

ATMÓSFERAS MODIFICADAS, FRIGO CONSERVACIÓN E INHIBIDORES DE OSCURECIMIENTO EN POSCOSECHA DE *Pleurotus ostreatus**

MODIFIED ATMOSPHERES, COLD STORAGE AND DARKENING INHIBITORS IN POSTHARVEST *Pleurotus ostreatus*

Rosa Ventura-Aguilar^{1§}, María Teresa Colinas-León¹, María Teresa Martínez-Damián² y Salvador Valle-Guadarrama³

¹Ciencia y Tecnología Agroalimentaria. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. (lozol@gmail.com). ²Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. (teremd@correo.chapingo.mx). ³Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. [§]Autora para correspondencia: iselaventura@yahoo.com.mx.

RESUMEN

Las setas presentan oscurecimiento y pérdidas de peso durante su vida poscosecha, afectando la calidad sensorial del producto; por ello el objetivo de este trabajo fue incrementar la vida útil de hongos mínimamente procesados del género *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quélet, mediante el uso de una película plástica (CP9250 CRYOVAC®) y un testigo, tres diferentes temperaturas de almacenamiento (2 ± 1 °C, 5 ± 1 °C y 17 ± 1 °C) e inhibidores de oscurecimiento: a) 3% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico; b) 1% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico; y c) un testigo. Los resultados indican que mediante el uso de la película plástica se produjo una reducción en la respiración, comparado con el testigo, mermas en peso de 1%, reducción en la pérdida de luminosidad y menor actividad de la enzima polifenoloxidasas (EC1.10.3.1). El mejor tratamiento para prolongar la vida útil de *Pleurotus* fue la película plástica, con inhibidores de oscurecimiento (3% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico) y almacenamiento a 2 ó 5 °C.

Palabras clave: ácido cítrico, eritorbato de sodio, intensidad respiratoria, pérdida de peso, vida útil.

ABSTRACT

Mushrooms present darkening and weight losses during their post-harvest life, which affects sensorial quality for the product; this is the reason why aim of this work was to increase useful life of minimally processed mushrooms from genus *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quélet, by means of plastic film (CP9250 CRYOVAC®) and a control, three different storage temperatures (2 ± 1 °C, 5 ± 1 °C and 17 ± 1 °C) and darkening inhibitors: a) 3% sodium erythorbate + 1% citric acid; b) 1% sodium erythorbate + 1% citric acid; and c) control. The results indicate that by means of plastic film a reduction in breathing took place, compared with control, reduction in weight of 1%, reduction in loss of brightness and smaller activity of enzyme polyphenol oxidase (EC1.10.3.1). The best treatment to extend useful life of *Pleurotus* was plastic film, with darkening inhibitors (3% sodium erythorbate + 1% citric acid) and storage at 2 or 5 °C.

Key words: citric acid, breathing intensity, sodium erythorbate, useful life, weight loss.

INTRODUCCIÓN

México es el principal productor de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quélet en América, sólo son superados en consumo por el champiñón (*Agaricus bisporus*) (Ancona *et al.*, 2005); se consumen preferentemente en fresco, pero existe una fuerte tendencia en México por consumir nuevos productos (40.3%); tales como, hongos cocinados, congelados, secos, envasados, precocidos y rebanados (Martínez-Carrera *et al.*, 2007). Sin embargo, su comercialización en fresco es afectada por sus altas tasas respiratorias, elevada transpiración y susceptibilidad a la oxidación (González *et al.*, 2005). Ante esta problemática se pretende ofrecer al consumidor una nueva presentación del hongo del género *Pleurotus* spp., a través de un producto mínimamente procesado (Romero *et al.*, 1996) utilizando atmósfera modificada, un inhibidor del oscurecimiento y bajas temperaturas de almacenamiento (Villaescusa y Gil, 2003; Lasanthi y Chamara, 2005; Cliffe y O'Beirne, 2007); de tal manera que se incremente su vida de anaquel y se facilite su consumo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quélet de la empresa Niebla®, ubicada en el municipio de Nopaltepec, Estado de México. Estos se trasladaron al laboratorio de fisiología de frutales, se almacenaron a 4 ± 1 °C por 24 h, posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio (200 ppm) por tres minutos, se sumergieron en agua por tres minutos, se hicieron cortes de aproximadamente 0.5 cm de ancho y 4 cm de largo, se sumergieron por 10 min en dos mezclas de inhibidores de oscurecimiento: 1% de eritorbato de sodio (Sigma®) + 1% de ácido cítrico (Sigma®) y 3% eritorbato de sodio + 1% de ácido cítrico; además se dejó un testigo sin tratar con inhibidores de oscurecimiento; enseguida se drenaron, se escurrieron durante 10 min, se empacaron en charolas de unicel sin empaque plástico y en bolsa de polietileno CP9250 (CRYOVAC®) y se almacenaron a 2 ± 1 °C, 5 ± 1 °C y 17 ± 2 °C y entre 90-95% de humedad relativa.

