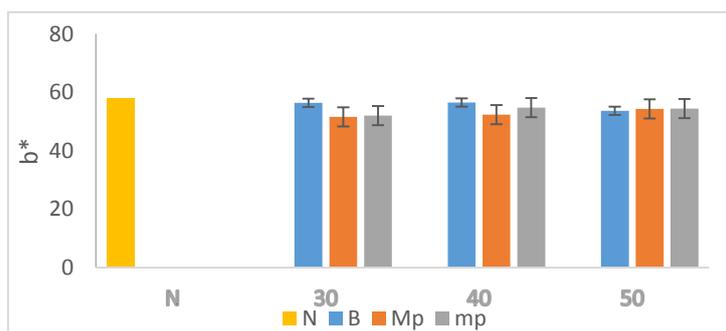


FIGURA 9. Valores del parámetro b^* en los zumos con distintos pretratamientos.

Tampoco se observaron diferencias significativas entre los valores del parámetro a^* del zumo natural ($a^*=13,8 \pm 0,7$) y los obtenidos de zumos pretratados, tanto con baño como con microondas (Tabla 6), lo que confirma la poca degradación de carotenoides.

TABLA 6. Valores del parámetro a^* en los zumos con distintos pretratamientos.

	30°C	40°C	50°C
B	14,2 ± 0,9	12,7 ± 0,8	12,1 ± 0,1
Mp	15,3 ± 1,3	14,3 ± 1,6	13,1 ± 0,8
mp	14,04 ± 1,8	12,7 ± 1,4	14,0 ± 1,1

Representando los valores a^* y b^* de cada muestra en el plano cromático (Figura 10) se confirma que no existen diferencias tanto del parámetro a^* como b^* . En la Figura 10, la esfera roja señala en el plano cromático donde se sitúan las muestras y confirma que tanto el zumo natural como los tratados previamente, están en la región amarillo anaranjada, lo que indica que la aplicación de tratamientos no afectó al matiz del color de los zumos.

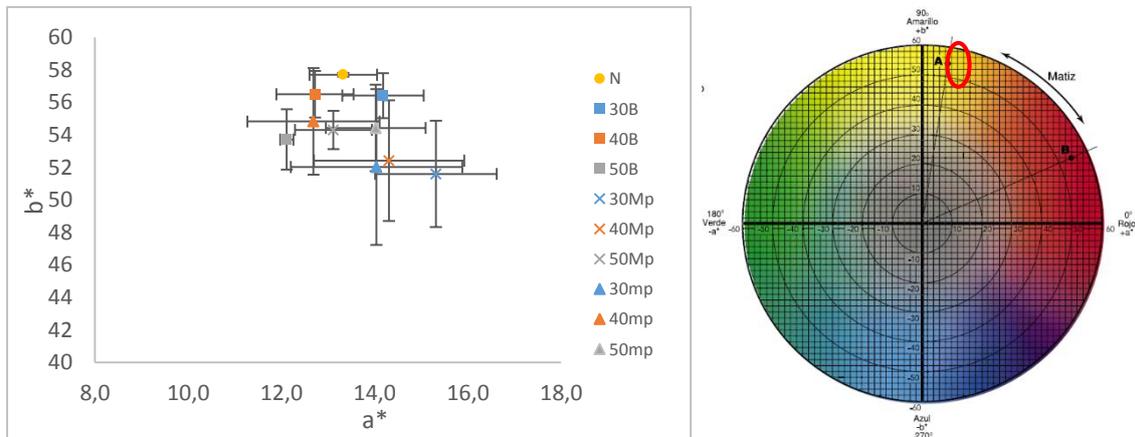


FIGURA 10. Plano cromático (a^*/b^*).

En relación al croma (C^*), la Figura 11 muestra los valores obtenidos para cada una de las muestras. Todas las muestras obtenidas presentaron una saturación del color (croma) similar.

