



Revista Internacional de Investigación e Innovación
Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Efectos de los tratamientos de Ultrasonido y Calentamiento óhmico sobre aspectos de calidad de jugo de Toronja (*Citrus paradisi*)

Chacón-Garza, L.Ea., Montañez-Sáenz, J.Cb.

aDepartamento de Investigación en Alimentos; Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 25280, Saltillo, Coahuila.

bDepartamento de Ingeniería Química; Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 25280, Saltillo, Coahuila.

e-mail autor(es): ervey26@hotmail.com, julio.montanez@uadec.edu.mx

Resumen

El jugo de toronja rosada (*Citrus paradisi*) es el jugo cítrico menos estudiado, y su consumo en los últimos años se ha incrementado, esto debido a sus componentes nutrimentales como azúcares, fibra, vitaminas, (ácido ascórbico, niacina y ácido fólico) y algunos minerales (magnesio, potasio y fosforo). El tratamiento térmico es la tecnología más ampliamente empleada para el procesamiento de alimentos, sin embargo, cada vez está creciendo más el interés por el desarrollo de técnicas alternativas de preservación que además de seguras resulten en cambios adversos mínimos en las propiedades organolépticas y sensoriales de alimentos líquidos. Se ha reportado que el ultrasonido y el calentamiento óhmico han sido tecnologías efectivas contra la eliminación de patógenos y que generan productos con características similares a las de los alimentos frescos. Por lo cual el objetivo del presente estudio fue investigar los efectos del ultrasonido y el calentamiento óhmico sobre parámetros de calidad del jugo de toronja y compararlos con el tratamiento térmico convencional. El tratamiento térmico convencional, el tratamiento con ultrasonido y el calentamiento óhmico no afectaron significativamente los niveles de sólidos totales y pH en el jugo de toronja ($p < 0.01$). El valor de turbidez incrementó significativamente en todos los tratamientos ($p < 0.01$). El jugo procesado mediante calentamiento óhmico presentó un menor oscurecimiento no enzimático en relación al tratamiento térmico convencional ($p < 0.01$).

Palabras clave: Jugo, Toronja, Óhmico, Ultrasonido, Calidad

Abstract

The red grapefruit juice (*Citrus paradisi*) is the less studied citric juice, however its consumption has increased in recent years due to its nutritional components, such as sugars, fiber, vitamins, (ascorbic acid, niacin and folic acid) and some minerals (magnesium, potassium, and phosphorus). Although thermal processing remains the most widely employed pasteurization technique, there is a growing interest in the development of alternative treatment techniques that result in minimal changes in organoleptical and nutritional properties of liquid food products such as juices. Power ultrasound waves and ohmic heating has been reported to be effective for eliminating food pathogens found in different juices and other foods with similar characteristics

to fresh liquid products. The objective of this study was to investigate the effect of ohmic heating and ultrasound waves on quality properties of pasteurized red grapefruit juice. It was found that thermal treatment, ultrasound waves and ohmic heating techniques do not affect significantly the total solids and pH in the red grapefruit juice. The cloudiness increased significantly with all treatments. The juice processed for ohmic heating showed less non enzymatic browning.

Keywords: Juice, Grapefruit, Ohmic, Ultrasound, Quality

I. Introducción

El calentamiento óhmico es un proceso térmico en el que el calor es generado al pasar corriente eléctrica alterna a través del alimento, el cual se comporta como una resistencia eléctrica (Icier y cols., 2008, Sastry y Barach 2000, Lima y cols., 1999). El calentamiento óhmico es una buena alternativa para el procesamiento de alimentos que pueden ser bombeados a través de una tubería, como productos viscosos y líquidos debido a que existen equipos que pueden hacer el proceso en continuo a lo largo de una línea. Sin embargo las propiedades del alimento influyen de manera importante el proceso (Icier y cols., 2008, Icier e Ilicali 2004).

El calentamiento óhmico puede generar suficiente calor para pasteurizar o esterilizar alimentos. Generalmente la pasteurización en alimentos de alta acidez ($\text{pH} \leq 4.5$) se logra con temperaturas de 90-95 °C y tiempos de 30 a 90 segundos para inactivar bacterias vegetativas, levaduras, hongos y lactobacilos). Mientras que en alimentos de alta acidez ($\text{pH} \geq 4.5$), son necesarias temperaturas de 121 °C por un mínimo de 3 minutos debido a que en este tipo de alimentos pueden encontrarse células o esporas de *Clostridium botulinum* (Marra y cols., 2009).

