

Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes, en el hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*), mínimamente procesado

Effect of the irradiation dose and storage time on physicochemical, microbiological and antioxidants characteristics in oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) minimally processed

Luis Márquez Villacorta¹, Carla Pretell Vásquez²

Resumen

Se evaluó el efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) mínimamente procesado. Las muestras fueron seleccionadas de acuerdo a su aspecto general, sin putrefacción ni deterioro físico. Los hongos fueron clasificados considerando un diámetro de sombrero entre 6 - 10 cm, una altura de tallo de 3-4 cm aproximadamente y firmeza homogénea, luego se limpiaron manualmente y estabilizados en color utilizando una solución de ácido cítrico 1% durante 30 s con la ayuda de una gasa estéril, después se aplicó por aspersión una solución de cloruro de calcio al 2.5%, con la finalidad de mejorar y mantener la firmeza. Posteriormente los hongos se sometieron a dosis de irradiación UV-C (0, 4 y 8 kJ/m²). Finalmente, las muestras fueron envasadas en bandejas de poliestireno y recubiertas con una película de cloruro de polivinilo microperforada, y almacenadas a 4 °C con una humedad relativa de 85 - 90%, durante 12 días. Cada 4 días, las muestras fueron evaluadas en pérdida de peso, firmeza, color, recuento de aerobios mesófilos viables, contenido de fenoles totales y flavonoides totales. El efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes evaluadas en los hongos mínimamente procesados fue significativo ($p < 0,05$). La dosis de irradiación UV-C de 8 kJ/m² permitió obtener las mejores características fisicoquímicas, mayores características antioxidantes y menor recuento microbiológico en los hongos *Pleurotus ostreatus*, durante los 12 días de almacenamiento a 4 °C.

Palabras clave: Hongos ostra, mínimo proceso, irradiación UV-C.

Abstract

The effect of the dose UV-C irradiation and storage time on the physicochemical, microbiological and antioxidants characteristics of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) minimally processed was evaluated. The samples were selected, according to their general appearance, without the presence of putrefaction and physical deterioration. The mushrooms were classified, considering cap diameter between 6 - 10 cm, a height of stipe approximately 3-4 cm and homogeneous firmness, then manually cleaned and stabilized color using a solution of citric acid at 1% for 30 s with a sterile gauze, then applied by spraying a solution of calcium chloride 2.5%, in order to improve and maintain firmness. Later, the mushrooms were subjected to doses UV-C irradiation (0, 4 and 8 kJ/m²). Finally, samples were packed in trays of polystyrene and covered with a polyvinyl chloride film microperforated, and stored at 4 °C with a relative humidity of 85 - 90%, during 12 days. Every four days, weight loss, firmness, color, count of viable aerobic mesophilic, total phenolic content, and total flavonoids were evaluated. The significant effect of the dose UV-C irradiation and storage time on the physicochemical, microbiological, and antioxidants characteristics evaluated in mushrooms minimally processed was significant ($p < 0,05$). The dose of UV-C irradiation 8 kJ/m² yielded the best physicochemical characteristics, the highest antioxidants characteristics and lowest microbiological count in the mushrooms *Pleurotus ostreatus* minimally processed during the 12 days of storage at 4 °C.

Keywords: oyster mushroom, minimally processing, UV-C irradiation.

1. Ingeniero en Industrias Alimentarias. Maestro en Ciencias con Mención en Tecnología de Alimentos. Docente Auxiliar, Universidad Privada Antenor Orrego (lmarquezv@upao.edu.pe). Ha recibido la única mención honrosa del Premio Graña y Montero a la Investigación en Ingeniería Peruana, quinta edición, por su trabajo sobre la conservación de la palta fresca, sin fungicidas químicos.
2. Ingeniera en Industrias Alimentarias. Maestra en Ciencias con Mención en Tecnología de Alimentos. Docente, Auxiliar Universidad Privada Antenor Orrego. Ha recibido igualmente el premio antes citado por el mismo trabajo realizado en forma conjunta.

1. INTRODUCCIÓN

Los hongos son alimentos nutritivos, en base seca, poseen alto contenido de proteínas y son bajos en grasas. Su nivel proteico es similar al maíz, la leche y las legumbres. Contienen todos los aminoácidos (esenciales y no esenciales) más comunes. La lisina, cuyo contenido es bajo en la mayoría de los cereales, es el más abundante en los hongos comestibles (García, 2008). Además los hongos poseen una o más de las siguientes propiedades: son biorreguladores, son inmunomoduladores, mantienen la homeostasis, son anticancerígenos y descienden el colesterol (Cortés y otros, 2011).

El *Pleurotus ostreatus* es un hongo comestible, reconocido por su alto valor nutritivo. En los últimos años, debido al cambio en los hábitos alimenticios, se ha registrado un aumento creciente en su consumo per cápita, asociado a su bajo aporte calórico, una baja relación de ácidos grasos saturados a insaturados, 2.0-4.5:1, una relación fibra dietaria total a fibra cruda mayor que la de los vegetales, una buena digestibilidad (67.8%), al contenido en compuestos funcionales (betaglucano y glucosamina), aminoácidos esenciales, minerales, vitaminas y provitaminas (Cortés y otros, 2011).

