



Efecto de la termosonicación sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*) fresco empacado al vacío.

Thermosonication effect on the physicochemical properties of edible mushroom (*Pleurotus ostreatus*) vacuum packed fresh.

Yesenia Campo Vera, Víctor Manuel Gélvez O.

RESUMEN

En Colombia, existe un gran potencial para la producción de hongos comestibles, que no ha sido aprovechado por la poca información sobre métodos de conservación del producto en fresco, ya que es un producto perecedero. En esta investigación se analizó la especie *Pleurotus ostreatus* por su sencilla, rápida y económica obtención, con el objetivo de evaluar el efecto del ultrasonido (US) sobre las características fisicoquímicas, para lo cual se empacaron muestras en bolsas de polietileno de baja densidad con un vacío del 60 % y se trataron a 40 KHz a diferentes temperatura 20, 40 y 60 °C durante 10, 20 y 30 minutos; determinando cambios en las característica del color, pH y actividad enzimática durante los 15 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración (5±2 °C). Los resultados mostraron que los hongos tratados con ultrasonido a una temperatura de 40 °C, en sus diferentes tiempos de exposición (10, 20 y 30 minutos) conservaban mejor las características analizadas durante el tiempo del almacenamiento en comparación al hongo fresco.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus*, ultrasonido, actividad enzimática, pH, color.

ABSTRACT

In Colombia, a great potential exists for the production of eatable mushrooms that has not been taken advantage of by the little information it has more than enough methods of conservation of the product in fresh, since it is a perishable product. In this investigation you analyzes the specie *Pleurotus ostreatus* for their simple, quick and economic obtaining, with the objective of evaluating the effect of the ultrasound (US) on the physiochemical characteristics, for that which samples were packed in bags of polyethylene of low density with a hole of 60% and they were to 40 KHz to different temperature 20, 40 and 60 °C during 10, 20 and 30 minutes; determining changes in the characteristic of the color, pH and enzymatic activity during the 15 days of storage low refrigeration conditions (5±2 °C). The results showed that the mushrooms tried with ultrasound to a temperature of 40 °C, in their different times of exhibition (10, 20 and 30 minutes) they conserved the characteristics analyzed during the time of the storage in comparison to the cool airs better.

Key words: *Pleurotus ostreatus*, ultrasound, enzymatic activity, pH, color.

Para citar este artículo: Campo Vera Y, Gélvez O VM. Efecto de la termosonicación sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*) fresco empacado al vacío. Bistua .2011 9(2):55-63

+Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de separatas: Yesenia Campo Vera. Universidad de Pamplona. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Alimentos e-mail: yeseniacampo@hotmail.com

Recibido: Septiembre 15 de 2010

Aceptado: Mayo 20 de 2011

Introducción

La demanda creciente de alimentos mínimamente procesados que a su vez sean seguros, conserven las características nutricionales, sensoriales y respeten las exigencias medioambientales, justifican el desarrollo de tecnologías para la conservación y transformación de alimentos. Esta evolución y desarrollo está obligando a las industrias alimentarias a adaptarse a nuevas técnicas de producción y a las actuales demandas del mercado (Ohlsson y Bengtsson, 2002). La producción de hongos comestibles moviliza cientos de millones de dólares y miles de puestos de trabajo en toda América. En particular Colombia, tiene mucho por investigar y trabajar en este campo, ya que su variedad de climas permite la aclimatación de las múltiples especies de setas comestibles conocidas (Medina, 2004). Según Salvador, (2000) los principales factores que contribuyen a la pérdida de calidad después de la recolección de los hongos comestibles son la decoloración, el desarrollo del carpóforo, la pérdida de peso y los cambios de textura y sabor, estos parámetros establecen los requerimientos de manejo poscosecha y las técnicas necesarias para su conservación, la cual puede ser mantenida pero no mejorada. El cultivo de hongos comestibles se sustenta en la idea de aprovechar los subproductos agrícolas con el fin de generar un producto alimenticio. Es una tecnología fácil de implementar, limpia y puede convertirse en una fuente importante de ingresos económicos (Velasco y Vargas, 2004). *Pleurotus ostreatus* es un hongo saprofito o parásito débil, que descompone residuos lignocelulósicos para su beneficio (Gayosso, 2001), siendo muy apreciados por sus características organolépticas, nutricionales y medicinales. La tecnología del ultrasonido posee un amplio campo de aplicaciones en la industria alimenticia, convirtiéndose en un procedimiento de preservación suave que podrá sustituir los métodos severos a base de calor; manteniendo las características del alimento lo más cercano posible a las del producto fresco, además de prolongar su vida útil en términos microbiológicos, sensoriales y nutricionales (Cano *et al.*, 2005).

