



**Universidad Veracruzana**

**Instituto De Ciencias Básicas**

**Cambios fisicoquímicos y de compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C**

**Tesis**

**Para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Alimentarias**

**Presenta:**

**I.I.A. Alicia Guadalupe Morales Mena Brito**

**Directores de Tesis:**

**Dra. Elia Nora Aquino Bolaños**

**Dr. Rigoberto Gaitán Hernández**

**Xalapa de Enríquez, Veracruz, México**

**Enero, 2016**



La presente tesis titulada

**"Cambios fisicoquímicos y de compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C".**

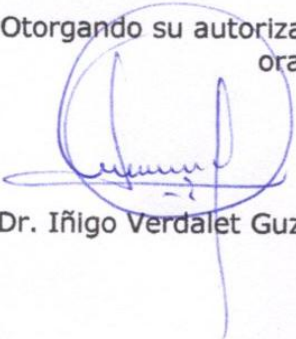
Realizada por la

**I.I.A. ALICIA GUADALUPE MORALES MENA BRITO**


Ha sido aprobada por el comité de evaluación de tesis, y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestro en Ciencias Alimentarias**

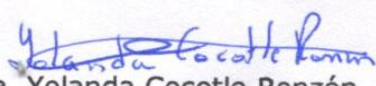
Otorgando su autorización como jurado para ser presentada y defendida oralmente el 22 de enero de 2016.



Dr. Iñigo Verdalet Guzmán



Dra. María del Socorro Herrera Meza



Dra. Yolanda Cocotle Ronzón

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante mis estudios de maestría.

Al Instituto de Ciencias Básicas, por permitirme culminar mis estudios de maestría y trabajo experimental.

A la Doctora Elia Nora Aquino Bolaños, por su conocimiento, orientación, su manera de trabajar y su compromiso en el presente trabajo.

Al Doctor Rigoberto Gaitán Hernández, por su asesoría, paciencia y la confianza que brindo en mí. Conocerlo y convivir con usted durante éstos dos años han influido positivamente en mi formación. Muchas gracias Doctor!

Al Instituto de Ecología S.A, por aceptarme como tesista y permitirme realizar la etapa experimental en sus instalaciones. Un sincero agradecimiento a la Maestra Rosalía Pérez Merlo y al Biólogo Carlos Ortega por la asesoría brindada.

A mi comité tutorial representado por la Doctora Yolanda Cocotle Ronzón, Socorro Hernández Meza y el Doctor Iñigo Verdalet Guzmán por las valiosas aportaciones al presente trabajo.

A Gilberto Teta Santos, por todo tu apoyo, compromiso, paciencia y amistad. Gracias por ayudarme a concluir la etapa experimental y sobre todo por los bonitos momentos que pasamos durante el proceso.

A mi compañero de generación M.C.A. Marco Antonio Barradas Zavaleta y a mis compañeros de servicio social: Jackeline, Judith, Teresita, Francisco, Alejandra, Ramón, por su ayuda en los análisis experimentales. Muchas gracias!!

## DEDICATORIAS

A mis amores, mis padres, por su amor y confianza...  
Gracias Padre, por enseñarme a luchar por mis sueños.  
Gracias Madre, por tu enorme paciencia y motivarme en cada momento.  
Gracias por apoyarme en todas las decisiones que he tomado. Los amo!

A mi esposo Javier, por ser mi inspiración. Gracias por acompañarme en este  
viaje y nunca soltarme la mano. Te amo!

A mi hermana Sara, por escucharme y por aconsejarme en los momentos que  
más los necesité, pero sobre todo por ser mí mejor amiga. Te quiero!

A mi hermano Jorge por todo tu amor y por siempre ser un ejemplo y guía. Te  
quiero!

A mi hermano Leonardo, por siempre cuidarme. Y que a pesar de la distancia,  
siempre estas presente en mí corazón y mente. Te quiero!

A mi angelito, mi Tía Raquel por escucharme y cuidarme desde el cielo. Te  
extraño!

## INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN.....	9
SUMMARY.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. MARCO DE REFERENCIA .....	13
2.1 Principales características de los hongos.....	13
2.2 Características morfológicas del género <i>Pleurotus</i> .....	14
2.3 Posición taxonómica del género <i>Pleurotus</i> .....	15
2.4 Producción mundial de hongos comestibles .....	16
2.5 Producción nacional .....	17
2.6 Composición nutrimental del género <i>Pleurotus</i> .....	17
2.6.1 Proteínas y aminoácidos.....	18
2.6.2. Carbohidratos y fibra dietética .....	19
2.6.3 Vitaminas .....	20
2.6.4 Compuestos antioxidantes.....	21
2.7 Uso de germoplasma con propósitos de producción y vida poscosecha	23
2.8 Factores que afectan la vida de anaquel de los hongos comestibles.....	24
2.8.1 Respiración.....	24
2.9 Efectos secundarios del proceso de respiración .....	25
2.9.1 Pérdida de agua .....	25
2.9.2. Oscurecimiento enzimático.....	26
2.9.3. Cambios en la textura .....	26

2.9.4. Pérdida de sustrato respiratorio .....	27
2.10. Manejo Poscosecha .....	27
2.10.1 Almacenamiento a bajas temperaturas .....	28
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	29
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	30
4. 1. Objetivo general .....	30
4.2. Objetivos específicos .....	30
4.3. Hipótesis.....	30
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
5.1. Metodología.....	31
5.2. Cepas .....	32
5.3. Método de cultivo y fructificación.....	32
5.4. Etapa 1: Análisis de los parámetros fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de <i>P. pulmonarius</i> en dos estados de desarrollo.....	33
5.5. Etapa 2: Análisis de los parámetros fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> almacenadas a 2°C .....	34
5.6 Parámetros fisiológicos .....	35
5.6.1 Velocidad de respiración.....	35
5.6.2 Pérdida fisiológica de peso .....	35
5.7 Parámetros fisicoquímicos .....	36
5.7.1 Azúcares totales .....	36
5.7.2 Sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable.....	36

5.7.3	Color.....	37
5.8	Análisis de los compuestos con actividad antioxidante .....	38
5.8.1	Compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante.....	38
5.9	Análisis estadístico.....	39
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	40
6.1	Etapa 1: Parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de <i>Pleurotus pulmonarius</i> (IE-115) en dos estados de desarrollo .....	40
6.1.1	Velocidad de respiración.....	40
6.1.2	Contenido de azúcares totales, acidez titulable y sólidos solubles totales (SST).....	40
6.1.3	Parámetros de color.....	41
6.1.4	Compuestos con actividad antioxidante.....	42
6.2	Etapa 2: Efecto del almacenamiento a 2 °C en los parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante de las cepas parentales de <i>Pleurotus</i> (IE-115, IE-717) e híbridas (IE-917, IE-924). .....	43
6.2.1	Velocidad de respiración.....	43
6.2.2	Pérdida fisiológica de peso .....	45
6.2.3	Azúcares totales .....	46
6.2.4	Acidez titulable.....	48
6.2.5	Sólidos solubles totales (SST) .....	50
6.2.6	Parámetros de color en los carpóforos.....	51
6.2.7	Compuestos fenólicos.....	54
6.2.8	Ácido ascórbico (AA) .....	56
6.2.9	Actividad antioxidante .....	58

7. CONCLUSIONES .....	61
8. RECOMENDACIONES.....	62
9. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	63
10. APÉNDICE.....	73



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del género <i>Pleurotus</i> .....	15
Cuadro 2. Composición de macronutrientes en las principales especies cultivadas del género <i>Pleurotus</i> .....	18
Cuadro 3. Composición de aminoácidos esenciales en diversas especies de <i>Pleurotus</i> .....	19
Cuadro 4. Composición de vitaminas en diversas especies de hongos comestibles.....	20
Cuadro 5. Registro de cepas de <i>Pleurotus</i> spp. utilizadas en el estudio. ....	32
Cuadro 6. Cambios en las características, fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de <i>P. pulmonarius</i> (IE-115), en dos estados de desarrollo. ....	41
Cuadro 7. Parámetro $L^*$ en carpóforos de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C.....	52
Cuadro 8. Parámetro $WI^*$ en carpóforos de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C.....	53
Cuadro 9. Parámetro $a^*$ en carpóforos de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C.....	53
Cuadro 10. Parámetro $b^*$ en carpóforos de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C.....	54
Cuadro A11. Velocidad de respiración y pérdida fisiológica de peso por cepa de <i>Pleurotus</i> spp. durante 12 días de almacenamiento a 2 °C.....	77
Cuadro A12. Velocidad de respiración y pérdida fisiológica de peso por día evaluado en carpóforos de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C.....	77
Cuadro A13. Contenido de azúcares totales, acidez titulable y sólidos solubles totales (SST) por cepa de <i>Pleurotus</i> spp. evaluada durante su almacenamiento a 2 °C.....	78