De acuerdo con la empresa CRYOVAC las características del material de empaque son: bolsa de polietileno (CP9250) de 17.8 cm de ancho y 20.3 cm de largo, con espesor de $44.5 \mu\text{m} \pm 10\%$, una transmisión al vapor de agua (100 in^2 por 24 h a 38 °C, 100% HR) de 0.65 g y una permeabilidad al oxígeno (100 in^2 por 24 h a 23 °C, 1 atmósfera) de 245 cm^3 .

INTRODUCTION

Mexico is the main producer of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quélet in America, only overcome in consumption by mushroom (*Agaricus bisporus*) (Ancona *et al.*, 2005); there are consumed preferably in fresh, but a strong tendency exists in Mexico to consume new products (40.3%); such as cooked, frozen, dry, packed, precooked, and sliced mushrooms (Martínez-Carrera *et al.*, 2007). However, its marketing in cool air is affected by its high breathing rates, high perspiration and susceptibility to oxidation (González *et al.*, 2005). Facing this problem is intended to offer to consumer a new presentation from mushroom of the genus *Pleurotus* spp., through a product with minimum processing (Romero *et al.*, 1996) using modified atmosphere, an inhibitor of the darkening and low storage temperatures (Villaescusa and Gil, 2003; Lasanthi and Chamara, 2005; Cliffe and O'Beirne, 2007); in such a way that their shelf life is increased and its consumption is facilitated.

MATERIALS AND METHODS

Fruitful bodies of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quélet from company Niebla®, located in the municipality of Nopaltepec, State of Mexico were used. These were moved to physiology laboratory of fruits, they were stored at 4 ± 1 °C during 24 h, then they were disinfected with sodium hypochlorite (200 ppm) during three minutes, cleaned in water for three minutes, cuts of approximately 0.5 cm wide and 4 cm long were made, they were washed for 10 min in two mixtures of darkening inhibitors: 1% of sodium erythorbate (Sigma®) + 1% of citric acid (Sigma®) and 3% sodium erythorbate + 1% of citric acid; a control was also left without darkening inhibitors treatment; then they were drained, dried during 10 min, they were packed in polystyrene trays without plastic packing and in polyethylene bag CP9250 (CRYOVAC®) and they were stored at 2 ± 1 °C, 5 ± 1 °C and 17 ± 2 °C and between 90-95% of relative humidity.

According to company CRYOVAC characteristics of packing material are: polyethylene bag (CP9250) of 17.8 cm wide and 20.3 cm long, with thickness of $44.5 \mu\text{m} \pm 10\%$, a transmission to water vapor (100 in^2 por 24 h at 38 °C, 100% HR) of 0.65 g and a permeability to oxygen (100 in^2 por 24 h at 23 °C, 1 atmosphere) of 245 cm^3 .

El diseño experimental fue completamente al azar, con arreglo factorial 2*3*3 (correspondiente a dos niveles en película plástica, tres temperaturas y tres niveles en el factor inhibidores de oscurecimiento), obteniendo 18 tratamientos por día cada uno de éstos con tres repeticiones. Para los análisis estadísticos se usó el paquete computacional Statistical Analysis System versión 6 (SAS, 1989)

Pérdida fisiológica de peso

La pérdida de peso fue determinada monitoreando diferencias de peso durante el almacenamiento y se expresó como porcentaje de peso con respecto al peso inicial.

Color

El color se evaluó mediante un colorímetro HunterLab (Color Tec-PCM®).

Intensidad respiratoria

La respiración se cuantificó con base en un sistema estático (Mendoza-Wilson y Báez-Sañudo, 2000) que consistió en colocar 10 g de setas, en recipientes con volumen conocido y cerrados herméticamente durante 1 h. Posteriormente se tomó una muestra de 1 mL de aire del espacio de cabeza, para inyectarla a un cromatógrafo de gases Varian modelo 3 400, con una columna capilar chrompack con capa porosa de sílice fundido (PLOT) y fase estacionaria paraplote Q. Los gases usados y sus flujos en el detector fueron: nitrógeno como gas de arrastre, hidrógeno y aire, con una presión de 34 psi, en la cabeza de la columna. La columna del cromatógrafo fue calentada a 80 °C y 150 °C en el inyector, 17 °C en el detector y 200 °C en el filamento. El tiempo de retención de CO₂ fue de 2.33 min.

Actividad de la enzima polifenoloxidasas (EC 1.10.3.1)

La actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO) se evaluó con el método propuesto por Lamikanra con modificaciones. La enzima se extrajo a partir de 0.5 g de hongo fresco con 5 ml de solución extractora Trizma-HCl 100 mM (pH 7.1) fría, que contenía 1% de polivinilpirrolidona (PVP).