Otras ventajas del calentamiento óhmico son la uniformidad en la distribución del calor aplicado, menor costo comparado con otros métodos de calentamiento por electricidad, como microondas y calentamiento por

radiofrecuencia (Marra y cols., 2009, Zell y cols., 2009) debido a que tiene una eficiencia energética del 95% (Ghnimi y cols., 2008). Se pueden alcanzar temperaturas superiores a las que se pueden alcanzar con el calentamiento tradicional y es un proceso fácil de controlar.

Por otra parte el ultrasonido ha resultado efectivo en la reducción microbiana esto es posible ya que las ondas del ultrasonido se propagan en el líquido formando micro burbujas que se colapsan entre sí violentamente. En cada onda, se liberan temperaturas de hasta 5000 ° K y presiones arriba de los 50, 000 Mpa, provocando lisis de la membrana celular de las bacterias y levaduras este fenómeno se conoce como cavitación (Adekunte y cols., 2010, Tiwari y cols., 2009a, Valdramidis y cols., 2009, Guerrero y cols., 2001). La formación de radicales libres por acción de la cavitación es otro de los mecanismos de acción del ultrasonido (Leadley y Williams, 2006).

La tecnología de ultrasonido ha demostrado su efectividad en reducir la carga microbiana hasta 5 log₁₀, como lo marca la norma de la Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos (Tiwari y cols., 2008a, Tiwari y cols., 2008b). Se ha estudiado la inactivación microbiana por ultrasonido en diversos jugos de frutas entre los que destacan cidra de manzana (Ugarte-Romero y cols., 2006), jugo de manzana (Valero y cols., 2007), jugo de guayaba (Cheng y cols., 2007) y jugo de tomate (Raviyan y cols., 2005).

Se han realizado diversos estudios sobre los efectos del ultrasonido en diversos parámetros de calidad de diferentes jugos. Tiwari y cols., 2008a no encontró diferencias significativas en °Brix, pH y acidez titulable al ($p < 0.01$) aplicar la tecnología de ultrasonido a jugo de naranja. Sin embargo encontró cambios significativos ($p < 0.01$) en el color y el encafecimiento no enzimático. Tiwari y cols., 2008b encontró que el ultrasonido es una técnica efectiva en la reducción del color de jugo de naranja pasteurizada. Valero y cols., 2007 estudio los efectos del tratamiento con ultrasonido en jugo de naranja procesado sin encontrar efectos de pérdida de calidad. (Tiwari y cols., 2009a.)

II. Metodología

Obtención del jugo de toronja

Las toronjas (*Citrus paradisi*) fueron obtenidas de un mercado de la localidad (Saltillo, Coahuila) en los meses de mayo y noviembre del año 2011 y 2012. Posteriormente el jugo fue procesado mediante las tecnologías alternativas de calentamiento óhmico y ultrasonido. Las muestras fueron almacenadas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la determinación de los parámetros fisicoquímicos y los resultados se compararon con los obtenidos de muestras de jugos comerciales.

Procesamiento con calentamiento óhmico

Las muestras de jugo de toronja (*Citrus paradisi*) fueron procesadas empleando temperaturas y tiempos de procesamiento de 60, 70 y $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 30, 60, 90, 120, 150 y 180 s, respectivamente se utilizó un equipo de calentamiento óhmico construido en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos (Departamento de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Coahuila). El equipo consistió en un autotransformador de 2.8 KVA conectado a corriente alterna de 220 V. Se utilizaron electrodos de

calentamiento de acero inoxidable, la muestra se pasteurizó en lotes de 0.5 L. El voltaje empleado durante el calentamiento óhmico fue de 120 V. El pH inicial de las muestras de jugo de toronja fue de 3.24 ± 0.5 . Se utilizó jugo de toronja sin procesar como muestra de referencia o blanco: El jugo procesado fue almacenado a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su utilización. Las muestras procesadas mediante la tecnología de calentamiento óhmico fueron codificadas para su análisis utilizando la letra O para indicar éste tratamiento, posteriormente se utilizó un número para señalar la temperatura de procesamiento en $^{\circ}\text{C}$ y un último número para indicar el tiempo de proceso utilizado en s.