En Perú el cultivo de hongos comestibles se inició en el año 1995 con la producción de champiñones (*Agaricus bisporus*). Posteriormente en Ayacucho y Trujillo los agricultores de esas localidades iniciaron de manera artesanal el cultivo de hongos comestibles, entre ellos el *Pleurotus ostreatus*, llamado hongo ostra. El *Pleurotus ostreatus* es un hongo macromiceto, cuya particularidad es la de formar un cuerpo fructífero visible (carpóforo). Su importancia radica en que posee un complejo sistema enzimático, que permite degradar moléculas de alto peso como la celulosa, lignina, quitina y taninos que se encuentran en los sustratos sobre los cuales se desarrolla, revalorizando así el uso de los desechos orgánicos. El cultivo del *Pleurotus ostreatus* es de tipo ecológico, pues lo que al hombre le es poco útil y lo desecha, como las pajas, bagazos, cascarillas, mantillos forestales y pulpas (subproductos de la agroindustria), el hongo lo transforma en un alimento proteínico y en mercancía para la venta. Su alta calidad nutricional, como su amplio rango de adaptación climática aunado a su bajo costo de producción, convierten al hongo, en una buena alternativa nutricional, principalmente para aquellas regiones marginales en nuestro país, que no posee acceso a tecnologías adecuadas de producción y que sobretodo están marcadas por necesidades alimentarias (González, 2010).

La calidad de los hongos comestibles es influenciada por diferentes parámetros, como su estado de desarrollo, las condiciones precosecha y

postcosecha, y el tipo de sustrato en el que son cultivados. El *Pleurotus ostreatus* es un hongo con un alto contenido de humedad, susceptible al ataque microbiológico, a las reacciones de pardeamiento enzimático y al daño mecánico, debido a su estructura epidérmica delgada y porosa. Su vida útil es menor de 3 días en condiciones normales de transporte y comercialización, por lo cual, necesitan condiciones especiales de manipulación y almacenamiento para conservar su estado en fresco (Sapata y otros, 2009; Ventura-Aguilar y otros, 2011).

Los hongos comestibles son productos altamente perecibles y tienden a perder su calidad desde el momento de su cosecha. Su vida útil es corta debido a su alta velocidad de respiración, tienden a tornarse marrones y no tienen protección física para evitar la pérdida de agua o el ataque microbiano. Los hongos comestibles frescos, por sus características postcosecha, se consideran dentro del mismo grupo que las frutas frescas y las legumbres (Simón y otros, 2005; Cortés y otros, 2011).

El envasado en atmósfera modificada es el método más económico y efectivo para extender la vida útil de los hongos frescos, ya que el cambio en la composición de los gases, O₂ y CO₂, como producto de la respiración, ha resultado beneficioso en el retardo del deterioro y crecimiento de microorganismos en los hongos envasados (Jayathunge e Illeperuma, 2005). El uso de envasado con atmósferas modificadas, como un complemento al almacenamiento a bajas temperaturas, ha sido ampliamente usado para extender el tiempo de vida útil de los hongos comestibles (Parentelli y otros, 2007).

Los hongos pueden ser fácilmente contaminados con microorganismos durante su crecimiento y procesamiento encontrándose recuentos iniciales de bacterias mesófilas, psicrófilas y *Pseudomonas* que pueden ser mayores a 7.5, 7.2 y 6.9 log ufc/g, respectivamente (Guan y otros, 2012).

La desinfección de los hongos aplicando agentes antimicrobianos y antipardeamiento ha ganado popularidad comercial debido a que mejora la calidad y controla el deterioro, así como, aumenta la aceptabilidad del consumidor. Un proceso efectivo de desinfección combinado con una apropiada técnica de envasado, pueden incrementar el valor de los hongos en el mercado, ya que se inhibe factores del deterioro como el oscurecimiento, crecimiento de bacterias y pérdida de peso (Cliffe-Byrnes y O'Beirne, 2008).

Para disminuir la contaminación microbiana de los hongos después de la cosecha, varios tratamientos desinfectantes pueden ser aplicados como los ácidos orgánicos (ácido acético, cítrico o lácti-

co), ozono, dióxido de cloro y peróxido de hidrógeno (H_2O_2); sin embargo, muchos consumidores no lavan los hongos antes de consumirlos porque remueven fragmentos deteriorando más rápidamente al producto, por lo tanto, usualmente los hongos no son tratados con desinfectantes acuosos para reducir el recuento de bacterias patógenas antes del envasado (Ha y otros, 2011; Guan y otros, 2012).

El procesamiento mínimo describe tecnologías no térmicas para procesar alimentos a manera de garantizar la seguridad y conservación de estos, así como, el mantener todo lo posible la frescura característica de las frutas y hortalizas (Allende y otros, 2006).

La concentración y frecuencia del uso de desinfectantes químicos está disminuyendo, debido a que pueden producir residuos peligrosos para la salud humana. Por estos inconvenientes, nuevas técnicas para desinfección de alimentos han sido desarrolladas; entre estas la irradiación UV-C es una alternativa de tratamiento físico importante (Jiang y otros, 2010). La irradiación UV-C como tratamiento postcosecha ha demostrado ser beneficiosa reduciendo la velocidad de respiración, controlando el desarrollo de la descomposición y retrasando la maduración y senescencia en diferentes vegetales (Guan y otros, 2012).

La irradiación UV-C es usada por la industria alimentaria para inactivar microorganismos patógenos y del deterioro, también induce a un estrés biológico y mecanismos de defensa en tejidos vegetales con la consecuente producción de compuestos fitoalexinas. La acumulación de estos compuestos podría ir acompañado por otras inducibles defensas tales como modificaciones en la pared celular, enzimas de defensa y actividad antioxidante, que son reportados como beneficiosos para la salud (Jiang y otros, 2010; Ha y otros, 2011).

El presente trabajo de investigación se planteó los siguientes objetivos:

1. Determinar el efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características físico-químicas, microbiológicas y antioxidantes, en el hongo ostra mínimamente procesado.
2. Determinar la dosis de irradiación UV-C que permita obtener el hongo ostra mínimamente procesado con las mejores características físico-químicas, menores recuentos microbiológicos y mayores características antioxidantes durante el almacenamiento.