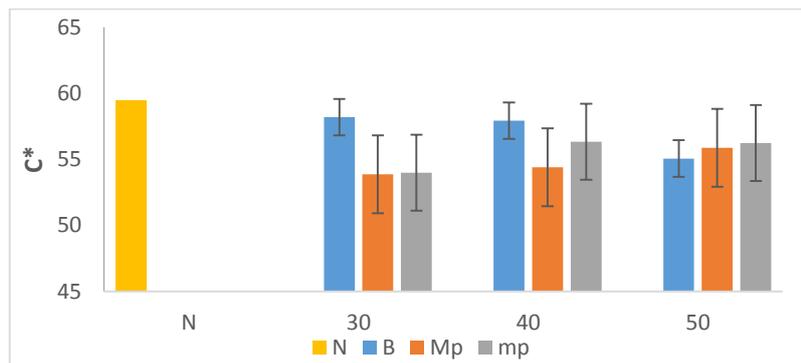


FIGURA 11. Valores del parámetro C^* en los zumos con distintos pretratamientos.

4.8. 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 12 muestra el contenido de aceites esenciales en los zumos obtenidos tras los pretratamientos. Las muestras de zumo calentadas mediante baño hasta 30 y 40°C contienen mayor cantidad de aceites. Esto podría ser debido a que, al estar el baño a 70°C, la corteza de la naranja permanece a esta temperatura durante el calentamiento, lo cual podría modificar su permeabilidad y provocar una difusión de aceite hacia el interior de la naranja. Sin embargo, las naranjas calentadas hasta 50°C con baño no aumentaron su contenido en aceites esenciales. En este caso, el tiempo de calentamiento fue tan largo que podría haber una rotura de membranas en la piel de la naranja, lo que llevaría a la salida del aceite hacia el agua.

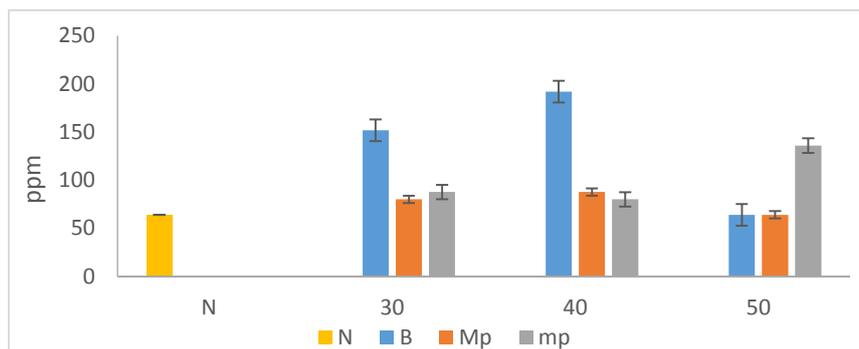


FIGURA 12. Contenido en aceites esenciales de las muestras

Por otra parte, las naranjas calentadas con microondas hasta 30 y 40°C no aumentaron su contenido en aceites esenciales en su zumo. Como ya hemos visto en las fotos termográficas, la energía de microondas se concentra en el centro del fruto y la transmisión de calor se produce desde el centro hacia el exterior, por lo que la temperatura de la corteza de la naranja no fue tan alta y no afectó a su permeabilidad. Aun así, las naranjas calentadas con microondas hasta 50°C sí que llegaron a romper celdillas que contenían aceites esenciales, aumentando el contenido de éstos en el zumo.

4.9. Contenido en vitamina C

La Figura 13 muestra la cantidad de Vitamina C (mg/100mL zumo) obtenida en el análisis de las diferentes muestras de zumo de naranja. No se encontraron diferencias significativas entre la muestra control (N) y las muestras calentadas mediante baño o microondas, lo que indica que apenas existe la oxidación del ácido ascórbico de las muestras al ser precalentadas.

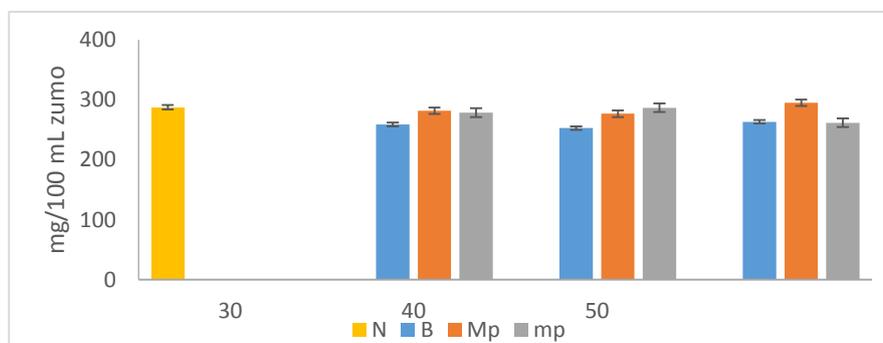


FIGURA 13. Contenido de Vitamina C según tratamiento.