La muestra de hongos en solución tris-HCl se trituró por 30 segundos con un homogenizador de tejidos (Kika Labortechnik® T25 basic). El extracto se centrifugó (centrífuga Sorvall® RC-5B Refrigerated Superspeed a 2 500 xg y 4 °C por 50 min y una vez obtenido el sobrenadante, se tomó una

Experimental design was totally random, with factorial design 2*3*3 (corresponding to two levels in plastic film, three temperatures and three levels in factor darkening inhibitors), obtaining 18 treatments per day, each one of these with three repetitions. For statistical analyses software Statistical Analysis System version 6 (SAS, 1989) was used.

Physiological weight loss

Weight loss was determined supervising differences of weight during storage and it was expressed as percentage of weight with respect to initial weight.

Color

Color was evaluated by HunterLab (Color Tec-PCM®) colorimeter.

Breathing intensity

Breathing was quantified based in static system (Mendoza-Wilson and Báez-Sañudo, 2000) that consisted in placing 10 g of mushrooms, in recipients with known volume and tightly closed during 1 h. Then it was taken a sample of 1 mL of air of head space, to inject it to Varian model 3 400 gases chromatographer, with a chrompack capillary column with porous layer of melted silica (PLOT, porous layer open tubular) and paraplote Q stationary phase. The used gases and their flows in detector were: nitrogen as carrier gas, hydrogen and air, with a pressure of 34 psi, in column head. Chromatographer column was heated at 80 °C and 150 °C at injector, 17 °C at detector and 200 °C at filament. Retention time for CO₂ was of 2.33 min.

Activity of enzyme polyphenol oxidase (EC 1.10.3.1)

Activity of enzyme polyphenol oxidase (PPO) was evaluated with method proposed by Lamikanra with modifications. Enzyme was extracted from 0.5 g of fresh mushroom with 5 ml of cold extracting solution Trizma-HCl 100 mM (pH 7.1) that contained 1% of polyvinylpyrrolidone (PVP).

Mushrooms sample in tris-HCl solution was crushed during 30 seconds with tissue homogenizer (Kika Labortechnik® T25 basic). The extract was centrifuged (Sorvall® RC-5B Refrigerated Superspeed) at 2 500 xg and 4 °C for 50 min and once obtained the supernatant,

alícuota de 400 µl (extracto de la enzima) y se adicionó 3 ml de catecol (Sigma®). El cambio de absorbancia se evaluó con un espectrofotómetro (Spectronic 21 D Milton Roy®) a 420 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza de las variables respuesta, donde se puede apreciar la significancia en cada uno de los factores (película, temperatura e inhibidores de oscurecimiento) y sus respectivas interacciones.

Cuadro 1. Análisis de varianza de las variables respuesta en *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado durante 28 días de almacenamiento.

Table 1. Analysis of variance of outcome variable in *Pleurotus ostreatus* minimally processed during 28 days of storage.

FV	GL	PP	L	IR	PPO
P	1	*	*	*	*
T	2	NS	*	NS	*
A	2	NS	NS	*	*
P*T	2	NS	*	*	*
P*A	2	NS	*	NS	*
T*A	4	NS	*	NS	*
P*T*A	4	NS	NS	NS	*
CV		99.3	7.78	75.1	102.9

FV= fuente de variación; *= significancia a $p \leq 0.05$; NS= no significativo; CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; P= película; T= temperatura; A= inhibidores de oscurecimiento; P*T= película*temperatura; P*A= película*inhibidores de oscurecimiento; T*A= temperatura*inhibidores de oscurecimiento; P*T*A= película*temperatura*inhibidores de oscurecimiento; PP= pérdida de peso (%); L= luminosidad; IR= intensidad respiratoria (mLCO₂ kg⁻¹ h⁻¹); PPO= polifenoloxidasas (UI g⁻¹ de peso fresco).

Pérdida fisiológica de peso

El factor película fue el que produjo diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) con relación a la pérdida de peso (Cuadro 1). Mediante el uso de películas plásticas se obtuvo una pérdida de peso en las setas de aproximadamente 1% (Cuadro 2), resultados similares han sido reportados por Lasanthi y Chamara (2005), quienes obtuvieron pérdidas de peso 1.9% en hongos almacenados con 1 g de óxido de magnesio, en cada una de las bolsas de polietileno de baja densidad usadas; Villaescusa y Gil (2003) reportaron pérdidas de peso en *P. ostreatus* de 0.6% durante 7 días de almacenamiento a 0 y 4 °C y Tano *et al.* (1999), reportaron de

taken an aliquot of 400 µl (enzyme extract) and 3 ml of catechol (Sigma®) were added. The absorbance change was evaluated with spectrophotometer (Spectronic 21 D Milton Roy®) at 420 nm.

RESULTS AND DISCUSSION

In Table 1 analysis of variance of outcome variable is presented, where can be appreciated significance in each one of the factors (film, temperature and darkening inhibitors) and their respective interactions.