2. METODOLOGÍA

2.1. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y análisis fueron realizadas en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Privada Antenor Orrego.

2.2. Materia prima

La materia prima utilizada fue el hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) cultivado en la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias, a partir de la cepa madre del Centro de Investigación en Biotecnología del Proyecto Especial Chavimochic. Las muestras fueron cuidadosamente seleccionadas teniendo en cuenta su aspecto general, la ausencia de signos de putrefacción y deterioro físico. El hongo se clasificó considerando un diámetro de sombrero entre 6 - 10 cm, una altura de tallo de 3-4 cm aproximadamente y firmeza homogénea.

2.3. Acondicionamiento e irradiación de las muestras

Los hongos fueron limpiados manualmente para eliminar los residuos de sustrato a la cutícula pegajosa. Luego las muestras fueron estabilizadas en color utilizando una solución de ácido cítrico 1% durante 30 s con la ayuda de una gasa estéril, luego se aplicó por aspersion una solución de cloruro de calcio al 2.5%, con la finalidad de mejorar y mantener la estructura rígida del hongo (Ventura-Aguilar y otros, 2011; Márquez y otros, 2010).

En la aplicación de los tratamientos con irradiación UV-C se utilizó una fuente de irradiación superior de 254 nm (04 lámparas Philips, modelo TUV G30T8, 30 watts). Los hongos se colocaron en una cámara de vidrio especialmente diseñada para tal fin, a una distancia de 12.5 cm de las lámparas. La intensidad de irradiación fue medida utilizando un radiómetro digital marca Cole-Parmer, modelo UVP (rango 0-20 mW/cm²) que nos permitió obtener las dosis de aplicación de 4 y 8 kJ/m², mediante la fórmula 1:

$$D = \frac{Ixt}{1000} \dots \dots (1)$$

- D: dosis de irradiación aplicada (kJ/m²)
I: intensidad de irradiación medida (W/m²)
T: tiempo de exposición (s)

Finalmente las muestras fueron envasadas en un número de 3-4 unidades por cada bandeja de poliestireno recubierta con película de cloruro de polivinilo (PVC) microperforada; y almacenadas en refrigeración durante 12 días a 4 °C y 85-90% de humedad relativa, para ser evaluadas en sus características físico-químicas, microbiológicas y antioxidantes.

2.4. Métodos analíticos

Pérdida de peso. Se determinó por diferencia en cada uno de los tiempos de evaluación. Los datos se expresaron en porcentaje, respecto al peso inicial (Kim y otros, 2006; Márquez y otros, 2010).

Color. Se utilizó el sistema CIELAB, usando el colorímetro Kónica-Minolta, modelo CR-400. El equipo fue calentado durante 10 min y calibrado con un blanco estándar. Se determinó el parámetro de luminosidad L^* ($L^*=0$ para negro y $L^*=100$ para blanco). Las medidas fueron tomadas en cinco puntos diferentes del hongo y el promedio de los valores fue registrado (Guan y otros, 2012; Márquez y otros, 2010).

Firmeza. Se midió por la determinación de la fuerza de penetración (g_i) en cinco puntos diferentes del hongo, utilizando un penetrómetro (Wagner Instruments, Fruit test - FT 02, Italia). Los resultados se expresaron como la fuerza (N) promedio requerida para penetrar el tejido. (Márquez y otros, 2010).

Recuento total de bacterias aerobias mesófilas viables. Se separaron asépticamente 10 g de muestra que se homogenizaron en 90 mL de agua peptonada al 0.1%. Una serie de diluciones fueron preparadas en 9 mL de agua peptonada con 1 mL de alícuota. El recuento de bacterias aerobias mesófilas viables se determinó usando el método de siembra en superficie de Agar Patrón para Recuento-PCA (Merck) como medio. Las placas se incubaron a 35 °C durante 2 días (International Commission on Microbiological Specifications for Foods: ICMSF, 2001).

Contenido de fenoles totales. Se utilizó 2 g de tejido del hongo que fue homogenizado con 5 mL de solución de etanol (80%) por 5 min. Después de 2 h de homogenización en oscuridad la suspensión será filtrada con papel Whatman N° 01. El color fue desarrollado por la mezcla de 40 μ L de extracto fenólico, 50 μ L de etanol, 400 μ L de agua destilada, 5 μ L de una solución preparada por mezcla de 2 g de carbonato de sodio y 500 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu enrazados en 100 mL de hidróxido de sodio 0.1M. Después de 30 min de almacenamiento en oscuridad la solución fue leída en un espectrofotómetro a 724 nm, usando ácido gálico como estándar. Los resultados fueron expresados como mg ácido gálico/ 100 g muestra fresca (Jiang y otros, 2010).

Contenido de flavonoides. Se utilizó 2 g de tejido del hongo que fue homogenizado con 5 mL de solución de etanol (80%) por 5 min. Después de 2 h de homogenización en oscuridad la suspensión fue filtrada con papel Whatman N° 01. A 1 mL del sobrenadante se adicionó a un matraz que contiene 4 mL de agua destilada, luego se adicionó 0.3 mL de nitrito de sodio (NaNO_2) al 5% al tiempo cero; a 5 min se adicionó 0.3 mL de cloruro de aluminio (AlCl_3) al 5% y a 6 min 2 mL de hidróxido de sodio 1M. La reacción en los matraces fue inmediatamente diluida con 3.4 mL de agua destilada. Después de 30 minutos de almacenamiento en oscuridad la absorbancia de la mezcla fue leída a 510 nm, usando rutina como estándar. Los resultados fueron expresados como mg rutina/ 100 g muestra fresca (Jiang y otros, 2010).