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los tratamientos con ultrasonido (40KHz) a diferentes temperaturas 20, 40 y 60 °C durante 20, 40 y 30 minutos, sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* fresco empacado al vacío, almacenado bajo condiciones de refrigeración (5±2 °C /15 días); tanto para su consumo en fresco como para su aprovechamiento industrial.

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de Pamplona, ubicada en Pamplona (Norte de Santander).

Material Vegetal: El material vegetal empleado fue el hongo comestible *Pleurotus ostreatus* fresco, adquirido en la ciudad de Bucaramanga en la empresa FUNGITECH, el cual se transportó en una cava de icopor a la ciudad de Pamplona, en un transcurso de tiempo no mayor a las 12 horas después de su recolección; su almacenamiento se llevó a cabo en una nevera a temperatura de 5 ± 2 °C.

Preparación de la materia prima: Se tomaron 100 gramos del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, para ser empacados al vacío en bolsas de polietileno de baja densidad. Para éste envasado se empleó una empacadora al vacío HENCOVAC 1500, realizando un vacío del 60 %, previamente rotuladas. Las muestras control (hongos frescos) se empacaron en bolsas de polietileno de baja densidad.

Tratamiento con ultrasonido: Se empleó un equipo Branson 1510 (40 KHz) y como medio de transmisión agua desionizada, el tratamiento de US se llevó a cabo a temperatura de 20, 40 y 60 °C, durante 10, 20 y 30 minutos, dando lugar a nueve tratamientos diferentes de ultrasonido. Las muestras se guardaron en refrigeración (5 ± 2 °C) hasta su posterior análisis, que serán realizados en los días 1, 6, 12 y 15 tras el almacenamiento.

Caracterización fisicoquímica

Medición de color: Se utilizó la metodología descrita por Beaulieu *et al.*, (2002) que consiste en poner una muestra homogénea, midiendo tres parámetros: L^* (claridad 0 a 100), a^* (componentes de rojo a verde, 60 a -60), b^* (componente amarillo a azul, 60 a - 60). Empleando el modelo de color CIElab (iluminación estándar D65 y observador a 2°). Se utilizó un espectrofotómetro de esfera X – Rite (Serie sp60), espacio previamente calibrado, estos análisis se realizaron por triplicado, con 3 repeticiones en cada uno.

Determinación del pH: Se calculó según el método 981.12 de la AOAC, (1990), usando un pHmetro Standard (Hanna instruments, HI-1208, Italia), Este análisis se determinó por triplicado

Evaluación de la actividad enzimática

Extracción de la enzima PFO: La extracción de la enzima PFO se realizó mezclando 10 gramos de la muestra con 20-25 ml de tampón fosfato a 0,2 M a

57

pH 6,5 añadido de 4 % (p/v) de polivinilpolipirrolidona (PVPP) y 1 % (v/v) de triton X-100. Esta mezcla se homogenizó durante 3 minutos con intervalos de 30 segundos y a temperatura de refrigeración, para ser centrifugada a 15,000 rpm a 4 °C durante 30 minutos (Daoudi, 2004).

Evaluación de la actividad de la enzima PFO: Se evaluó la actividad de la enzima PFO del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* empleando la técnica espectrofotometría, para ello se tomó 75µl del extracto enzimático mezclado con 3 ml de solución de catecol 0,007 M en tampón fosfato 0,05 M a pH 6,5, la cual fue depositada en unas cubetas de vidrio de 1 cm de recorrido óptico midiendo la absorbancia a una longitud de onda de 420 nm a una temperatura de 25 ± 1 °C, según la metodología descrita por Daoudi, (2004). Cada ensayo se realizó por triplicado y como control o blanco de esta reacción se tomó 75µl de agua destilada en lugar del extracto enzimático mezclado con 3 ml de solución de catecol 0,007 M en tampón fosfato 0,05 M a pH 6,5. Una unidad enzimática se define como: $0.001 \Delta A_{420nm} \text{ min}^{-1} \text{ ml}^{-1}$.

Análisis estadístico: Los resultados obtenidos fueron tratados estadísticamente a través de análisis de varianza ($\alpha=0.05$) y con el fin de discernir mejor los resultados del ANOVA se utilizó la prueba post hoc de Diferencias Mínimas Significativas (DMS). Los anteriores análisis fueron efectuados utilizando el paquete de software estadístico SPSS versión 13.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis fisicoquímicos

Color: Los cambios de coloración se presentaron progresivamente durante los días de almacenamiento y se hicieron notables en forma generalizada, después de los 6 días, tiempo en el cual las muestras tratadas con US presentaron una acentuación en su tonalidad, la cual fue muy evidente a partir del tercer día para la muestra control. En refrigeración, la mayor pérdida de color la presentó la muestra tratada con US a una temperatura de 60 °C en todos los tiempos de tratamiento, estos cambios fueron menos evidentes en las muestras tratadas a 40 °C durante 30 minutos.