Cuadro A14. Contenido de azúcares totales, acidez titulable y sólidos solubles totales (SST) por día evaluado en carpóforos de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C.....	78
Cuadro A15. Parámetro de color ( $L^*$ , $WI^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) por cepa de <i>Pleurotus</i> spp. evaluada durante su almacenamiento a 2 °C .....	79
Cuadro A16. Parámetro de color ( $L^*$ , $WI^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) por día evaluado en carpóforos de las especies de <i>Pleurotus</i> almacenados a 2 °C .....	79
Cuadro A17. Compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante por cepa de <i>Pleurotus</i> spp. evaluada durante su almacenamiento a 2 °C.....	80
Cuadro A18. Compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante por día evaluado en carpóforos de las especies de <i>Pleurotus</i> almacenados a 2 °C	80
Cuadro A19. Nivel de correlación entre las variables de respuesta para los carpóforos de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
Figura 1. Partes principales del cuerpo fructífero de <i>Pleurotus</i> . .....	14
Figura 2. Principales países productores de hongos comestibles. ....	16
Figura 3. Estructura química de algunos compuestos fenólicos identificados en hongos comestibles. ....	21
Figura 4. Estructura química de algunos flavonoides identificados en el género <i>Pleurotus</i> . ....	22
Figura 5. Estructura química del ácido ascórbico. ....	23
Figura 7. Esquema del sistema de almacenamiento de hongos frescos a baja temperatura. ....	34
Figura 8. Representación gráfica de los parámetros de color $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ . ....	37
Figura 9. Velocidad de respiración en los carpóforos de las cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C. ....	44
Figura 10. Pérdida fisiológica de peso en los carpóforos de las cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C. ....	46
Figura 11. Contenido de azúcares totales en los carpóforos de las cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C. ....	47
Figura 12. Concentración de ácidos orgánicos en los carpóforos de las cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C. ....	49
Figura 13. Contenido de sólidos solubles totales en los carpóforos de las cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C. ....	51
Figura 14. Color de los cuerpos fructíferos de <i>Pleurotus</i> spp. al día 0. ....	52
Figura 15. Concentración de compuestos fenólicos en los carpóforos de las cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C. ....	55
Figura 16. Concentración de ácido ascórbico en los carpóforos de las cuatro cepas de <i>Pleurotus</i> spp. durante su almacenamiento a 2 °C. ....	57

Figura 17. Actividad antioxidante en los carpóforos de las cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. .... 59

## RESUMEN

Fueron estudiados los cambios en los parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y en compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* durante el almacenamiento a baja temperatura. Se utilizaron dos cepas parentales (IE-115, IE-717) y dos híbridas (IE-917, IE-924). Los carpóforos de *Pleurotus* frescos se almacenaron por 12 días a 2 °C. A los 0, 4, 8 y 12 días de almacenamiento se evaluó la velocidad de respiración de los hongos, la pérdida fisiológica de peso, los azúcares totales, la acidez titulable, los sólidos solubles totales, parámetros de color ( $L^*$ ,  $WI^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), los compuestos fenólicos, el ácido ascórbico y la actividad antioxidante. En todas las cepas la velocidad de respiración al día 12 fue similar ( $60\text{-}57 \text{ mL O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). Los carpóforos de la cepa IE-717 presentaron la menor pérdida fisiológica de peso con 5.8%. Con respecto a los azúcares solubles, la acidez titulable y los sólidos solubles totales, IE-115 registró la mayor concentración al día 8 y el híbrido IE-924 el mayor contenido de azúcares al día 12 de almacenamiento. El valor  $L^*$  resultó ser el parámetro más significativo de color en las carpóforos de las cepas de *Pleurotus*. Los hongos de la IE-115 presentaron el mayor contenido de compuestos fenólicos y ácido ascórbico, durante el periodo de almacenamiento. La actividad antioxidante se incrementó en todos los carpóforos de las cepas, sin embargo, la cepa IE-115 registró la mayor concentración de compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante, independientemente de los días de almacenamiento.