2.5. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes fueron evaluados mediante un diseño completamente al azar: 3 dosis de irradiación (0, 4 y 8 kJ/m^2) x 4 tiempos (0, 4, 8, y 16 días), utilizando el análisis de varianza. Se trabajó con tres repeticiones y un nivel de significancia de $p < 0.05$. Se utilizó el programa SPWA para Windows (Statistical Package for The Social Sciences), versión 18.0 (SPSS Inc., 2009).

3. RESULTADOS

3.1. Pérdida de peso

La pérdida de peso en los hongos mínimamente procesados aumentó con el tiempo de almacenamiento (Figura 1); la velocidad de merma fue siempre mayor en las muestras control en comparación con las sometidas a irradiación UV-C, lo que nos indica que este tratamiento físico disminuyó la permeabilidad de las células al vapor de agua. La menor pérdida de peso al día 12 de almacenamiento se produjo en los hongos tratados con 8 kJ/m^2 (3.7%), seguido por

la muestra con 4 kJ/m² (4.6%). La muestra control presentó 6.2% de pérdida de peso al final del almacenamiento.

La pérdida de peso en los hongos se debe principalmente a su alto contenido de humedad que genera elevada velocidad de transpiración, además los hongos están únicamente protegidos por una delgada y porosa estructura epidérmica, que no previene una rápida deshidratación superficial (Ventura-Aguilar y otros, 2011; Antmann y otros, 2008).

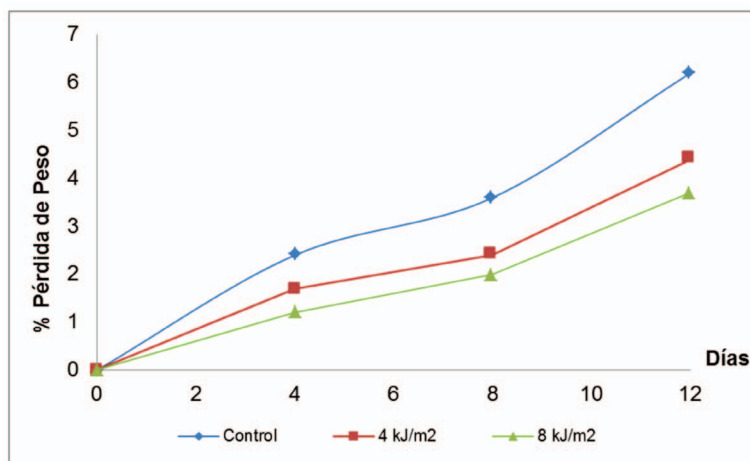


Figura 1. Pérdida de peso en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Diferentes investigaciones han reportado la importancia de las condiciones de humedad óptima dentro del envase para prevenir la pérdida de peso y exceso de condensación de agua (Kim y otros, 2006). En esta investigación, la pérdida de peso en las muestras no fue desmesurada, no excedió el 10% considerado como inaceptable para este producto (Antmann y otros, 2008), debido a la adecuada atmósfera modificada generada por el envasado en bandeja de poliestireno recubierta con película microperforada de PVC.

Un comportamiento similar en la pérdida de peso fue observado en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con inhibidores de oscurecimiento envasados en bandejas de unicel durante 28 días y almacenados a 5 °C (Ventura-Aguilar y otros, 2011); en hongos *Suillus luteus* tratados con agentes desinfectantes (peróxido de hidrógeno, dióxido de cloro, irradiación UV-C y ozono gaseoso) envasados durante 8 días en bandejas PET y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar a 4 °C (Márquez y otros, 2010).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para la pérdida de peso en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo	111.034	3	37.011	1032.879	0.000
Dosis	10.144	2	5.072	141.543	0.000
Interacción	4.974	6	0.829	23.134	0.000
Error	0.860	24	0.036		
Total	127.012	35			

Márquez y otros (2010) constataron el efecto significativo ($p < 0.05$) de la aplicación de diferentes agentes desinfectantes sobre la pérdida de peso en hongos *Suillus luteus* envasados en bandejas PET y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar, durante 8 días a 4 °C.

3.2. Firmeza

La firmeza, medida como la fuerza de penetración, en los hongos mínimamente procesados fue disminuyendo a medida que transcurrieron los días de almacenamiento (Figura 2). Las muestras tratadas con irradiación UV-C produjeron una buena retención de la firmeza durante los 12 días de almacenamiento en comparación con la muestra control, con valores de 4.21 N para los hongos tratados con 8 kJ/m²; 3.24 N para las muestras de 4 kJ/m²; y 2.75 N para el control.