Physiologic weight loss

Factor film was the one that produced differences statistically significant ($p \leq 0.05$) with regards weight loss (Table 1). By use of plastic films weight loss of approximately 1% was obtained in mushrooms (Table 2), similar results have been reported by Lasanthi and Chamara (2005) who obtained weight losses of 1.9% in mushrooms stored with 1 g of magnesium oxide, in each one of used bags of low density polyethylene; Villaescusa and Gil (2003) reported weight losses in *P. ostreatus* of 0.6% during 7 days of storage at 0 and 4 °C and Tano *et al.* (1999), they reported from 1-8% of weight loss in mushrooms stored at 4 °C during 12 days in modified atmospheres. The reduction in loss of humidity observed in samples could be due to that relative humidity inside container reaches high values, which reduces deficit of pressure of vapor (Wills *et al.*, 1998).

Cuadro 2. Efecto del factor película sobre la pérdida de peso (%) en *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado, después de 28 días de almacenamiento.

Table 2. Effect of the factor film on weight loss (%) in *Pleurotus ostreatus* minimally processed, after 28 days of storage.

Factor	Niveles	
Película	SP	58.43 a ^z
	CP	0.617 b

^z= letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$); SP= sin película; CP= película plástica CP-9250®.

Regarding the mushrooms stored without plastic cover, a weight loss of 60% was observed during storage (Table 2); similar results were reported by Nichols and Hammond

1-8% de pérdida en peso en hongos almacenados a 4 °C por 12 días en atmósferas modificadas. La reducción en pérdida de humedad observada en las muestras pudo ser debida a que la humedad relativa dentro del envase alcanza valores altos, lo cual reduce el déficit de presión de vapor (Wills *et al.*, 1998).

Respecto a las setas almacenadas sin cubierta plástica, se observó una pérdida de peso de 60% en el almacenamiento (Cuadro 2); resultados similares fueron reportados por Nichols y Hammond (1973), quienes encontraron pérdidas de peso 50% en hongos almacenados a 2 °C durante 5 días. Estas elevadas pérdidas de humedad pueden deberse al alto contenido de agua de los hongos y al incremento en área superficial que se obtiene al rebanar el producto, generando mayor susceptibilidad a la deshidratación (Villaescusa y Gil, 2003).

Color y luminosidad

En el Cuadro 3 se puede observar el comportamiento de la interacción película-temperatura, se encontró que las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en luminosidad se presentaron entre las setas almacenadas con y sin película plástica. Las almacenadas con película plástica no presentan diferencias significativas en función de la temperatura, mientras que las muestras testigo son más luminosas que las que se almacenaron a 17 °C.

Cuadro 3. Efecto de la interacción película-temperatura en la luminosidad de *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado, después de 28 días de almacenamiento.

Table 3. Effect of interaction film-temperature in brightness of *Pleurotus ostreatus* minimumly processed, after 28 days of storage.

Película	Temperatura (°C)		
	2 ±1	5 ±1	17 ±2
SP	65.931 aA	62.815 aA	69.439 aB
CP	61.511 bA	61.143 aA	61.343 bA

^Z= letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales; y letras mayúsculas iguales, en sentido de fila, son estadísticamente iguales por prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$); SP= sin película; CP= con película CP-9250®.

Con relación a la interacción película-inhibidores de oscurecimiento (Cuadro 4), se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en luminosidad entre las setas almacenadas con y sin película plástica; sin embargo, no se presentaron diferencias entre las muestras tratadas con y sin inhibidores de oscurecimiento.

(1973) who found weight losses 50% in mushrooms stored at 2 °C during 5 days. These high losses of humidity can be due to high content of water of mushrooms and increment in superficial area that is obtained when slicing the product, generating greater susceptibility to dehydration (Villaescusa and Gil, 2003).

Color and brightness

In Table 3 can be seen behavior of interaction film-temperature, it was found that significant differences ($p \leq 0.05$) in brightness were presented among mushrooms stored with and without plastic film. Those stored with plastic film do not show significant differences in function to temperature, while control samples are more luminous than those that were stored at 17 °C.

With relationship to interaction film-darkening inhibitors (Table 4), there were significant differences ($p \leq 0.05$) in brightness among mushrooms stored with and without plastic film; however, differences were not presented among samples treated with and without darkening inhibitors.

Cuadro 4. Efecto de la interacción película-inhibidores de oscurecimiento en la luminosidad de *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado, después de 28 días de almacenamiento.

Table 4. Effect of the interaction film-darkening inhibitors in brightness of *Pleurotus ostreatus* minimumly processed, after 28 days of storage.

Película	Inhibidores de oscurecimiento		
	ST	3ES1AC	1ES1AC
SP	67.434 aA ^z	64.453 aA	65.089 aA
CP	61.344 bA	60.863 bA	61.968 bA

^Z= letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales, y letras mayúsculas iguales, en sentido de fila, son estadísticamente iguales por la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$); SP= sin película; CP= con película CP-9250®; ST= sin tratamiento; 3ES1AC= 3% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico; 1ES1AC= 1% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico.