Procesamiento con ultrasonido

Las muestras fueron procesadas a amplitudes de 40, 50 y 60 todas con una frecuencia de 20 kHz, en tiempos de 120, 240, 360, 480 y 600 s, cada una a un pH inicial de 3.24 (± 0.5), en un Ultrasonic processor modelo VCX 750 W marca Sigma Aldrich. Se utilizó jugo de toronja sin procesar como muestra de referencia, las muestras procesadas fueron congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su utilización. Las muestras procesadas mediante la tecnología de ultrasonido fueron codificadas para su análisis utilizando la letra U para indicar el tratamiento, posteriormente se utilizó un número para señalar la amplitud de procesamiento y un último número para indicar el tiempo de proceso utilizado en s.

Análisis fisicoquímicos

Se determinaron los parámetros de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), pH y Acidez titulable (AT), de acuerdo a la metodología de la AOAC 1994. Se realizó la determinación del valor de turbidez o cloudiness, utilizando como referencia el método modificado de Versteeg y cols., 1980. En el cual se tomaron 5 mL de muestra y se procedió a centrifugarlos a

2000 rpm por 15 min a temperatura ambiente (20 ± 1 °C). Se determinó la absorbancia del sobrenadante a 660 nm utilizando agua destilada como blanco los resultados se reportaron en % de absorbancia. La determinación del encafecimiento no enzimático (ENE) se realizó utilizando el método de Meydav y cols., 1977. De acuerdo al cual se tomaron 10 mL de jugo de toronja, los cuales fueron centrifugados 15 min a 2000 rpm a 20 ± 1 °C para remover las partículas presentes en la suspensión. Se tomaron 5 mL de sobrenadante y se añadieron 5 mL de alcohol etílico al 95 %, posteriormente se centrifugó mediante las condiciones anteriormente descritas. Se determinó la absorbancia del sobrenadante a 420 nm utilizando agua destilada como blanco, y el resultado se presentó como % de absorbancia. El color de las muestras se determinó en un Colorímetro Marca Greetag Macbeth Color eye Modelo XTS a temperatura ambiente utilizando la escala "Cielab". La diferencia total de color (ΔE^*) fue determinada utilizando la Eq. (1), la cual indica la magnitud del cambio de color después del tratamiento. También fueron determinados el Cromo (C^*) mediante la Eq. (2) y el ángulo hue Eq. (3).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (1)$$

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

$$h = \arctan \frac{b^*}{a^*} * \frac{180}{\pi} \quad (3)$$

Dónde L^* , a^* y b^* corresponden a un espacio cartesiano tridimensional en el que la coordenada L^* corresponde a l eje de la Luminosidad, la coordenada a^* al eje de opuestos verdes-rojos ($-a^*$, $+a^*$) y la b^* al eje azules-amarillos ($-b^*$, $+b^*$) de las muestras procesadas y las coordenadas L_0 ,

a_0 , y b_0 son los valores del jugo sin procesar. Y sus cambios son reportados como ΔL^* , Δa^* y Δb^* . Todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

Se utilizó un diseño de experimentos completamente al azar con una prueba de múltiples rangos entre medias utilizando la Prueba de Tukey HSD $p > 0.01$ en el paquete estadístico Statgraphics versión XV Centurion software en español.

III Resultados y Discusiones

Una vez realizados los análisis fisicoquímicos correspondientes no se encontraron diferencias significativas en el pH y sólidos solubles totales (° Brix) de ninguno de los tratamientos aplicados ($p < 0.01$) en relación con el blanco, esto coincidió con los resultados reportados por Tiwari y cols., 2008a y Kim y cols., 2001 para jugo de naranja y Ugarte-Romero y cols., 2006 para cidra de manzana pasteurizada quienes mencionaron que los jugos no modifican su acidez por la aplicación de las tecnologías alternativas de calentamiento óhmico y ultrasonido.

El ultrasonido incrementó significativamente la acidez titulable en las muestras de jugo de toronja probablemente debido a la ruptura de grupos hidroxilo de los aminoácidos y algunos azúcares presentes por acción de la cavitación, debido a cambios en la presión y aumento de la temperatura, provocados por la implosión de microburbujas formadas con las ondas de ultrasonido fenomeno descrito por Tiwari y cols., 2008a y Ugarte-Romero y cols., 2006 al aplicar ultrasonido a jugo de naranja. El calentamiento óhmico también incrementó significativamente la acidez titulable ($p < 0.01$), esto se debió probablemente a la acción de la temperatura la cual puede provocar ruptura de grupos hidroxilos presentes en los azúcares del jugo, lo cual concuerda con lo reportado por Onwuka, 2011, Onwuka y cols., 2006 para

vino de palma procesado con calentamiento óhmico.