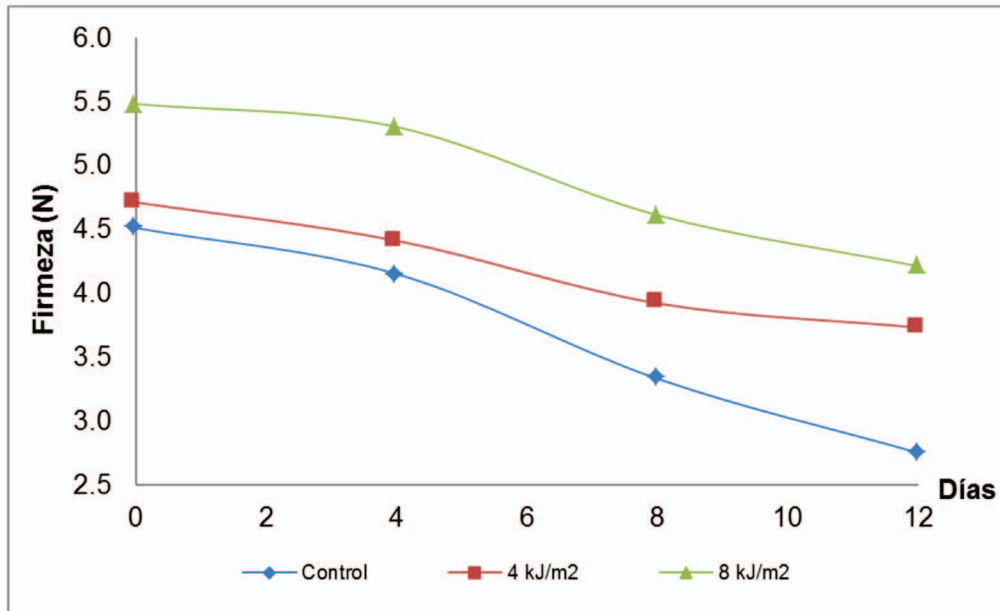


Figura 2. Firmeza en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

La firmeza de los hongos frescos es frecuentemente el principal atributo de calidad que juzgan los consumidores, por lo tanto, extremadamente importante para la aceptación general del producto. La pérdida de firmeza en hongos se relaciona con la degradación de las proteínas y los polisacáridos por acción de enzimas del grupo de las hidrolasas, el encogimiento de las hifas, el rompimiento de las vacuolas centrales y la expansión de los espacios intracelulares en la superficie del sombrero; que son cambios metabólicos y de senescencia del producto (Antmann y otros, 2008). En *Pleurotus ostreatus* envasados la disminución de firmeza puede asociarse a un debilitamiento de la estructura celular debido a procesos fermentativos y a la alta respiración facultativa del hongo (Cortés y otros, 2011).

Los tratamientos con irradiación UV-C mantienen en un alto nivel la firmeza de los hongos almacenados a bajas temperaturas, ya que reducen la actividad de las enzimas que degradan la estructura celular, retrasando el ablandamiento resultante de la velocidad de desintegración de la pared celular (Jiang y otros, 2010).

Un comportamiento similar en la retención de la firmeza fue observado en hongos Shiitake *Lentinus edodes* tratados con irradiación UV-C (4 kJ/m²) envasados en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenados a 1 °C durante 15 días (Jiang y otros, 2010).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza para la firmeza en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo	14.814	3	4.938	72.136	0.000
Dosis	10.109	2	5.055	73.839	0.000
Interacción	0.611	6	0.102	1.487	0.225
Error	1.643	24	0.068		
Total	27.178	35			

Jiang y otros (2010) determinaron efecto significativo ($p < 0.05$), de la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza en hongos Shiitake *Lentinus edodes* envasados en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenados a 1 °C.

3.3. Color

El color en los hongos mínimamente procesados fue afectado por la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento (Figura 3). La evaluación se fundamentó en el valor de la luminosidad (L^*), que depende de la reflectividad en la superficie del producto (Guan y otros, 2012).

Este valor L^* fue disminuyendo con el tiempo de almacenamiento, obteniéndose al final del almacenamiento la mayor luminosidad en los hongos tratados con 8 kJ/m² (81.5); seguido por las muestra de 4 kJ/m² (76.8); y finalmente la muestra control (69.8) que denotó mayor oscurecimiento.

El parámetro de luminosidad L^* muestra una tendencia a un ligero oscurecimiento durante el almacenamiento de los hongos *Pleurotus ostreatus*, debido principalmente a las reacciones de pardeamiento enzimático, que es natural por la polifenoloxidasas presente (Ruiz y otros, 2010).

La acción de la irradiación UV-C sobre el color depende de diversos factores tales como el tipo de producto, forma, relación superficie a volumen, topografía de la superficie y otros. El efecto positivo de la irradiación UV-C sobre la retención del color de los hongos se debe probablemente por la inactivación de la polifenoloxidasas y acción antibacteriana, ya que ambos factores contribuyen al oscurecimiento enzimático (Escalona y otros, 2010; Guan y otros, 2012).

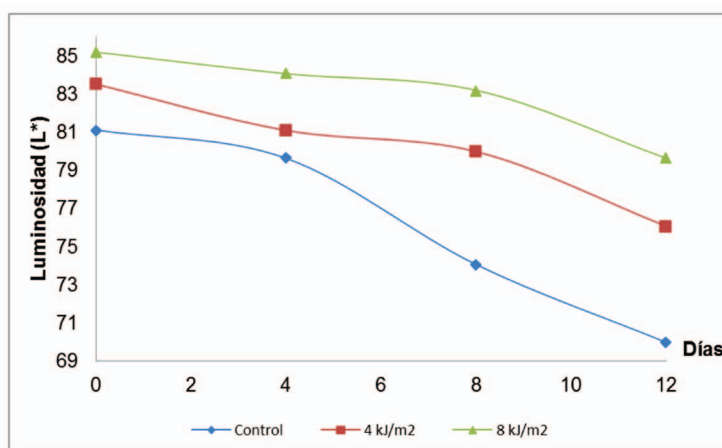


Figura 3. Luminosidad (L^*) en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Un comportamiento similar en la retención de la luminosidad fue observado en champiñones tratados con irradiación UV-C (0.25 – 0.9 kJ/m²) envasados en bandejas plásticas y almacenados a 4 °C durante 21 días (Guan y otros, 2012).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la luminosidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para la luminosidad en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo	348.112	3	116.037	90.418	0.000
Dosis	302.570	2	151.285	117.884	0.000
Interacción	51.918	6	8.653	6.743	0.000
Error	30.800	24	1.283		
Total	733.399	35			



Control

4 kJ/m²

8 kJ/m²

Figura 4. Visualización del color en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 ° C durante 12 días.