The interaction temperature-darkening inhibitors (Table 5) did show that there is no significant difference ($p \leq 0.05$) among control samples and those treated with mixture 3ES1AC, and in these at lower temperature greater brightness was obtained, these results coincide with those reported by Martínez-Flores *et al.* (2008) who found that refrigeration delays loss of brightness in huitlacoche. However, in samples treated with darkening inhibitors (1SE+1CA) it was found greater brightness at greater temperature.

La interacción temperatura-inhibidores de oscurecimiento (Cuadro 5) mostró que no hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las muestras testigo y las tratadas con la mezcla 3ES1AC, y en estas a menor temperatura se obtuvo mayor luminosidad, estos resultados coinciden con los reportados por Martínez-Flores *et al.* (2008), quienes encontraron que la refrigeración retarda la pérdida de luminosidad en huitlacoche. Sin embargo, en las muestras tratadas con inhibidores de oscurecimiento (1ES+1AC) se encontró mayor luminosidad a mayor temperatura.

Cuadro 5. Efecto de la interacción temperatura-inhibidores de oscurecimiento en la luminosidad de *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado, después de 28 días de almacenamiento.

Table 5. Effect of interaction temperature-darkening inhibitors in brightness of *Pleurotus ostreatus* minimumly processed, after 28 days of storage.

Temperatura (°C)	Inhibidores de oscurecimiento		
	ST	3ES1AC	1ES1AC
2±1	61.893 aA ^z	62.377 abB	61.919 aB
5±1	65.209 bA	60.866 bA	62.736 aA
17±2	62.893 abA	63.492 aAB	67.125 bB

^z= letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales, y letras mayúsculas iguales, en sentido de fila, son estadísticamente iguales por la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$); ST=sin tratamiento; 3ES1AC=3% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico; 1ES1AC= 1% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico.

Intensidad respiratoria

La combinación de los factores película y temperatura presentados en el Cuadro 6, mostraron que las diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) para la producción de CO₂ se debieron a la presencia o ausencia de película plástica, independientemente de la temperatura; encontrando los menores niveles en intensidad respiratoria en las setas almacenadas en atmósferas modificadas. Estos resultados coinciden con los reportados por Ares *et al.* (2006), quienes encontraron que mediante empaques de polipropileno y polietileno las concentraciones de CO₂ dentro del empaque aumentaban y eso inducía una disminución en la respiración en hongo shitake (*Ganoderma lucidum*).

La reducción en la intensidad respiratoria de los productos mediante el uso de atmósferas modificadas, se debió que con esta técnica se reduce el metabolismo, disminuyéndose el consumo de sustratos, producción de CO₂, consumo de O₂ y desprendimiento de calor (Romojaro *et al.*, 1996); a través de empaques plásticos se modifica el ambiente interno de los productos, de tal manera que una reducción en los niveles de oxígeno, genera una reducción proporcional en la intensidad respiratoria de los productos (Cliffe y O’Beirne, 2007).

Breathing intensity

Combination of factors film and temperature presented in the Table 6, showed that differences statistically significant ($p \leq 0.05$) for CO₂ production were due to the presence or absence of plastic film, independently of temperature; finding smallest levels in breathing intensity in mushrooms stored in modified atmospheres. These results coincide with those reported by Ares *et al.* (2006) who found that by means of polypropylene and

polyethylene packings CO₂ concentrations inside packing increased and that induced a decrease in breathing in shiitake mushroom (*Ganoderma lucidum*).

Cuadro 6. Efecto de la interacción película-temperatura en la intensidad respiratoria (mLCO₂ kg⁻¹ h⁻¹) de *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado, después de 28 días de almacenamiento.

Table 6. Effect of interaction film-temperature in breathing intensity (mLCO₂ kg⁻¹ h⁻¹) of *Pleurotus ostreatus* minimumly processed, after 28 days of storage.

Película	Temperatura		
	2 ±1	5 ±1	17 ±2
SP	195.01 aA	219.09 aA	144.24 aA
CP	97.07 bA	81.45 bA	101.22 bA

^z= letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales, y letras mayúsculas iguales, en sentido de fila, son estadísticamente iguales por la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$); SP= sin película; CP= con película CP-9250®.

Reduction in breathing intensity of products by means of modified atmospheres, was due to that with this technique decreases metabolism, diminishing substrates consumption, CO₂ production, O₂ consumption and heat

Además de la temperatura y las películas plásticas, influyeron sobre la respiración del producto los inhibidores de oscurecimiento, encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las setas tratadas con 1% de eritorbato de sodio + 1% de ácido cítrico, y las setas sin tratamiento; siendo las setas tratadas con la mezcla de inhibidores de oscurecimiento 1% eritorbato de sodio + 1% de ácido cítrico, cuyo pH de la solución fue de 3.18, en la que se presentó la menor respiración.