El valor de turbidez fue afectado significativamente por la acción de ambas tecnologías alternativas ($p < 0.01$) esto puede ser apreciado en la figura 1. En el caso del ultrasonido, el valor de turbidez disminuyó significativamente ($p < 0.01$) al incrementarse la amplitud de sonicación. Los presentes resultados concuerdan con los reportados por Tiwari y cols., 2008a en jugo de naranja, quien menciona que el valor de turbidez disminuye significativamente al incrementar la amplitud del ultrasonido ($p < 0.01$). El valor de turbidez incrementó también por la acción del tiempo de proceso pero este efecto no fué muy importante en relación con la amplitud.

Los efectos del ultrasonido sobre el valor de turbidez se relacionan con diversos mecanismos inducidos por acción de la cavitación (Tiwari y cols., 2008, Tiwari y cols., 2009a). El daño estructural de la pectina pudo resultar de la formación de

micro explosiones en el líquido sonicado generadas por el colapso de las burbujas producto de la cavitación. Dando como resultado un alto gradiente de presión el cual pudo causar a su vez la fragmentación de diversas macromoléculas presentes en la matriz del jugo u otras modificaciones estructurales de las mismas y reducir la accesibilidad de la molécula de la pectina a la pectin metil esterasa (Tiwari y cols., 2008, Tiwari y cols., 2009a). Por lo tanto, la reducción de tamaño de partícula contribuyó a proveer estabilidad a los jugos cítricos. Por otro lado el calentamiento óhmico incrementó significativamente el índice de turbidez debido a que el efecto de la temperatura generó reacciones de caramelización que oscurecieron el jugo de toronja, dichas reacciones tuvieron también efectos directos sobre otros parámetros como el color y el sabor del jugo no reportados en el presente trabajo pero que son determinantes en su elección por el consumidor como lo reportado Tiwari y cols., 2008a para jugo de naranja.

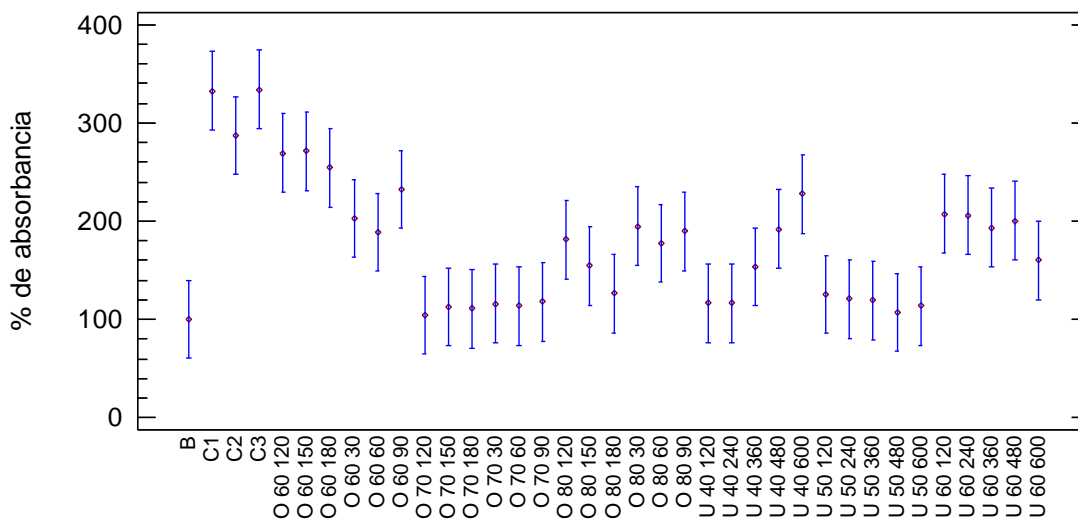


Figura 1. Valor de turbidez de muestras procesadas de jugo de toronja procesadas ultrasonido y calentamiento óhmico comparadas con muestras comerciales