El cambio visual de color, guardó cierta relación con los parámetros de color determinados a partir de los valores de L^* , a^* y b^* , proporcionados por el colorímetro. En las muestras control, la luminosidad se mantuvo constante sin encontrar diferencias durante los 15 días de almacenamiento,

debido probablemente a la refrigeración que retardo la pérdida de luminosidad.

El ángulo de tono se mantuvo alrededor de 60° en todos los tratamientos, con este valor la escala CIELab indica la zona de colores rojos; sin embargo, la pureza de color no paso de las 8 unidades, por lo tanto el color de las muestras se encontró en el área de los tonos marrones, esto significa que el rojo está mezclado con el amarillo, lo que indica color de baja pureza. Sin cambios importantes en la pureza de color y al ángulo de tono, la cromaticidad (a^*) se convirtió en el parámetro más importante para explicar el cambio de color de las muestras en postcosecha (Figura 1).

Durante el almacenamiento, las muestras tratadas con US a mayor temperatura (60 °C) en todos sus tiempos de exposición tuvieron una reducción significativa en el parámetro de luminosidad (L^*), la disminución de brillantez indica que la muestra se oscureció y el cambio de color se incrementa, evidenciando que a mayor tiempo y temperatura de tratamiento la luminosidad disminuye. Estos resultados coinciden con los de otros autores Sapers y Douglas, (1987), quienes afirman que un aumento de la temperatura favorece el proceso de pardeamiento, encontrando además una correlación entre la disminución de L^* y el incremento del pardeamiento (Garza, 1998), ya que las muestras tratadas a mayor temperatura (60 °C), mostraron mayor pardeamiento, ocasionado posiblemente por los procesos oxidativos que se producen por la pérdida de la integridad celular, ocasionada por la termolabilidad de éstas (Gómez, 1997); ya que los champiñones presentan un metabolismo más rápido a mayor temperatura (Cardona, 2001).

Los valores de L^* son mayores en las muestras tratadas con US a temperatura de 20 y 40 °C en todos sus tiempos de exposición (10, 20 y 30 minutos) durante los 15 días de almacenamiento, debido probablemente a la turbulencia que produce dispersión de partículas causada por el US (Suslick *et al.*, 1999; Mathé y Hinrich, 2000) y a la presencia de aire en los intersticios de esta área, que contribuye a la falta de homogeneidad en el índice de refracción del tejido, disminuyendo el grado de absorción de la luz en la zona superficial, lo que da como resultado que las muestras se vean más claras (Cortés *et al.*, 2007).

La muestra control presentó un aumento significativo del color durante todo el almacenamiento, debido posiblemente a la ruptura de la membrana celular como consecuencia del proceso de senescencia y al mal manejo del hongo

58

que permite que la tirosina almacenada en el citoplasma de forma latente, se active por rompimiento de ésta (Gómez, 1997). Los valores obtenidos para el parámetro a^* en las muestras tratadas con US presentaron un incremento significativo en casi todos sus tiempos, a pesar de que su evolución fue variable durante los 15 días de almacenamiento, sin embargo a temperaturas elevadas (60 °C), se observó que los valores de a^* tienden a alcanzar un valor máximo, con cifras muy cercanas a las de las muestras control. Mientras que las muestras tratadas a 20 y 40 °C durante 10 minutos de exposición, presentan un valor muy cercano al del primer día de almacenamiento de la muestra control.

Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Valero *et al.*, (2004) quienes evaluaron la influencia de ultrasonido (500 KHz./240 W) durante 15 minutos a 75 °C en jugo de naranja, encontrando que hay aumentos claros en los parámetros de a^* y b^* , la luminosidad no fue significativa, debido probablemente a la disminución en el tamaño de las partículas por efecto del ultrasonido. Así mismo, resultados similares fueron encontrados por Zenker *et al.*, (2003) quienes estudiaron el efecto directo del US sobre el color en el jugo de naranja después de pasteurizado.

Así mismo, los resultados obtenidos son comparables a los de Tano *et al.*, (1999) quienes encontraron que al empacar champiñones (*Agaricus bisporus*) en atmósferas modificadas al 5 y 10 %, almacenadas durante 12 días a 4 °C, se observaba una disminución mínima en los valores de L^* y un aumento significativo en los valores de a^* (rojo), comparado con el almacenamiento a una temperatura mayor 20 °C, evidenciando una disminución más drástica de la luminosidad y un incremento más visible del valor de a^* .

El cambio de color en las muestras, puede ser atribuido a la oxidación enzimática de fenoles tales como la PFO, la cual es crucial en la síntesis de melanina, para formar pigmentos cafés, o a la oxidación no enzimática de los fenoles producida por otros factores (Gómez, 1997). Se ha comprobado que la actividad tirosinasa y la concentración de fenoles son mayores en la piel del carpóforo que en el interior del hongo y por tanto el pardeamiento es mayor en la piel y más débil internamente (Daoudi, 2004; Gómez, 1997).