Estos resultados pueden atribuirse a que en condiciones de bajo pH, se generan menores niveles de oxígeno dentro del empaque (Quevedo *et al.*, 2005) y con esto disminuye la respiración. Por otra parte las muestras tratadas con la mezcla 3% de eritorbato de sodio + 1% de ácido cítrico, cuyo pH de la solución fue de 4.06, y la muestra testigo no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del factor inhibidores de oscurecimiento sobre la intensidad respiratoria ($\text{mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado después de 28 días de almacenamiento.

Table 7. Effect of factor darkening inhibitors on breathing intensity ($\text{mLCO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) in *Pleurotus ostreatus* minimally processed after 28 days of storage.

Factor	Niveles	
Inhibidores de oscurecimiento	ST	143.17 a
	3ES1AC	134.23 ab
	1ES1AC	106.71 b

^z=letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales, según la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$); 3ES1AC= 3% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico; 1ES1AC= 1% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico.

Actividad de la enzima polifenoloxidas (EC 1.10.3.1)

En la interacción película-temperatura (Cuadro 8) se observó que las setas a 2 °C no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la presencia o ausencia de empaque; sin embargo, las setas almacenadas a 5 y 17 °C sí presentan diferencias con relación al empaque.

También se encontró que las setas testigo presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la actividad de la enzima PPO, en cada una de las temperaturas de almacenamiento (2, 5 y 17 °C); no obstante, las setas almacenadas con película plástica no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la actividad de la enzima PPO entre las temperaturas de

release (Romojaro *et al.*, 1996); through plastic packings is modified internal atmosphere for products, in such a way that a reduction in oxygen levels, generates a proportional reduction in the breathing intensity of products (Cliffe and O'Beirne, 2007).

Besides temperature and plastic films, darkening inhibitors influenced breathing of product, being significant differences ($p \leq 0.05$) among the mushrooms treated with 1% of sodium erythorbate + 1% of citric acid, and mushrooms without treatment; being mushrooms treated with mixture of darkening inhibitors of 1% sodium erythorbate + 1% of citric acid whose pH of the solution was of 3.18, in which the smallest breathing was presented.

These results can be attributed to that under conditions of low pH, smaller oxygen levels are generated inside packing (Quevedo *et al.*, 2005) and with this breathing diminishes. On the other hand, samples treated with mixture 3% of sodium erythorbate + 1% of citric acid whose pH of solution was of 4.06, and control sample did not present significant differences ($p \leq 0.05$) (Table 7).

Activity of enzyme polyphenol oxidase (EC 1.10.3.1)

In interaction film-temperature (Table 8) it was observed that mushrooms at 2 °C did not present significant differences ($p \leq 0.05$) between presences or absence of packing; however, mushrooms stored at 5 and 17 °C did present differences with relationship to packing.

Cuadro 8. Efecto de la interacción película-temperatura sobre la actividad de la enzima polifenoloxidas (UI g^{-1} de peso fresco) en *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado, después de 28 días de almacenamiento.

Table 8. Effect of the interaction film-temperature on activity of enzyme polyphenol oxidase (UI g^{-1} of fresh weight) in *Pleurotus ostreatus* minimally processed, after 28 days of storage.

Película	Temperatura (°C)		
	2 ±1	5 ±1	17 ±2
SP	2.22 aA ^z	4.665 aB	6.789 aC
CP	1.756 aA	1.67 bA	4.005 bB

^z= letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales, y letras mayúsculas iguales, en sentido de la fila, son estadísticamente iguales, según la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$); SP= sin película; CP= con película CP-9250®.

2 y 5 °C con respecto a las muestras almacenadas a 17 °C; lo cual puede atribuirse a que el frío disminuyó las actividades metabólicas, entre ellas la actividad de la PPO (Wiley, 1997).

Resultados similares fueron presentados por Mohapatra *et al.* (2007), quienes encontraron que los champiñones (*Agaricus* spp.) almacenados a bajas temperaturas mantienen bajos niveles de actividad enzimática por más tiempo y por tanto tienen menor susceptibilidad a desarrollar oscurecimiento.

En la interacción película-inhibidores de oscurecimiento (Cuadro 9), se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las setas almacenadas con y sin película plástica para cada uno de los tratamientos con inhibidores de oscurecimiento usados (1% ES+1% AC, 3% ES+1% AC y testigo). De igual manera, se encontró que en las muestras almacenadas sin empaque, tratadas con 1% ES+1% AC y las muestras testigo se comportan igual estadísticamente ($p \leq 0.05$), presentando la mayor actividad enzimática.

Con relación a las setas almacenadas con películas plásticas, estas fueron diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$) en cada uno de los tratamientos de inhibidores de oscurecimiento aplicados (1% ES+1% AC, 3% ES+1% AC y testigo), observándose que el tratamiento 3% ES+1% AC, produjo la menor actividad enzimática respecto al testigo, lo cual pudiera deberse que el eritorbato de sodio en solución es fácilmente oxidado si se expone al aire, pero es muy estable en atmósferas modificadas, por lo que tiene un amplia aplicación en éstas (Cubero *et al.*, 2002).