3.4. Recuento total de aerobios mesófilos viables

El recuento total de aerobios mesófilos viables fue incrementando con el transcurso del almacenamiento en los hongos mínimamente procesados (Figura 5). Las poblaciones bacterianas y los factores que influyen su crecimiento juegan un rol importante en la calidad postcosecha de los hongos comestibles (Guan y otros, 2012). El desarrollo de la flora natural es la principal causa de deterioro en los alimentos mínimamente procesados, este crecimiento de microorganismos se debe a la destrucción del tejido y la subsecuente liberación de nutrientes. Los patógenos pueden formar parte de esta microflora lo que provoca un potencial problema de seguridad alimentaria (Márquez y Pretell, 2013).

Se ha determinado en los hongos comestibles que el daño mecánico permite un rápido desarrollo de los microorganismos debido al exudado rico en nutrientes que se forma por el rompimiento de las hifas. Sin embargo, el tratamiento con desinfectantes provoca un aumento del tiempo de vida y reduce la cantidad de microorganismos (Cliffe y O’Beirne, 2008).

El recuento inicial de aerobios mesófilos viables para las muestras control fue superior a los presentados por hongos tratados con irradiación UV-C (Figura 5), notándose la acción antibacteriana de este tratamiento físico (0.75 – 1 ciclo logarítmico), donde el recuento fue disminuyendo con el incremento de la dosis de irradiación. La muestra control al final del almacenamiento, denotó un valor de 7.0 log ufc/g, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 6,1 y 5,2 log ufc/g, para 4 y 8 kJ/m², respectivamente.

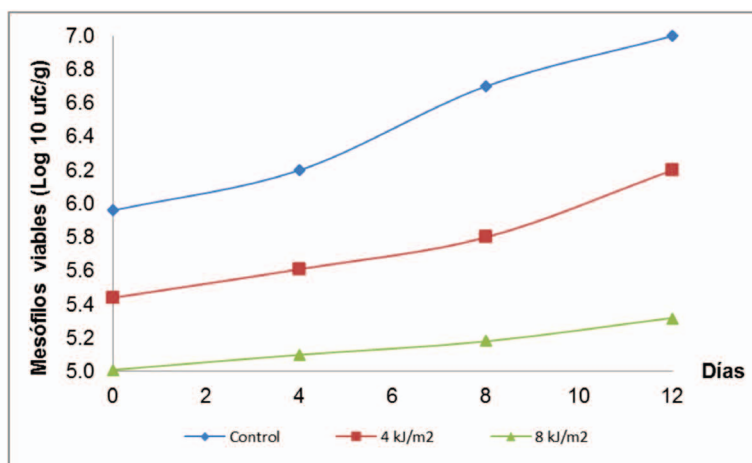


Figura 5. Recuento total de mesófilos aerobios viables en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 ° C.

El recuento de aerobios mesófilos viables en las muestras irradiadas se encontró por debajo al límite máximo permisible de 6,0 log ufc/g, recomendado para frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas (MINSA, 2008), lo cual no ocurrió con la muestra control.

El principal mecanismo de inactivación de microorganismos de la irradiación UV-C es la formación de fotoproductos en el ADN. De estos el más importante es el dímero de pirimidina, que se forma entre las moléculas adyacentes de pirimidina de la misma hélice y puede interrumpir la transcripción y traslación del ADN (Ha y otros, 2011).

Guan y otros (2012) determinaron una actividad antimicrobiana de 0.63 - 1.13 ciclos logarítmicos en el recuento de aerobios mesófilos viables en champiñones tratados con irradiación UV-C (0.25 – 0.9 kJ/m²) envasados en bandejas plásticas y almacenados a 4 °C durante 21 días (Guan y otros, 2012). Ha y otros (2011) reportaron un efecto antibacteriano de 0.14 – 0.88 ciclos logarítmicos en el recuento de *Bacillus cereus* en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con agentes químicos desinfectantes (Etanol, peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio) combinados con irradiación UV-C (6 – 504 mWs/cm²). Ha y otros (2011) reportaron un efecto antibacteriano de 0.89 – 2.35 ciclos logarítmicos en el recuento de *Staphylococcus aureus* en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con agentes químicos desinfectantes (Etanol, peróxido de hidrógeno e hipoclorito de sodio) combinados con irradiación UV-C (6 – 504 mWs/cm²).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el recuento de aerobios mesófilos viables (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza para el recuento de mesófilos aerobios viables en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo	2.418	3	0.806	64.152	0.000
Dosis	8.284	2	4.142	329.666	0.000
Interacción	0.614	6	0.102	8.148	0.000
Error	0.302	24	0.013		
Total	11.618	35			

Guan y otros (2012) determinaron efecto significativo ($p < 0.05$), de la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el recuento de aerobios mesófilos viables en champiñones envasados en bandejas plásticas y almacenados a 4 °C.

3.5. Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales en las rodajas de carambola fue incrementando en los hongos mínimamente procesados durante el almacenamiento (Figura 6).

La irradiación UV-C causó un importante estrés inicial (hormesis) sobre las células induciendo el aumento del contenido de compuestos fenólicos totales en las muestras tratadas en comparación con la muestra control. La tendencia de incremento del contenido de fenoles totales fue mantenida durante el almacenamiento, encontrándose el día 12 valores de 30.2 y 33.5 mg ácido gálico/100 g para los hongos tratados con 4 y 8 kJ/m², respectivamente. La muestra control presentó 27.7 mg ácido gálico/100 g.