De acuerdo a estudios realizados por Murray, (1989) el tratamiento con US afecta el grado de oxidación de pigmentos y otros factores como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad,

la integridad celular y estructural, influyendo directamente en el cambio de color.

El color natural o inicial de las muestras frescas es: $L^*=63,4$; $a^*=-0,71$ y $b^*=17,36$; de acuerdo a lo anterior el tratamiento con US a temperaturas (20 y 40 °C) y a un tiempo de exposición (10 minutos), conserva la coloración inicial durante los 15 días del almacenamiento. Por el contrario, las muestras control cambiaron su color significativamente.

pH: En la Figura 2, se puede observar el comportamiento del pH en las muestras control y tratadas con ultrasonido almacenadas durante 15 días, evidenciando en las muestras control un descenso significativo los primeros doce días. Por su parte, las muestras tratadas con US registraron un comportamiento muy similar, el pH aumenta significativamente hasta el sexto día y este efecto es más visible a mayor tiempo de exposición, en el tiempo restante de almacenamiento se presenta un descenso que resulta significativamente menor con el valor inicial del pH; en las muestras tratadas a temperatura de 40 °C, reflejan una evolución del pH más constante, en todos los casos los valores del pH de las muestras tratadas con US es mayor que las demás muestras objeto de estudio (control).

Estos resultados evidencian que el US tiene un efecto significativo sobre el pH, observando una disminución significativa durante los 15 días de almacenamiento. Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Porras, (2007) que observó que la pulpa de mango (*Mangifera indica* l variedad común), tratada por ultrasonido (25 y 45 KHz.) durante 15, 30, 45 y 60 minutos, presenta mayor disminución en el pH las muestras expuestas durante más tiempo. McClement, (1995) afirma que el ultrasonido de poder o de baja frecuencia provoca el fenómeno de cavitación, dicho fenómeno genera un proceso de microevaporación en los líquidos tratados, con lo cual se libera el ión hidrogeno del agua del mismo, lo que con llevaría a la disminución sustancial del pH.

Como se observa en la Figura 2, el US incremento los valores del pH inmediatamente después del tratamiento en comparación a la muestra control, esto podría deberse a la liberación de sustancias volátiles aromáticas durante la cavitación, lo cual podría favorecer aspectos organolépticos (Hoover, 2000; Márquez *et al.*, 2007).

El comportamiento creciente que expusieron las muestras control los últimos días de almacenamiento, pudo ser debido a ácidos producidos por la actividad metabólica de los microorganismos (Lujan *et al.*, 2007); resultados

muy similares a los obtenidos por Cortes *et al.*, (2007) en el estudio del hongo *Pleurotus ostreatus* fortificado con Calcio, Selenio y vitamina C.

Así mismo, estudios realizados por Villaescusa y Gil, (2003) encontraron que al empacar en atmósferas modificadas a *Pleurotus ostreatus* durante 11 días de almacenamiento a diferentes temperaturas (0, 4 y 7 °C), se observaba una disminución del pH durante éste, sin observar ninguna diferencia significativa entre las temperaturas utilizadas, ocasionado posiblemente por la senescencia del producto, que origina pérdida de agua en mayor cantidad a altas temperatura de almacenamiento y por consiguiente una descomposición de éste.

Actividad enzimática: En la Figura 3, se presenta la evolución de la actividad enzimática de la PFO en las muestras del hongo *Pleurotus ostreatus* tratadas o no con ultrasonido y almacenadas durante 15 días. Las muestras control exhibieron un aumento significativo en la producción de enzima PFO durante todo el almacenamiento, al igual que las muestras tratadas con US a temperatura de 60 °C en todos sus tiempos de exposición. Por el contrario, las muestras tratadas con US a temperatura de 20 y 40 °C a tiempos de exposición de 20 y 30 minutos, mostraron un comportamiento estable en los valores de producción de la enzima durante casi todo el almacenamiento, sin superar los valores obtenidos en el sexto día de almacenamiento de la muestra control. Se evidencia un mayor efecto inhibitorio de la enzima PFO en las muestras expuestas al US a una temperatura de 40 °C durante 20 minutos.

La unidad de actividad enzimática se denomina como Unidad Internacional (U.I.): se define como la cantidad de enzima PFO que produce 1 μmol de o-quinona por minuto a temperatura de referencia 25 °C.