La interacción temperatura-inhibidores de oscurecimiento (Cuadro 10), mostró que las setas almacenadas a 2 y 5 °C con y sin tratamiento de inhibidores de oscurecimiento, no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la actividad enzimática, pero si resultaron diferentes a las setas almacenadas a 17 °C. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las setas tratadas con 1% ES+1% AC y las muestras testigo; pero ambas resultaron diferentes a las setas tratadas con 3% ES+1% AC, las cuales presentaron la menor actividad de la enzima PPO durante el tiempo total de almacenamiento.

It was also found that control mushrooms presented significant differences ($p \leq 0.05$) in activity of enzyme PPO, in each one of storage temperatures (2, 5 and 17 °C); nevertheless, mushrooms stored with plastic film present significant differences, ($p \leq 0.05$) in activity of enzyme PPO between temperatures of 2 and 5 °C with regard to samples stored at 17 °C; which can be attributed to that freeze diminished metabolic activities, among them PPO activity (Wiley, 1997).

Similar results were presented by Mohapatra *et al.* (2007) who found that mushrooms (*Agaricus* spp.) stored at low temperatures maintain low levels of enzymatic activity for more time and therefore they have smaller susceptibility to develop darkening.

In the interaction film-darkening inhibitors (Table 9), there were significant differences ($p \leq 0.05$) among mushrooms stored with and without plastic film for each one of treatments used with darkening inhibitors (1% SE+1% CA, 3% SE+1% CA and control). In a same way, it was found that in samples stored without packing, treated with 1% SE+1% CA and control samples behave equally statistically ($p \leq 0.05$), presenting greatest enzymatic activity.

Cuadro 9. Efecto de la interacción película-inhibidores de oscurecimiento sobre la actividad de la enzima polifenoloxidasa (UI g⁻¹ de peso fresco) en *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado, después de 28 días de almacenamiento.

Table 9. Effect of interaction film-darkening inhibitors on activity of enzyme polyphenol oxidase (UI g⁻¹ of fresh weight) in *Pleurotus ostreatus* minimumly processed, after 28 days of storage.

Película	Inhibidores de oscurecimiento		
	ST	3ES1AC	1ES1AC
SP	5.155 aA ^z	1.767 aB	5.183 aA
CP	3.919 bA	0.789 bB	1.612 bC

^z=letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales, y letras mayúsculas iguales, en sentido de la fila, son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$); SP= sin película; CP= con película CP-9250®; ST= sin tratamiento; 3ES1AC= 3% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico; 1ES1AC= 1% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico.

With regards to mushrooms stored with plastic films, they were statistically different ($p \leq 0.05$) in each one of treatments of applied darkening inhibitors (1% SE+1% CA, 3% SE+1% CA and control), being observed that treatment 3% ES+1% CA,

Cuadro 10. Efecto de la interacción temperatura-inhibidores de oscurecimiento, sobre la actividad de la enzima polifenoloxidasas (UI g⁻¹ de peso fresco) en *Pleurotus ostreatus*, mínimamente procesado después de 28 días de almacenamiento.

Table 10. Effect of interaction temperature-darkening inhibitors, on activity of enzyme polyphenol oxidase (UI g⁻¹ of fresh weight) in *Pleurotus ostreatus*, minimumly processed after 28 days of storage.

Temperatura (°C)	Inhibidores de oscurecimiento		
	ST	3ES1AC	1ES1AC
2±1	2.984 aA ^z	0.616 aB	2.058 aA
5±1	3.724 aA	1.033 aB	2.705 aC
17±2	7.622 bA	2.039 bB	5.992 bA

^z= letras minúsculas iguales, en sentido de columna, son estadísticamente iguales, y letras mayúsculas iguales, en sentido de fila, son estadísticamente iguales, según la prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$); ST= sin tratamiento; 3ES1AC= 3% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico; 1ES1AC= 1% eritorbato de sodio + 1% ácido cítrico.

CONCLUSIONES

Finalmente se concluye que *Pleurotus ostreatus* presentó una reducción en la intensidad respiratoria y pérdida de peso, al utilizar la película plástica (CP-9250®). Asimismo, las setas tratadas con la mezcla de inhibidores de oscurecimiento 3% de eritorbato de sodio + 1% de ácido cítrico, presentaron la menor actividad de la enzima polifenoloxidasas y no muestran cambios en el parámetro de luminosidad después del almacenamiento. Con base en lo anterior se considera que es posible la presentación de *Pleurotus ostreatus* mínimamente procesado como una opción más para su comercialización, considerando una baja temperatura de almacenamiento (2 °C) y el inhibidor del oscurecimiento.

produced smallest enzymatic activity regards control, which could be due that sodium erythorbate in solution is easily rust if exposed to air, but is very stable in modified atmospheres, therefore has a wide application in these (Cubero *et al.*, 2002).