Palabras clave: conservación a baja temperatura, setas, vida poscosecha.

## SUMMARY

Changes in physicochemical parameters and compounds with antioxidant activity in four strains carpophores of *Pleurotus* during low temperature storage were studied. Two parental strains (IE-115, IE -717) and two hybrids (IE-917, IE-924) were used. Fresh fruit bodies of *Pleurotus* were stored for 12 days at 2 ° C. At 0, 4, 8 and 12 days of storage the respiration rate of fungi, physiological weight loss, total sugars, titratable acidity, total soluble solids, color parameters ( $L^*$ ,  $WI^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity were evaluated. In all strains the respiration rate at day 12 was similar (60-57 ml  $O_2$   $kg^{-1}$   $h^{-1}$ ). The fruiting bodies of IE-717 strain had the lowest physiological weight loss 5.8%. Respect to soluble sugars, titratable acidity and total soluble solids, IE-115 had the highest concentration at day 8 and the IE-924 hybrid higher sugar content at day 12 of storage. The  $L^*$  value was the most significant parameter of color in the fruiting bodies of *Pleurotus* strains. IE-115 presented the highest content of phenolics and ascorbic acid during the storage period. The antioxidant activity was increased in all strains carpophores; however, IE-115 had the highest concentration of phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity, regardless of storage days

Key words: storage, low temperature, edible mushroom, postharvest.

## 1. INTRODUCCIÓN

El género *Pleurotus* comprende alrededor de 40 especies diferentes a nivel mundial, entre ellas *P. pulmonarius* y *P. ostreatus*, las cuáles son altamente comercializadas. Actualmente, el género *Agaricus* y *Lentinula* ocupan el primero y segundo lugar de hongos cultivados, el tercer lugar corresponde al género *Pleurotus* (Chang y Miles, 2004; Aida *et al.*, 2009). Sin embargo, el mejor conocimiento de las propiedades nutrimentales y funcionales ha aumentado el interés y consumo por las especies de este género.

Desde el punto de vista nutrimental, *Pleurotus* spp. contiene proteínas, polisacáridos, ácidos grasos esenciales, fibra dietética, minerales y vitaminas (Khan y Tania, 2012). Debido a su propiedades funcionales es considerado un agente anticancerígeno (Tong *et al.*, 2009), antihipercolesterolémico (Khan *et al.*, 2011), hipolipemiente y hepatoprotector (Chen *et al.*, 2012).

A nivel comercial, los carpóforos de *Pleurotus* spp. se consumen mayoritariamente en estado fresco (Ventura *et al.*, 2011), sin embargo, los hongos presentan una alta velocidad de respiración (Fonseca *et al.*, 2002; Farber *et al.*, 2003) y debido a esta característica su degradación poscosecha se produce rápidamente (Mahajan *et al.*, 2008). Se ha reportado que después de un día de almacenamiento a temperatura ambiente, el píleo se expande y se experimentan cambios de color, el estípite se alarga y la firmeza del basidiocarpo disminuye, lo que resulta en la reducción de la vida útil del hongo (Guillaume *et al.*, 2010).

Diversos autores han propuesto el almacenamiento a bajas temperaturas como una alternativa para disminuir el proceso de maduración en diversas especies de hongos comestibles (Mahajan *et al.*, 2008; Mohapatra *et al.*, 2010), sin embargo, no se ha generado suficiente información acerca de los cambios

fisicoquímicos y los compuestos con actividad antioxidante de las especies de *Pleurotus* sometidas bajo esta condición. Por ello, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo estudiar los cambios fisicoquímicos y los compuestos antioxidantes en carpóforos de *Pleurotus pulmonarius* y *P. ostreatus* durante su almacenamiento a 2 °C.



## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Principales características de los hongos

Se estima que existen alrededor de 1.5 millones de especies de hongos, lo que ubica a este reino como el segundo grupo de organismos más diverso en el planeta, sólo después de los insectos (Hawksworth, 2001). Los hongos, tradicionalmente se han definido con base en sus características, como organismos eucarióticos, productores de esporas, sin clorofila, con nutrición heterótrofa, capaces de reproducirse sexual y/o asexualmente, cuyos filamentos usualmente son estructuras somáticas ramificadas conocidas como hifas y comúnmente están rodeados por una pared celular rígida (Guzmán *et al.*, 1993; Alexopoulos *et al.*, 1996).