El Encafecimiento no enzimático (ENE) es un valor comercial crítico de los productos cítricos, ya que es el primer defecto de calidad visible que puede ser detectado durante el almacenamiento a temperatura ambiente (Tiwari y cols., 2008a). El encafecimiento no enzimático (ENE) fue afectado significativamente ($p < 0.01$) por acción del ultrasonido como se muestra en la figura 2, el ENE fue influenciado significativamente ($p < 0.01$) por el efecto de la temperatura, nivel de amplitud y tiempo de procesamiento lo cual coincidió con lo reportado por Tiwari y cols., 2009a en jugo de naranja procesado con la tecnología de ultrasonido comparada con jugo sin procesar. La figura 2 muestra que el ultrasonido a amplitud de 40 disminuyó el encafecimiento no enzimático y este incrementó a amplitud de 60 en tiempos de

240s. El ENE producido con ultrasonido ocurrió principalmente debido a la destrucción de pigmentos carotenoides presentes en el jugo de toronja, algunos de los cuales son muy sensibles al efecto de los pulsos de ultrasonido. Este rompimiento de pigmentos carotenoides ha sido reportado por Tiwari y cols., 2009 y Ugarte-Romero 2006, en jugo de naranja y cidra de manzana respectivamente al utilizar ultrasonido. Las muestras procesadas en la tecnología alternativa de calentamiento óhmico (Figura 2) no presentaron diferencias significativas ($p < 0.01$) en el ENE en relación con las muestras de jugo de toronja sin procesar esto coincidió con los estudios de Lima y Sastry, 1994 y Wang y Sastry, 2000 los cuales realizaron un estudio similar en jugo de naranja.

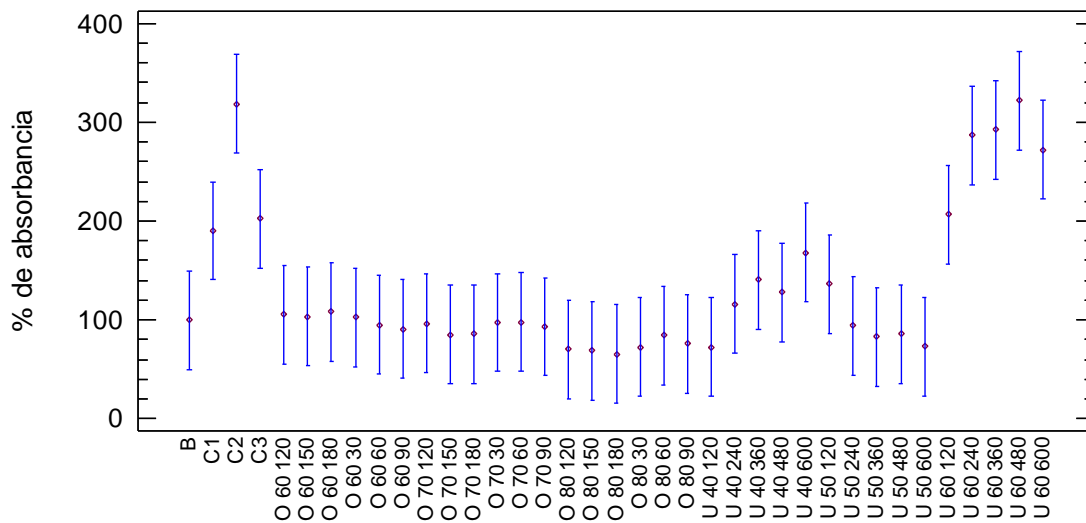


Figura 2. Encafecimiento no enzimático de muestras procesadas de jugo de toronja procesadas ultrasonido y calentamiento óhmico comparadas con muestras comerciales

Finalmente las muestras procesadas con calentamiento óhmico y ultrasonido presentaron diferencias significativas ($p < 0.01$) respecto a las muestras comerciales

en los análisis colorimétricos como se presenta en el cuadro 1. Las muestras comerciales tendieron mucho más hacia el color rojo dando valores positivos mas elevados en el parametro Δa^* , debido

probablemente a la adición de colorantes artificiales usados en la industria. En cuanto a las muestras procesadas con tecnologías alternativas y la muestra control, estas tendieron hacia el color amarillo dando valores positivos más elevados en el parámetro Δb^* . Las muestras procesadas con ultrasonido fueron las que tuvieron los valores amarillos más altos, debido a que estas muestras sufrieron liberación o destrucción de pigmentos por acción del fenómeno de cavitación, lo que modificó significativamente ($p < 0.01$) su color.