Los resultados encontrados en este trabajo indican que los tratamientos con US a una temperatura de 40 °C, provocan una marcada disminución en la actividad enzimática de la PFO y que éste efecto se mantiene durante el almacenamiento (Figura 3b). Esto podría explicar el retraso en el desarrollo de color encontrado como consecuencia de la aplicación de estos tratamientos (US y temperatura) en la muestra del hongo comestible, en comparación de las muestras control. No obstante en otros casos se ha observado que al trabajar con temperaturas entre 40 – 60 °C, se inhibe la acción de esta enzima (Cardona, 2001).

Los resultados obtenidos anteriormente son comparables con los conseguidos por Kuldiloke, (2002), quien evaluó el efecto del ultrasonido a diferentes temperaturas (40 - 70 °C) sobre la inactivación de la enzima PFO del tomate, encontrando que al combinar estos tratamientos se lograba una inactivación enzimática más efectiva, debido al efecto de la temperatura y a la cavitación originada por el tratamiento con ultrasonido, llegando a inactivar la enzima (Vercet *et al.*, 2002).

Comportamientos similares a los descritos anteriormente fueron observados por Raviyan *et al.*, (2004), quienes encontraron un aumento significativo en la efectividad de la inactivación enzimática en el tomate utilizando ultrasonido a 20 KHz amplitud de 20 μm , a 72 °C durante 25,3 minutos; concluyendo que el aumento de la temperatura favorece la inactivación de éstas; se atribuye éste fenómeno posiblemente a la cavitación intracelular, producida por las altas presiones, fuerza interna y altas temperaturas generadas en el material vegetal durante el tratamiento con US (Lee, 2002).

Ortiz *et al.*, (2003) evaluaron la actividad de polifenoloxidasas en la pasta de aguacate, determinando las condiciones mínimas de tratamiento térmico a 50, 60, 70, 80 y 90 °C durante 5, 10 y 15 minutos, observando que a 60 y 73 °C durante 10 minutos y 85 °C durante 4.6 minutos se lograba la desactivación de la enzima.

Esto demuestra la efectividad del US en la inactivación enzimática, ya que en las condiciones de pH y temperatura (pH entre 6 - 7 y temperatura de 20 °C) estudiadas, son las óptimas para la activación de la PFO (Weemaes *et al.*, 1999; Yemencioğlu, 2007; Kolcuoğlu *et al.*, 2007); la acción del US sobre la enzima puede ser atribuida al aumento de la temperatura intracelular que disminuye la viscosidad del líquido y favorece la penetración de las ondas sonoras y la cavitación (Earnshaw *et al.*, 1995); en algunos casos es de resaltar que la cavitación no siempre es necesaria para producir la inactivación de las enzimas, ya que el rompimiento por la turbulencia podría ser responsable de la degradación de la misma (Price, 1990).

Los resultados obtenidos por el efecto del empaque al vacío en la inactivación de la enzima de las muestras del hongo *Pleurotus ostreatus* pueden ser comparables con los estudios realizados por (Kang y Lee, 1998; Artes *et al.*, 1998 y Cano *et al.*, 2005) quienes concluyeron que los frutos mínimamente procesados cortados en fresco y envasados con

60

películas plásticas al vacío y conservados en refrigeración (2 - 7 °C) tienen un periodo de vida útil de 7 a 10 días; debido a que por efecto de la disminución de oxígeno, se reducen las reacciones enzimáticas de pardeamiento. Además estos resultados son similares a los obtenidos por Tao *et al.*, (2005) quienes reportaron que a concentraciones de O₂ entre 5 ± 1 % y 3 ± 1 % de CO₂, con un recubrimiento de polietileno se pudo retrasar el pardeamiento del hongo comestible *Agaricus bisporus* alrededor de 15 días almacenados a 4 °C, y por tanto alargar la vida de conservación. Estas concentraciones coinciden con las estudiadas por Parentelli *et al.*, (2007) en el hongo comestible shiitake almacenado a 5 °C durante 20 días, donde demostraron que a una concentración de O₂ del 5 % y CO₂ del 2,5 %, se controla el deterioro del alimento causado por el pardeamiento enzimático y microorganismos alterantes.

CONCLUSIONES

En el análisis de color, la cromaticidad (a*) es el parámetro más adecuada para medir el cambio de color del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* durante el almacenamiento, ya que con el aumento significativo de este valor la muestra se torna más parduzca o marrón, por tender hacia coloraciones rojizas; observando que el tratamiento con US controla el pardeamiento de las muestras.

En las muestras del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* la aplicación del ultrasonido a (40 KHz) a temperatura de 20, 40 y 60 °C durante 10, 20 y 30 minutos, provoca cambios significativos en los parámetros de color así: La luminosidad (L*) y la cromaticidad (b*) incrementan de forma significativa durante el tiempo estudiado.

Las muestras tratadas con US a 20 y 40 °C durante 10 minutos de exposición, presentan los valores más cercanos a los de las muestras control de su primer día de almacenamiento (L*=63,4; a*= -0,71 y b*=17,36).