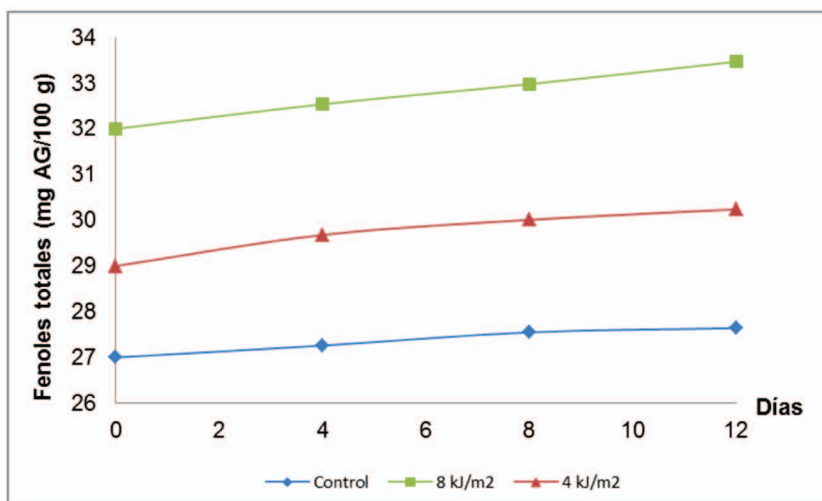


Figura 6. Contenido de fenoles totales en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

El incremento de compuestos antioxidantes en los vegetales después de la irradiación UV-C se explica por las actividades de las enzimas específicas implicadas en el metabolismo de los fenilpropanoides, incluyendo la fenilalanina amonía-liasa que cataliza el primer paso comprometido en la vía de la biosíntesis fenólica, después de lo cual las ramificaciones individuales de la vía hacen posible una gama de compuestos secundarios como los compuestos fenólicos (Martínez-Hernández y otros, 2011; Alothman y otros, 2009).

Un comportamiento similar en el contenido de fenoles totales fue observado en hongos Shiitake *Lentinus edodes* tratados con irradiación UV-C (4 kJ/m²) envasados en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenados a 1 °C durante 15 días (Jiang y otros, 2010).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de fenoles totales (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza para el contenido de fenoles totales en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo	7.384	3	2.461	13.600	0.000
Dosis	115.866	2	57.933	320.121	0.000
Interacción	0.496	6	0.083	0.457	0.833
Error	4.343	24	0.181		
Total	128.089	35			

Jian y otros (2010) determinaron efecto significativo ($p < 0.05$), de la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de fenoles totales en hongos Shiitake *Lentinus edodes* envasados en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenados a 1 °C.

3.6. Contenido de flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales en los hongos mínimamente procesados fue aumentando durante el almacenamiento (Figura 7). La misma hormesis inicial que incrementa la capacidad antioxidante del producto tratado con irradiación UV-C fue observada, en comparación con la muestra control. La tendencia de incremento del contenido de flavonoides totales fue mantenida durante el almacenamiento, encontrándose el día 12 valores de 2.2 y 2.0 mg rutina/100 g para los hongos tratados con 4 y 8 kJ/m², respectivamente. La muestra control presentó 1.7 mg rutina/100 g.

Un comportamiento similar en el contenido de flavonoides totales fue observado en hongos Shiitake *Lentinus edodes* tratados con irradiación UV-C (4 kJ/m²) envasados en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenados a 1 °C durante 15 días (Jiang y otros, 2010).

La inducción al incremento del contenido de flavonoides es considerada como una respuesta específica de aclimatación, apoyada en la hipótesis de la existencia de diferentes vías de señalización UV en los tejidos vegetales. Se sugiere que esta acumulación es parte de un mecanismo de protección contra las dosis de irradiación UV-C en los tejidos superficiales de los hongos. Pero lo más probable es que los tratamientos UV-C activan la chalcona sintetasa, que cataliza el primer paso en la biosíntesis de flavonoides (Jiang y otros, 2010).

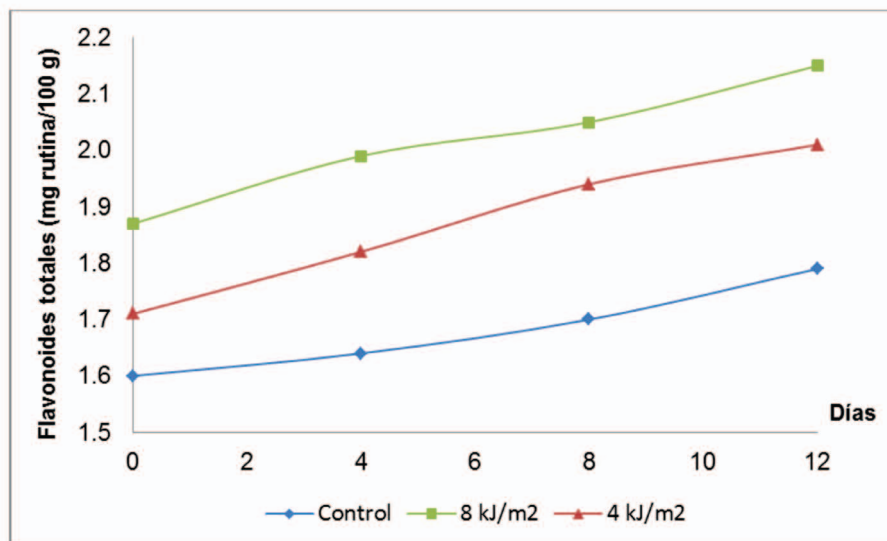


Figura 7. Contenido de flavonoides totales en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0.05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de flavonoides totales (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza para el contenido de flavonoides totales en hongos *Pleurotus ostreatus* tratados con irradiación UV-C almacenados a 4 °C.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Tiempo	0.542	3	0.181	31.463	0.000
Dosis	0.683	2	0.341	59.407	0.000
Interacción	0.017	6	0.003	0.507	0.797
Error	0.138	24	0.006		
Total	1.380	35			

Jian y otros (2010) determinaron efecto significativo ($p < 0.05$), de la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre el contenido de flavonoides totales en hongos Shiitake *Lentinus edodes* envasados en bolsas de polietileno de baja densidad y almacenados a 1 °C.