Su reproducción es asexual y sexual de tipos muy diversos según los casos pero, generalmente, con la producción de esporas móviles (planosporas) o inmóviles y de pared a veces muy gruesa (aplanosporas) y, con frecuencia, producidas en fructificaciones más o menos sencillas o complejas (Herrera y Ulloa, 1990).

El tipo más común de hongos es en forma de paraguas con píleo (sombrero) y estípite (tallo) y otras especies tienen adicionalmente un anillo o volva, o ambos. La estructura que se conoce como hongo es en realidad solo el cuerpo fructífero del hongo. La parte vegetativa, llamada micelio, comprende un sistema de ramificaciones en forma de hilo, que crecen a través del suelo, sustrato, madera o cualquier material lignocelulósico en donde el hongo crece. Después de un período de crecimiento y bajo condiciones favorables de fructificación, el micelio produce un cuerpo fructífero, al cual se llama hongo (Chang y Miles, 2004).

Debido a que carecen de la capacidad para realizar el proceso de fotosíntesis, los hongos requieren de algún tipo de materia orgánica para desarrollarse. La obtención de nutrientes es de tipo absorbente y se efectúa directamente por ósmosis (Herrera y Ulloa, 1990), para esto secretan enzimas sobre el sustrato donde se encuentran, lo degradan en sustancias simples y absorben los nutrimentos necesarios para su desarrollo (Sánchez y Royse, 2001).

## 2.2 Características morfológicas del género *Pleurotus*

*Pleurotus* spp. presenta un estípite que es más lateral que céntrico, por lo que su desarrollo se da en forma de una ostra u oreja. Las principales partes del cuerpo fructífero de *Pleurotus* spp., se observan en la Figura 1.

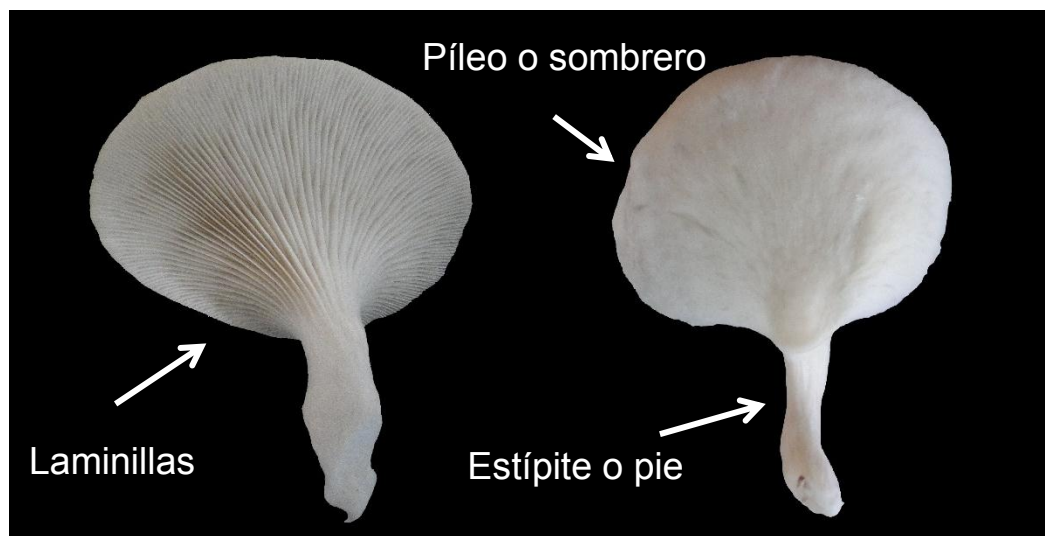


Figura 1. Partes principales del cuerpo fructífero de *Pleurotus*.

**Píleo o sombrero:** Puede medir entre 5 y 12 cm de diámetro, su color es muy variable, de negro violáceo, pardo ceniciento, gris, amarillo, blanco a rosa, según la especie. Sus laminillas son decurrentes, anastomosadas en la base, anchas, blancas, rosas y algunas veces amarillas.