El tratamiento con US a (40 KHz) a temperatura de 20, 40 y 60 °C durante 10, 20 y 30 minutos, aumentan el pH significativamente, en especial en las muestras que fueron expuestas a mayor tiempo y temperatura. Observando que la temperatura influye sobre las propiedades del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* fresco empacado al vacío.

Las muestras tratadas con ultrasonido a (40 KHz) a temperatura de 20, 40 y 60 °C durante 10, 20 y 30 minutos, tuvieron una inhibición en su mayoría entre el 30 y 70 % de la enzima PFO, siendo el

mejor tratamiento el que empleo temperaturas de 40 °C durante 20 minutos.

El tratamiento con ultrasonido más eficiente para conservar las características del hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*) fresco empacado al vacío durante los 15 días de almacenamiento a 4 °C, fue el que utilizó 40 KHz a una temperatura de 40 °C en sus diferentes tiempos de exposición (10, 20 y 30 minutos), ya que mantuvo las propiedades de las muestras tratadas muy semejantes a las frescas al inicio del almacenamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. (1990). Association of Official Analytical Chemistry. 15th Ed, Arlington, Virginia-USA. pp. 931-935.
- Artes, F. Castañar, M. y Gil, I. (1998). El pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas mínimamente procesadas. *Food Science and Technology internacional* (6). pp. 377-389.
- Beaulieu, M. Aprano, D. y Lacroix, M. (2002). Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics and Chemistry* (63). pp. 311-315.
- Cano, P. Ancos, B. y Sánchez, C. (2005). Altas presiones, nuevas alternativas para la mejora de la calidad y seguridad en vegetales frescos cortados. *Nuevas tecnologías de conservación y envases*. pp. 1-9.
- Cardona, F. (2001). Notaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. *Crónica forestal y del medio ambiente* (16). pp. 99-118.
- Cortés, R. García, S. y Suárez, M. (2007). Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) con calcio, selenio y vitamina C. *VITAE, Revista De La Facultad De Química Farmacéutica* (14). pp. 16-24.
- Daoudi, L. (2004). Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre el gazpacho y zumo de uva. Tesis Doctoral Universidad Autónoma de Barcelona. pp. 53-54.
- Earnshaw, R. Appleyard, J. y Hurst, R. (1995). Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. *Journal Food Microbiology* (28). pp. 197-219.



61

Garza, S. (1998). Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón. pp. 132-142.

Gayosso, M. (2001). Caracterización de los componentes de un extracto de primordios de *Pleurotus ostreatus* que induce a su fructificación. Área de Biotecnología. Tesis Profesional Universidad de Colima. pp. 11-35.

Gómez, M. (1997). Deterioro de la calidad de los champiñones (*Agaricus bisporus*) en fresco. *Alimentación, equipos y tecnología*. pp. 69-73.

Hoover, D. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies ultrasound. *Journal of Food Science*. pp. 93-95.

Kang, J. y Lee, D. (1998). A kinetic model for transpiration of fresh produce in a controlled atmosphere. *Journal of Food Engineering* (35). pp. 65-73.

Kolcuoglu, Y. Colak, . Sesli, E. Yildirim, M. y Saglam, N. (2007). Comparative characterization of monophenolase and diphenolase activities from a wild edible mushroom (*Macrolepiota mastoidea*). *Food Chemistry* (101). pp. 778-785.

Kuldiloke, J. (2002). Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juice. Doctoral dissertation, Technical University of Berlin. pp. 2-25.

Lee, D. (2002). Application of combined non-thermal treatments for the processing of liquid whole egg. Doctoral dissertation, Technical University of Berlin. pp. 37-40.

Lujan, D. Morales, J. y Padilla, J. (2007). Evaluación de los tratamientos de esterilización y aditivos en la conservación de la seta *Pleurotus ostreatus*. @*limentech* (5). pp. 49-57.

Mathé, P. y Hinrich, J. (2000). On scattering of ultrasonic waves. Institute for *Applied Analysis and Stochastics*. Berlin, Germany.

Márquez, C. Otero, E. y Cortés, R. (2007). Cambios fisiológicos, texturales, fisicoquímicos y microestructurales del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* s.) en poscosecha. *Vitae* (14). pp. 133-139.

MC Clements, J. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and

processing. *Trends in Food Science y Technology* (6). pp. 31-37.

Medina, R. (2004). Producción Mundial de Hongos Comestibles. *Micotec* (3). pp. 23-29.

Murray, A. (1989). Factors affecting beef color at time of grading. *Journal Animal Science* (69). pp. 347-355.

Parentelli, C. Ares, G. Corona, M. Lareo, C. Gambado, A. Soubes, M. y Lema, P. (2007). Sensory and microbiological quality of Shiiteke mushrooms in modified atmosphere packages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (87). pp. 1645-1653.