También se presentaron diferencias significativas ($p < 0.01$) en la brillantez dando valores positivos más elevados en ΔL^* , entre las muestras procesadas con calentamiento óhmico y ultrasonido en relación a las muestras comerciales procesadas con tratamiento térmico convencional las cuales resultaron ser las más luminosas. Lo anterior coincidió con lo reportado por Lee y Coates en jugo de toronja en 2006 y lo reportado por Lee y Coates en 2003 en naranja Valencia, donde observaron un incremento de 40-41 % en el ΔL^* en muestras procesadas con tratamiento térmico lo cual puede ser atribuido a la precipitación parcial de los compuestos presentes en el jugo por acción de la temperatura como lo descrito

Cuadro 1. Análisis colorimétrico de las muestras procesadas con calentamiento óhmico, ultrasonido y muestras comerciales.

Muestra	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	Croma C^*	Ángulo hue h
O 60 30	1.76 ^b	0.52 ^g	1.34 ^d	2.27 ^{def}	109.69 ^{fg}	73.89 ^{abcde}
O 60 60	6.93 ^b	0.93 ^g	0.79 ^d	7.04 ^{bcdef}	149.31 ^{cdefg}	71.21 ^e
O 60 90	5.91 ^b	0.60 ^g	1.97 ^{cd}	6.26 ^{bcdef}	100.55 ^g	73.49 ^{abcde}
O 60 120	0.14 ^b	0.09 ^g	0.18 ^d	0.25 ^f	129.11 ^{defg}	73.29 ^{bcde}
O 60 150	1.76 ^b	0.72 ^g	0.92 ^d	2.11 ^{def}	114.93 ^{efg}	75.07 ^{abcde}
O 60 180	1.78 ^b	0.31 ^g	0.53 ^d	1.88 ^{def}	141.81 ^{defg}	72.94 ^{cde}
O 70 30	4.69 ^b	0.54 ^g	1.17 ^d	4.86 ^{bcdef}	153.34 ^{cdefg}	72.81 ^{cde}
O 70 60	6.49 ^b	0.10 ^g	0.57 ^d	6.52 ^{bcdef}	141.52 ^{defg}	73.67 ^{abcde}
O 70 90	0.73 ^b	0.47 ^g	0.26 ^d	1.02 ^{ef}	131.15 ^{defg}	75.11 ^{abcde}
O 70 120	8.80 ^b	0.39 ^g	0.58 ^d	10.84 ^b	143.12 ^{defg}	72.69 ^{cde}
O 70 150	8.83 ^b	0.18 ^g	0.84 ^d	8.87 ^{bcd}	146.29 ^{defg}	73.67 ^{abcde}

por Genovese y Elustondo y Lozano en 1997.

En cuanto a la intensidad de color o croma (C^*), las muestras con mayor intensidad de color fueron las comerciales seguidas de las procesadas con ultrasonido, las primeras por la probable adición de colorantes artificiales al producto y las segundas por la liberación de pigmentos al jugo por acción de la cavitación. Lee y Coates en 2006, reportaron que las muestras procesadas con tratamiento térmico convencional incrementaron significativamente ($p < 0.01$) el croma en el jugo. El tono o matiz determinado por el ángulo hue fue afectado significativamente ($p < 0.01$) por acción de todos los tratamientos, las muestras con menor matiz fueron las comerciales, seguidas de las del calentamiento óhmico y finalmente con mayor matiz las de ultrasonido.