**Estípite o pie:** Es corto, excéntrico o lateral, engrosado gradualmente hacia el lado del sombrero o píleo, algunas veces no se presenta. Generalmente mide alrededor de 2 cm de largo, 1-2 cm de grosor y es de color blanquecino.

**Laminas o himenio:** Son de color lila o crema, elipsoide con un tamaño promedio de  $9.5 \times 3.5 \mu\text{m}$  (Guzmán, 1990).

### 2.3 Posición taxonómica del género *Pleurotus*

El Cuadro 1 presenta la clasificación taxonómica del género *Pleurotus*.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del género *Pleurotus*

<b>Taxonomía del género <i>Pleurotus</i></b>	
Reino	Fungi
División	<i>Basidiomycotina</i>
Clase	<i>Homobasidiomycete</i>
Subclase	<i>Hymenomicete</i>
Orden	<i>Agaricales</i>
Familia	<i>Tricholomataceae</i>
Género	<i>Pleurotus</i>

Fuente: Sánchez y Royse (2001).

## 2.4 Producción mundial de hongos comestibles

El cultivo empírico de los hongos comestibles del género *Pleurotus* tuvo sus inicios en Alemania, alrededor de 1917, empleando micelio silvestre para la inoculación de troncos. Sin embargo, el primer cultivo a gran escala utilizando troncos como sustrato sólo fue posible hasta 1969 en Hungría. A partir de entonces, el cultivo de *Pleurotus* spp. a pequeña y gran escala se ha desarrollado rápidamente en diversas partes del mundo (Mora y Martínez-Carrera, 2007).

En las últimas décadas, la producción mundial de hongos comestibles ha mostrado un fenomenal crecimiento: de 1980 al 2000, la producción aumentó al doble, de 1, 103,804 a 2, 588,568 ton (Ravi y Siddiq, 2011) y al 2012 la producción mundial de hongos fue de 20 millones de ton (Li, 2012). China (46.3%) y EUA (10.5%) aportan más de la mitad de la producción mundial (Figura 5).

Actualmente, el champiñón (*Agaricus bisporus*) ocupa el primer lugar, tanto *Pleurotus* spp. como el Shiitake (*Lentinula edodes*) compiten por el segundo y tercer lugar en la producción comercial de hongos a nivel mundial (Mora y Martínez-Carrera, 2007).

México es el mayor productor de hongos comestibles de toda Latinoamérica y seguido por Brasil (7.7%) y Colombia (5.2%) (Martínez-Carrera *et al.*, 2010).

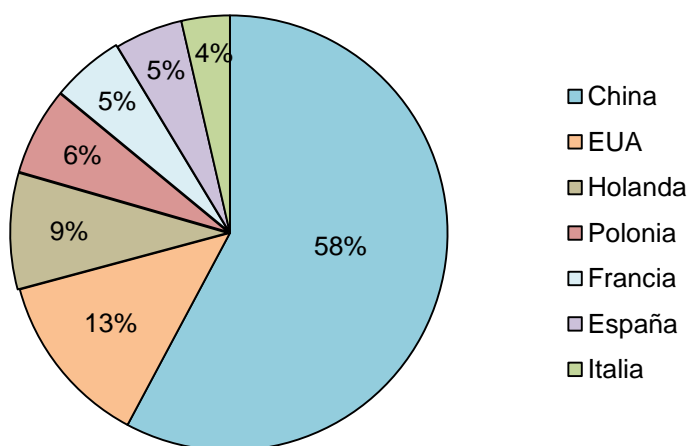


Figura 2. Principales países productores de hongos comestibles (FAOSTAT, 2009).

## 2.5 Producción nacional

En México, el cultivo de hongos se ha realizado durante más de 70 años (Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990; Martínez-Carrera, 2002). El inicio del cultivo de *Pleurotus* spp. inició en 1974 en Cuajimalpa, D.F., dentro de las instalaciones de “Hongos de México, S.A. de C.V.” (Martínez-Carrera *et al.*, 1991).

Actualmente, el volumen de producción anual de hongos comestibles frescos en México asciende a 62, 374 ton (Martínez-Carrera *et al.*, 2010). Las principales especies cultivadas son *Agaricus bisporus* (champiñón), *Pleurotus* spp. y *Lentinula edodes* (Mata *et al.*, 2012). Es importante señalar que las setas, como se les conoce comercialmente a los hongos del género *Pleurotus*, sólo representan cerca del 4.62% de la producción comercial de hongos comestibles en México (Mora y Martínez-Carrera, 2007).