4. CONCLUSIONES

- Existió un efecto significativo de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características físicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes del hongo ostra, mínimamente procesado.
- La dosis de irradiación UV-C de 8 kJ/m² permitió obtener las mejores características físicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes en el hongo ostra, mínimamente procesado durante 12 días de almacenamiento a 4 °C.

5. AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a los estudiante de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Fernando Cordero, Percy Espino, Andy Reyes, Jhon Asmat, y los Ingenieros Víctor Herrera Mestanza, Nieves Flores March, Diego Valdiviezo Arenas y Stalin López Díaz; por su apoyo en la fase experimental de la investigación.

6. BIBLIOGRAFÍA

Allende, A.; Tomás-Barberan, F. y Gil, M. 2006. Minimal processing for healthy traditional food. *Trend in Food Science and Technology*, volumen 17: 513-519.

Alothman, M.; Bhat, R. y Karim A. 2009. Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plants produce. *Trends in Food Science and Technology*, volumen 20: 201-212.

Antmann, G.; Ares, G.; Lema, P. y Lareo, C. 2008. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of Shiitake mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, volumen 49: 164–170.

Cliffe-Byrnes, V. y O'Beirne, D. 2008. Effects of washing treatment on microbial and sensory quality of modified atmosphere (MA) packaged fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*, volumen 48: 283–294.

Cortés, M.; Ruíz, M. y Henríquez, L. 2011. Influencia del empaque y envasado sobre las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. *Revista MVZ*, 16 (2): 2593 – 2604.

Escalona, V.; Aguayo, E.; Martínez-Hernández, G. y Artés, F. 2010. UV-doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technology*, volumen 56: 223 – 231.

García, O. 2008. Manual para la producción y comercialización de hongos comestibles. Buenos Aires.

González, J. 2010. Evaluación de tratamientos de conservación del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) mediante encurtidos dulces y salados para darle valor agregado. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

Guan, W.; Fan, X. y Yan, R. 2012. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, volumen 64: 119 – 125.

Ha, J.; Jeong, S. y Ha, S. 2011. Synergistic effects of combined disinfection using sanitizers and UV to reduce the level of *Staphylococcus aureus* in oyster mushrooms. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, volumen 54: 447 – 453.

Ha, J.; Lee, D.; Auh, J. y Ha, S. 2011. Synergistic effects of combined disinfection treatment using sanitizers and UV to reduce levels of *Bacillus cereus* in oyster mushrooms. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, volumen 54: 269 – 274.

Jayathunge, L. e Illeperuma, C. 2005. Extension of postharvest life of oyster mushroom by modified atmosphere packaging technique. *Journal of Food Science*, volumen 70 (9): 573-578.

Jiang, T; Jahangir, M.; Jiang, Z; Lu, X. y Ying, T. 2010. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. *Postharvest Biology and Technology*, volumen 56: 209 – 215.

Kim, K.; Ko, J.; Lee, J.; Park, H. y Hanna, M. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf life of coated whole and slice mushroom. *LWT*, volumen 39:364 – 371.

Márquez, L.; Pretell, C.; Correa, K.; Lalopú, B. y Minchón, C. 2010. Efecto del desinfectante, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas, microbiológicas y sensoriales del hongo silvestre comestible (*Suillus leteus*). *Pueblo Continente, Revista Oficial de la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú*, volumen 21(2): 453 – 473.

- Márquez, L. y Pretell, C. 2013. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características físicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes de frutas tropicales mínimamente procesadas. Pueblo Continente, Revista Oficial de la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú, volumen 24(): 141-166.
- Martínez-Hernández, G.; Gómez, P.; Pradas, I; Artés, F. y Artés-Hernández, F. 2011. Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi broccoli. Postharvest Biology and Technology, volumen 62: 327-337.
- MINSA. 2008. Resolución Ministerial N° 591-2008.Perú.
- Parentelli, C.; Ares, G.; Corona, M.; Lareo, C; Gámbaro, A.; Soubes, M. and Lema, P. 2007. Sensory and microbiological quality of shiitake mushrooms in modified-atmosphere packages. Journal of the Science of Food and Agriculture, volumen 87, 1645-1652.
- Ruíz, M.; Cortés, M. y Henríquez, L. 2010. Efecto de dos atmósferas de empaque en hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) tratados mediante impregnación a vacío con una solución conservante. VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Antioquía-Colombia, volumen 17 (1): 11 – 19.
- Sapata, M.; Ramos, A.; Ferreira, A.; Andrada, L. y Candeias, M. 2009. Quality maintenance improvement of *Pleurotus ostreatus* mushrooms by modified atmosphere packaging. Technology Alimentary, volumen 8, N° 2: 53 - 60.
- Simón, A.; González-Fando, E. y Tobar, V. 2005. The sensory and microbiological quality of fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus* L.) packaged in modified atmospheres. International Journal of Food Science and Technology, volumen 40, 943-952.
- Ventura-Aguilar, R.; Colinas-León, M.; Martínez-Damian, M. y Valle-Guadarrama, S. 2011. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, volumen 2, N° 2: 197 – 206.