O 70 180	7.43 ^b	0.71 ^g	1.84 ^{cd}	7.69 ^{bcdef}	165.75 ^{cdefg}	72.93 ^{cde}
O 80 30	5.47 ^b	0.29 ^g	1.16 ^d	5.62 ^{bcdef}	149.30 ^{cdefg}	75.45 ^{abcde}
O 80 60	4.21 ^b	0.37 ^g	1.28 ^d	4.41 ^{bcdef}	150.85 ^{cdefg}	75.82 ^{abcd}
O 80 90	1.84 ^b	1.03 ^{fg}	0.16 ^d	2.12 ^{def}	125.20 ^{defg}	76.86 ^{abc}
O 80 120	2.27 ^b	0.69 ^g	0.79 ^d	2.81 ^{cdef}	141.68 ^{defg}	76.48 ^{abc}
O 80 150	2.27 ^b	0.79 ^g	0.70 ^d	2.51 ^{def}	139.69 ^{defg}	76.72 ^{abc}
O 80 180	7.21 ^b	0.17 ^g	1.60 ^{cd}	7.38 ^{bcdef}	157.26 ^{cdefg}	75.43 ^{abcde}
U 40 120	5.50 ^b	3.19 ^{cd}	8.19 ^a	10.39 ^{bc}	170.50 ^{bcdefg}	75.16 ^{abcde}
U 40 240	0.56 ^b	1.30 ^{efg}	4.76 ^{bc}	4.98 ^{bcdef}	160.74 ^{cdefg}	72.75 ^{cde}
U 40 360	8.01 ^b	2.91 ^{cde}	7.99 ^a	11.81 ^b	175.62 ^{bcdefg}	74.53 ^{abcde}
U 40 480	5.77 ^b	2.64 ^{cdef}	8.10 ^a	10.50 ^{bc}	175.51 ^{bcdefg}	73.62 ^{abcde}
U 40 600	0.83 ^b	1.59 ^{defg}	6.73 ^{ab}	6.97 ^{bcdef}	206.49 ^{bcd}	71.85 ^{de}
U 60 120	2.86 ^b	4.00 ^c	7.81 ^{ab}	9.22 ^{bcd}	173.76 ^{bcdefg}	77.86 ^a
U 60 240	5.65 ^b	4.13 ^c	8.51 ^a	11.05 ^b	248.66 ^b	77.81 ^a
U 60 360	2.80 ^b	3.85 ^c	7.76 ^{ab}	9.11 ^{bcd}	175.26 ^{bcdefg}	77.46 ^{ab}
U 60 480	2.33 ^b	3.92 ^c	7.74 ^{ab}	8.99 ^{bcd}	175.33 ^{bcdefg}	77.68 ^{ab}
U 60 600	3.53 ^b	3.86 ^c	7.04 ^{ab}	8.77 ^{bcde}	188.66 ^{bcdef}	77.93 ^a
C1	21.11 ^a	9.73 ^a	1.43 ^d	23.32 ^a	229.96 ^{bc}	47.73 ^g
C2	17.89 ^a	10.90 ^a	5.80 ^{ab}	21.87 ^a	350.27 ^a	53.87 ^f
C3	19.96 ^a	7.08 ^b	0.41 ^d	21.18 ^a	196.35 ^{bcde}	53.76 ^f

IV. Conclusiones

El tratamiento con ultrasonido y el calentamiento óhmico no afectaron significativamente los niveles de sólidos totales y pH en el jugo de toronja. El ultrasonido incrementó significativamente el encafecimiento no enzimático debido a la destrucción de pigmentos carotenoides en la matriz del jugo de toronja por efecto de la cavitación ($p < 0.01$). El valor de turbidez incrementó significativamente ($p < 0.01$) con la tecnología del ultrasonido, debido a la dispersión de partículas en la matriz del jugo por efecto de la cavitación. Mientras que este mismo parámetro disminuyó significativamente ($p < 0.01$) con el calentamiento óhmico debido a la precipitación de estructuras presentes en el jugo de toronja. El mejor tratamiento de proceso fué el calentamiento óhmico el cual puede pasteurizar jugos en tiempos cortos, con poco gasto de energía y efectos mínimos sobre los diferentes parámetros fisicoquímicos de las muestras procesadas.

V. Agradecimientos

Se hace un agradecimiento extensivo a todas aquellas personas que colaboraron de una forma u otra para la realización del presente trabajo, en especial a las Doctoras Sagrario Martínez y Antonia Martínez Luevanos el departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Químicas por las facilidades prestadas en sus instalaciones para la realización del presente proyecto. Así mismo se agradece a la Dra. Ileana de la Garza del departamento de Análisis Fisicoquímicos de la misma Facultad y al MC Arturo Rodríguez Vidal y al Dr. Juan Carlos Contreras Esquivel del departamento de Investigación de Alimentos de dicha Facultad por su apoyo en préstamo de instalaciones y equipo para la conclusión de dicho proyecto.

VI. Referencias

Adekunte, A., B.K. Tiwari, A. Scannell, P. J. Cullen and C. O'Donnell. 2010. Modelling

of yeast inactivation in sonicated tomato juice. *International Journal of Food Microbiology* 137:116–120

Cheng, L. H., Soh, C. Y.; Liew, S. C.; The, F. F. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chem.* 2007, 104, 1396–1401.