El cultivo de *Pleurotus* spp. se ha propuesto como una alternativa para resolver la falta de alimento en el sector rural (Martínez-Carrera, 2002). La producción rural tuvo un crecimiento muy importante con las primeras investigaciones en la Sierra Norte del Estado de Puebla. A partir de esta fecha se generaron diversas experiencias exitosas en otras localidades de los estados de Puebla, México, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos, Veracruz, Jalisco, Yucatán, Guerrero, Oaxaca, Querétaro y Chiapas (Martínez-Carrera y López-Martínez de Alva, 2010). Esto produjo el surgimiento de un gran número de módulos de producción en diversas áreas del país (Martínez-Carrera, 2002).

## 2.6 Composición nutricional del género *Pleurotus*

Los hongos del género *Pleurotus* son popularmente consumidos en todo el mundo debido a su sabor, al elevado valor nutricional y a sus propiedades medicinales (Khan y Tania, 2012). Los basidiocarpos de *Pleurotus* spp. se encuentran constituidos por proteínas, minerales, vitaminas y contienen un gran número de aminoácidos esenciales. Además, estos hongos suministran una gran cantidad de carbohidratos, fibra y un contenido significativo de vitaminas y minerales (Sadler, 2003).

La composición nutrimental en los hongos varía en función de diversos factores como la cepa, la composición del sustrato de crecimiento, el método de cultivo, la etapa de desarrollo y parte específica del cuerpo fructífero (Benjamin, 1995).

### 2.6.1 Proteínas y aminoácidos

Los hongos comestibles son considerados una excelente fuente de proteína (Akyüz y Kirbag, 2010). El contenido de proteína cruda en estas especies son (% en peso seco): *Agaricus bisporus* (23.9-34.8%), *Lentinula edodes* (13.4-17.5%), *Pleurotus ostreatus* (10.5-30.4%) y *Volvariella volvacea* (25.9%). Estos valores son doblemente mayores a lo reportado en espárragos y calabaza, así como 4 y 12 veces superiores al de la naranja y manzanas, respectivamente (Chang y Miles, 2004).

Se ha citado que ciertos factores como la especie (Longvah y Deosthale, 1998) y el método de cultivo (Akyüz y Kirbag, 2010) afectan el contenido de proteína cruda en los hongos. Dentro del género *Pleurotus*, las especies con mayor proteína son *P. ostreatus* y *P. sajor-caju* (Khan y Tania, 2012) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de macronutrientes en las principales especies cultivadas del género *Pleurotus* (g 100 g<sup>-1</sup> bs)

Especie	Proteína	Carbohidratos	Lípidos	Fibra	Minerales
<i>P. ostreatus</i>	17-42	37-48	0.5-5	24-31	4-10
<i>P. sajor-caju</i>	16-38	37-40	1-5	22-31	5-9
<i>P. pulmonarius</i>	15-21	40-43	1-5	23-27	8-12
<i>P. eryngii</i>	11-12	39-40	7-8	28-29	4-5

Fuente: Khan y Tania (2012)

Por otra parte, los aminoácidos esenciales que no pueden ser sintetizados por los seres humanos pueden ser suministrados por los hongos. En las especies de *Pleurotus*, los aminoácidos esenciales leucina, valina y lisina se encuentran en mayor proporción y en menor cantidad la metionina (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición de aminoácidos esenciales en diversas especies de *Pleurotus* (mg g<sup>-1</sup> bs)

	<i>P. ostreatus</i>	<i>P. sajor-caju</i>	<i>P. eryngii</i>	<i>P. pulmonarius</i>	<i>P. tuber-regium</i>
Leucina	16.4	14.6	10.8	7.5	28.4
Valina	10.5	10.1	7.4	6.9	33.4
Lisina	11.3	5.8	7.3	9.9	27.4
Isoleucina	9.9	11.2	7.2	5.2	21.1
Treonina	9.4	8.9	6.8	6.1	31.4
Metionina	2.7	2.7	1.7	3.0	4.8
Fenilalanina	11.1	9.2	7.1	3.5	21.9

Fuente: Akindahunsi y Oyetayo, 2006; Oyetayo *et al.*, 2007; Dundar *et al.*, 2008; Patil *et al.*, 2010.