5. CONCLUSIONES

- a. Se obtuvo un claro aumento del rendimiento de la extracción de zumo al aplicarle un pretratamiento de calentamiento a la naranja, tanto calentadas con baño como calentadas con energía microondas.
- b. Aunque en la mayor parte de los análisis efectuados no se han encontrado diferencias significativas entre las muestras, cabe destacar que calentando la fruta previamente a la extracción (tanto en baño como con microondas) se encontró un aumento en el contenido de aceites esenciales en el zumo, especialmente en las muestras calentadas mediante baño hasta 30 y 40°C. De igual forma, se obtuvo un aumento de contenido de sólidos totales, especialmente en las muestras calentadas con microondas.
- c. Por otra parte, el calentamiento previo de la fruta no afectó a otros parámetros analizados como el contenido de Vitamina C, acidez, densidad y color del zumo obtenido.
- d. Quizás a nivel industrial, el aumento del rendimiento en zumo sería una de las principales ventajas de los pretratamientos térmicos, ya que habría una reducción del tiempo de extracción. Al mismo tiempo, como se ha dicho en el punto anterior, apenas se modifican la mayoría los parámetros de calidad.

6. REFERENCIAS

- Andre's, A., Bilbao, C., & Fito, P. (2004). Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air/microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*, 63, 71e78.
- 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.
- Bull M. K., Zerdin K., Howe E., Goicoechea D., Paramanandhan P., Stockman R., Sellahewa J., Szabo E. A., Johnson R. L., Stewart C. M., 2004, "The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 135-149.
- Clark, D. E. (1996). Microwave processing of materials. *Annual Review of Materials Science*, 26, 299e331.
- Erdogdu, F., 2008. A review on simultaneous determination of thermal diffusivity and heat transfer coefficient. *Journal of Food Engineering*, 86, 453-459.
- Erdogdu, F., Linke, M., Praeger, U., Geyer, M., Schlüter, O., 2013. Experimental determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of whole green (unripe) and yellow (ripe) Cavendish bananas under cooling conditions. *Journal of Food Engineering*, 128, 46-52.
- Erle, U., Schubert, H. (2001). Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries, *Journal of Food Engineering*, 49 193-199.
- Farhat, A., Fabiano-Tixier, A., El Maataoui, M., Maingonnat, J., Romdhane, M. y Chemat, F., 2011, Microwave steam diffusion for extraction of essential oil from orange peel: Kinetic data, extract's global yield and mechanism. *Journal of Food Chemistry* Vol. 125 Pages 255–261.
- Funebo, T., & Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering*, 38, 353e 367.
- Frazianni, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- McCall M. R. & Frei B., 1999, "Can antioxidant vitamins materially reduce oxidative damage in humans". *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1034-1053.
- McDonals, H., Arpaia, M. L., Caporaso, F., Obenland, D., Were L., Rakovski, C., Prakash, A., 2013. Effect of gamma irradiation treatment at phytosanitary dose levels on the quality of 'Lane Late' navel oranges. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 91-99.

- Rayman, A., Baysal, T., 2011. Yield and Quality Effects of Electropulsation and Microwave Applications on Carrot Juice Production and Storage. *Journal of Food Science* _ Vol. 76, Nr. 4.
- Rodríguez-López JN, Fenoll LG, Tudela J, Deveci C, Sánchez-Hernández D, de Los Reyes E, García-Cánovas F. (1999) Thermal inactivation of mushroom polyphenoloxidase employing 2450 MHz microwave radiation. *J Agric Food Chem.* Aug; 47(8):3028-35.
- 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.
- 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.

Páginas consultadas:

www.fao.es

www.ivia.es

www.qwed.eu