Price, G. (1990). The use of ultrasound for the controlled degradation of polymer solutions. Jai Press London (1). pp. 66-129.

Porras, O. (2007). Efecto de la aplicación de ondas de ultrasonido sobre las propiedades fisicoquímicas, reológicas y microbiológicas de pulpa de mango *Mangifera indica* l variedad común. Universidad De Pamplona. pp. 22-39.

Ohlsson, T. y Bengtsson, N. (2002). Minimal processing technologies in the food industry. *Cambridge England Woodhead*. pp. 124-174.

Ortiz, A. Mora, R. Santiago, T. y Dorantes, L. (2003). Obtención de una pasta de aguacate mediante tratamiento Térmico. Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate). pp. 761-768.

Raviyan, P. Zhang, Z. y Feng, H. (2005). Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation; effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *Journal of Food Engineering* (70). pp. 189-196.

Salvador, E. (2000). Factores de precosecha que afectan la calidad. Control de fisiopatías en frutas durante el almacenamiento en frío (CYTED-Proyecto XI;14). pp. 21-27.

Sapers, G. y Douglas, F. (1987). Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and in the juice of raw apple and pear fruits. *J. Food Sci.* (52). pp. 1258-1263.

Suslick, K. Didenko, Y. Fang, M. Hyeon, T. Kolbeck, K. y Wong, M. (1999). Acoustic cavitation and its chemical consequences. *The Royal Society* (357). pp. 335-353.

62

Tano, K. Arul, J. Doyon, G. y Castaigne, F. (1999). Atmospheric Composition and Quality of Fresh Mushrooms in Modified Atmosphere Packages. *Journal of Food Science* (64). pp. 1073- 1077.

Tao, F. Zhang, M. y Yu, H. (2005). Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *Journal of Food engineering* (101). pp. 1016-1021.

Valero, M. Recrosio, N. Saura, D. Muñoz, N. Marti, N. y Lizama, V. (2004). Effect of ultrasound treatments in orange juice processing. *Food Chemistry* (49). pp. 482-489.

Velasco, J. y Vargas, E. (2004). Cultivo del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). Producción Integral de Traspasio del Colegio de Postgraduados. México.

Vercet, A. Burgos, J. y Lopez, P. (2002). Manothermosonication of heat-resistant lipase and protease from *Pseudomonas fluorescens* effect of pH and sonication parameters. *Journal Microbiological* (56). pp. 272-278.

Villaescusa, R. y Gil, M. (2003). Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. *Postharvest Biology and Technology* (28). pp. 169-179.

Weemaes, C. Ludikhuyse, L. Van Den, B. y Hendrickx, M. (1999). Influence of pH, Benzoic Acid, Glutathione, EDTA, 4- Hexylresorcinol, and Sodium chloride on the pressure inactivation kinetics of mushrooms polyphenol oxidase. *Journal Agriculture Food chemistry* (47). pp. 3526-3530.

Yeminicioglu, A. ozkan, M. y Cemeroglu, B. (1999). Some characteristics of polyphenoloxidase and peroxidase from Taro (*Colocasia antiquorum*). *Journal of Agriculture and Forestry* (23). pp. 425-430.

Zenker, M., Heinz, V., y Knorr, D. (2003). Application of ultrasoundassisted thermal processing for preservation and quality retention of liquid foods. *Journal of Food Protection* (66). pp. 1642–1649.

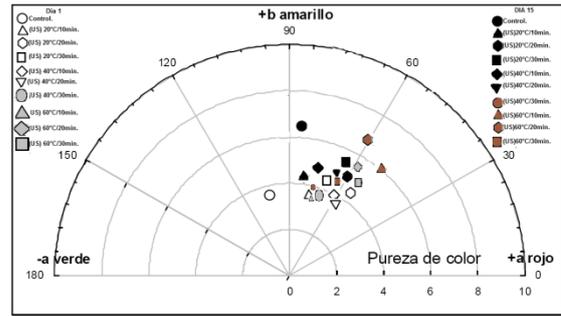
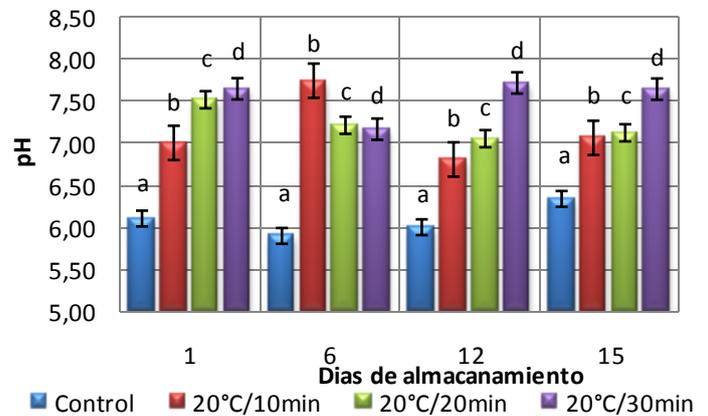
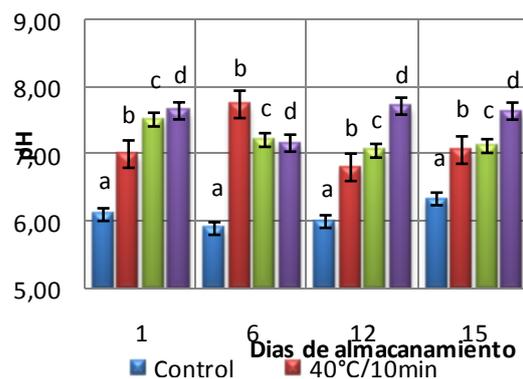