Ghnimi, S., N. Flach-Malaspina M. Dresch G. Delaplace, and J.F. Maingonnat. 2008. Design and performance evaluation of an ohmic heating unit for thermal processing of highly viscous liquids. *Chemical Engineering Research and Design* 86: 626–632

Guerrero S., López-Malo A. and S. M. Alzamora. 2001. Effect of ultrasound on the survival of *Saccharomyces cerevisiae*: influence of temperature, pH and amplitude. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2: 31 – 39

Icier F., Yildiz H. and T. Baysal 2008 Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. *Journal of Food Engineering.* 85:410–417.

Icier, F., and Ilicali, C. 2004. Electrical conductivity of apple and sourcherry juice concentrates during ohmic heating. *Journal of Food Process Engineering*, 27(3), 159–180.

Kim, T. J., Silva, J. L., Chamul, R. S. and Ma S. X. 2001. Use of continuous high-frequency ultrasound to ‘pasteurize’ orange juice, Abstract 101-3, presented at the IFT Annual Meeting, New Orleans, LA.

Leadley C.E. and A. Williams. 2006. Pulsed electric field processing, power ultrasound and other emerging technologies. In: Brennan JG, editor. *Food Processing Handbook*. Wiley-VCH, Germany, p.214-236.

Lee H, S and G A Coates 2006. Thermal pasteurization effects of red grapefruit juices. *Journal of Food Science* DOI:10.1111/j.1365-2621.1999.tb15106.x

Lima, M., F. Brian, F. Heskitt, L. L Burianek, Nokes S. E. and S. K. Sastry 1999. Ascorbic acid degradation kinetics during conventional and ohmic heating. *Journal of food processing preservation* 23: 421-434.

Marra F., M. Zell, J. G. Lyng, D. J. Morgan and D. A. Cronin 2009. Analysis of heat transfer during processing of a solid food. *Journal of food engineering* 91:56-63.

Meydav, S., Saguy, L and Kopelman, I. J. 1977. Browning determination in citrus products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25:602-604 doi:10.1021/jf60211a030

Onwuka U. N., 2011. Performance evaluation of ohmic heating under a static médium on the pasteurization and quality parameters of palm wine (*Ralphia hokeri*). *Journal of emerging trends in engineering and applied sciences (JETEAS)* 2 (1): 160-165

Onwuka U. N. 2006. Design and Fabrication of Ohmic heater on a static médium proceedings of Nigerian Institute of Food Science Technology. Abuja Oct 22-25 Chapter 12 (Eng and Tec) K9 350-351

Raviyan, P.; Zhang, Z.; Feng, H. Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *J. Food Eng.* 2005, 70, 189–196.

Sastry S. K and J. T. Barach 2000 Ohmic and inductive Heating Journal of food science 65 (4): 42-46.

Tiwari B. K., C. P. O Donnell., K. Muthukumarappan and P.J. Cullen 2009a. Ascorbic acid degradation kinetics of sonicated orange juice during storage and comparison with thermally pasteurised juice. Food Science and Technology 42:700-704.

Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Patras, A. and Cullen, P. J. 2009b. Anthocyanin and ascorbic acid degradation in sonicated strawberry juice. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56 (21): 10071-10077.

Ugarte-Romero, E., Feng, H., Martin, S. E., Cadwallader, K. R., and S. J. Robinson 2006. Inactivation of Escherichia coli with power ultrasound in apple cider. Journal of food science 71(2): E102-E108.

Valero, M., N. Recrosio, D. Saura, N. Munoz, N. Martic, V. Lizama 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. Journal of Food Engineering, 80: 509-516

Valdramidis, V. P., P. J. Cullen, B. K. Tiwari and C. P. O'Donnell 2009. Quantitative modelling approaches for ascorbic acid degradation and non-enzymatic browning of orange juice during ultrasound processing. Journal of Food Engineering. doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.08.025.

Versteg C., F. M. Rombouts, properties of multiple C. H. Spansen, and W. Pilnik 1980. Thermostability and orange juice cloud destabilizing pectinesterases from orange. J. Food Sci. 45: 969-72.

Yuan Y, Hu Y, Yue T, Chen T, Chen T, Lo ML. 2009. Effect of ultrasound treatments on thermoacidophilic Alicyclobacillus acidoterrestris in apple juice. Journal of

Food Processing and Preservation 33(3):370-383

Zell M., J.G. Lyng and D J. Morgan and D.A. Cronin. 2009. Quality Evaluation of an Ohmically Cooked Ham Product. Food Bioprocess Technol. DOI 10.1007/s11947-009-0281-0