The interaction temperature-darkening inhibitors (Table 10), showed that mushrooms stored at 2 and 5 °C with and without treatment of darkening inhibitors, did not present significant differences ($p \leq 0.05$) in enzymatic activity, but they were different to mushrooms stored at 17 °C. On the other hand, there were no significant differences ($p \leq 0.05$) among mushrooms treated with 1% SE+1% CA and control samples; but both were different to mushrooms treated with 3% SE+1% CA which presented smallest activity in enzyme PPO during storage.

LITERATURA CITADA

- Ancona, M.; Méndez, L.; Novelo, A. y Martínez, V. 2005. Estimación de la demanda de *Pleurotus ostreatus* en el estado de Yucatán. Universidad Autónoma de La Laguna. Rev. Mex. Agronegocios. 9(17):1-12.
- Ares, G.; Parentelli, C.; G'amaro, A.; Lareo, C. and Lemab, P. 2006. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. Postharvest biology and technology. 41:191-197.
- Cliffe, V. and O'Beirne, D. 2007. Effects of gas atmosphere and temperature on the respiration rates of whole and sliced mushrooms (*Agaricus bisporus*): implications for film permeability in modified atmosphere packages. Food Engineering and Physical Properties. 72(4):197-204.

CONCLUSIONS

Finally it is concluded that *Pleurotus ostreatus* presented a reduction in breathing intensity and weight loss, when using plastic film (CP-9250®). Also, mushrooms treated with mixture of darkening inhibitors 3% of sodium erythorbate + 1% of citric acid, presented smallest activity in enzyme polyphenol oxidase and they do not show changes in parameter of brightness after storage. With base in the above mentioned is considered that it is possible presentation of *Pleurotus ostreatus* minimumly processed as an additional option for its marketing, considering low storage temperature (2 °C) and darkening inhibitor.

End of the English version



- Cubero, N.; Monferrer, A. y Villalta, J. 2002. Aditivos alimentarios. Editorial Mundi Prens. España. 86-105 pp.
- González, G.; Cuamea, F. y Gardea, A. 2005. Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. CIAD. México. 558 p.
- Lasanthi, J. and Chamara, I. 2005. Extension of postharvest life of oyster mushroom by modified atmosphere packaging technique. Food Engineering Physics Properties. 70(9):573-578.
- Martínez-Carrera, D.; Morales, P.; Sobal, M.; Bonilla, M. y Martínez, W. 2007. México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles. *In: el cultivo de setas Pleurotus spp. en México.* Sánchez, J.; Martínez, D.; Mata, G. y Leal, H. (eds.). ECOSUR-CONACYT. D. F., México. 20 p.
- Martínez-Flores, A.; Corrales-García, J.; Espinoza-Solares, T.; García-Gatica, P. y Villanueva-Verdusco, C. 2008. Cambios poscosecha del hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* (D. C.) Corda). Revista Chapingo. Serie Horticultura. 14(3):339-346.
- Mendoza-Wilson, A. y Báez-Sañudo, R. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. Horticultura Mexicana. 8(2):158-163.
- Mohapatra, D.; Frias, J.; Oliveira, F.; Bira, Z. and Kerry, J. 2007. Development and validation of a model to predict enzymatic activity during storage of cultivated mushrooms (*Agaricus bisporus* spp.). J. Food Eng. 86:39-48.
- Nichols, R. and Hammond, B. 1973. Storage of mushrooms in pre-packs: the effect of changes in carbon dioxide and oxygen on quality. J. Sci. Food Agric. 24:1371-81.
- Quevedo, K.; Villegas, M.; González, H. y Rodríguez, A. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado. Efecto de temperatura e inhibidores del oscurecimiento. Rev. Fitotec. Mex. 28(3):261-270.
- Romero, F.; Riquelme, F.; Pretel, M.; Martínez, G.; Martínez, C.; Lozano, P.; Segura, P. y Luna, P. 1996. Nuevas tecnologías de conservación de frutas y hortalizas: atmósferas modificadas. Mundi Prens. España. 221 p.
- Statistical Analysis System. (SAS/STAT® User's Guide). 1989. Version 6, Cary, NC: SAS Institute Inc. 209-243 pp.
- Tano, K.; Arul, J.; Doyon, G. and Castaigne, F. 1999. Atmospheric composition and quality of fresh mushrooms in modified atmosphere packages as affected by storage temperature abuse. J. Food Sci. 64(6):1073-7.
- Villaescusa, R. and Gil, M. 2003. Quality improvement of pleurotus mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. Postharvest Biology and Technology. 28:169-179.
- Wiley, R. 1997. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Editorial Acribia. España. 11-13 pp.
- Wills, R.; Graham, D.; Joyce, D. y McGlasson, B. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Editorial Acribia. 2^{da}. Edición. 240 p.