Figura 1. Diagrama de cromaticidad de la muestras de *Pleurotus ostreatus* tratadas con ultrasonido, durante 15 días en almacenamiento refrigerado.

a) Temperatura de tratamiento a 20 °C.



b) Temperatura de tratamiento a 40 °C.



c) Temperatura de tratamiento a 60 °C.

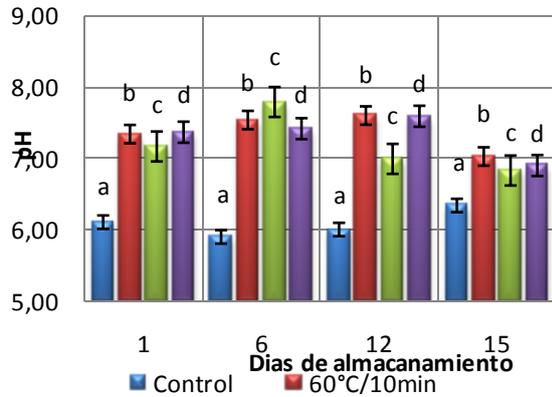
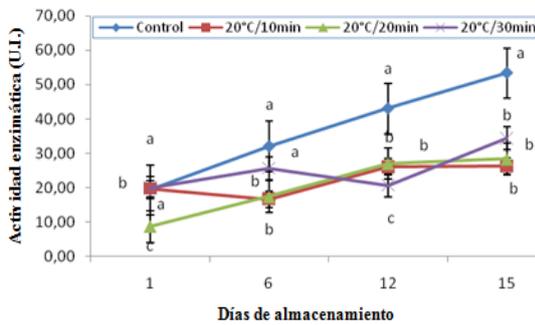
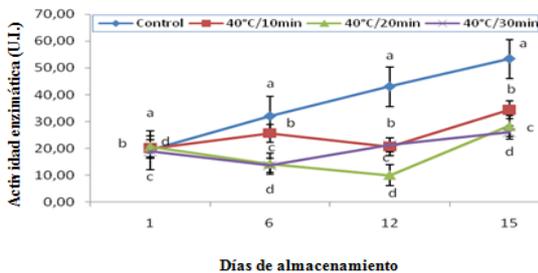


Figura 2. Evolución del pH, durante 15 días de almacenamiento a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ de las muestras de *Pleurotus ostreatus* tratadas con ultrasonido. Los resultados corresponden al promedio de 3 réplicas y una desviación estándar. Letras diferentes en cada día de almacenamiento indican diferencias mínimas significativas de acuerdo con la prueba de DMS, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$).

a) Temperatura de tratamiento a 20 °C.



b) Temperatura de tratamiento a 40 °C



c) Temperatura de tratamiento a 60 °C

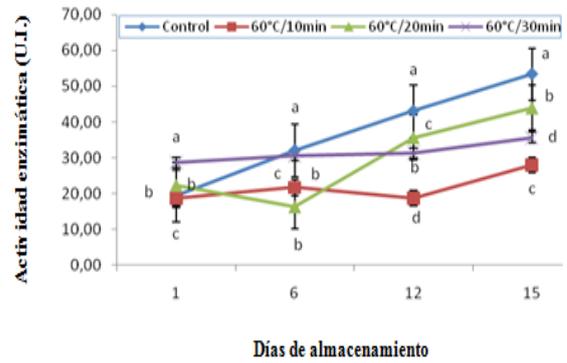


Figura 3. Evolución de la actividad enzimática de la PFO durante 15 días de almacenamiento a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ de las muestras de *Pleurotus ostreatus* tratadas con ultrasonido. Los resultados corresponden al promedio de 3 réplicas y una desviación estándar. Letras diferentes en cada día de almacenamiento indican diferencias mínimas significativas de acuerdo con la prueba de DMS, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0,05$).