### 2.6.2. Carbohidratos y fibra dietética

Los principales carbohidratos presentes en *P. ostreatus* son el manitol (10.6 mg g<sup>-1</sup> bs), glucosa (3.60 mg g<sup>-1</sup> bs), trehalosa (2.73 mg g<sup>-1</sup> bs) (Yang *et al.*, 2001) y polisacáridos, entre ellos la quitina, los beta-glucanos y los mananos (Cheung, 2010). Los glucanos están presentes con diferentes tipos de enlaces glucosídicos: ramificados ( $\beta$ -glucanos) y lineales ( $\alpha$ -glucanos). Manzi y Pizzoferrato (2000) identificaron los beta-glucanos solubles e insolubles en *P. ostreatus*, reportando un 27.1 y 72.9% (bs), respectivamente. *Pleurotus* spp. contiene un glucano específico llamado pleuran, este compuesto tiene un papel importante en las propiedades medicinales de *Pleurotus* spp., se considera un agente inmunoprotector, hepatoprotector y antimicrobiano (Cheung, 1998; Rajarathnam *et al.*, 1998).

Por otra parte, la fibra dietética es un grupo de carbohidratos no digeribles, se encuentra constituida por ciertos componentes estructurales, entre los que destacan la celulosa, la hemicelulosa y las ligninas (Wang *et al.*, 2014). En comparación a otras fuentes convencionales de fibra, como los cereales, frutas, legumbres y hortalizas, los hongos comestibles son mayormente consumidos por su alto contenido de fibra

(Elleuch *et al.*, 2010; O'shea *et al.*, 2012). Los hongos están constituidos principalmente por fibra insoluble, que incluye a la quitina y los beta-glucanos, y por fibra soluble que representa menos del 10% en peso seco.

El consumo de hongos comestibles como parte de la dieta diaria puede proporcionar fácilmente hasta el 25% de la ingesta dietética recomendada (Cheung, 2010). Se ha demostrado que el consumo de alimentos ricos en fibra produce beneficios para la salud como el mantenimiento y prevención de enfermedades cardiovasculares, mejora la función del aparato digestivo, disminuye la glucosa en sangre y minimiza los niveles altos de colesterol (Theuwissen y Mensink, 2008).

### 2.6.3 Vitaminas

Los hongos comestibles son una buena fuente de vitaminas (Rajarathnam *et al.*, 1986), incluyendo la tiamina (vitamina B<sub>1</sub>), riboflavina (vitamina B<sub>2</sub>), niacina, biotina y ácido ascórbico (vitamina C) (Chang y Miles, 2004).

Se estima que las especies de *Pleurotus* contienen en mayor proporción ácido ascórbico y niacina en comparación a otras especies (Cuadro 4). Estas vitaminas proporcionan un efecto benéfico en la salud: la niacina promueve una piel sana y garantiza el buen funcionamiento del sistema digestivo y nervioso (Patil *et al.*, 2010), el ácido fólico ayuda a prevenir la anemia, la diabetes y la presión arterial alta (Bobek *et al.*, 1991) y ayuda al desarrollo del feto durante el embarazo (Caglarırmak, 2007).

Cuadro 4. Composición de vitaminas en diversas especies de hongos comestibles (mg 100 g<sup>-1</sup> bs)

	Ácido ascórbico	Tiamina	Niacina	Riboflavina	Ácido fólico
<i>P. sajor-caju</i>	111	1.75	60	6.66	1.278
<i>P. pulmonarius</i>	113	1.36	72.9	7.88	1.412
<i>A. bisporus</i>	82	1.14	56.19	4.95	0.933
<i>L. edodes</i>	NI	0.40	11.90	0.90	n.i
<i>V. volvacea</i>	NI	0.32	59.5	2.73	n.i

Fuente: Rajarathnam *et al.*, 1998

NI = no identificada



## 2.6.4 Compuestos antioxidantes

Los hongos se han utilizado ampliamente como alimento durante siglos y se caracterizan por su textura y sabor. Sin embargo, el conocimiento de los hongos como fuente importante de compuestos bioactivos con valor medicinal ha surgido recientemente. Durante la última década diversas especies de hongos han resultado poseer actividad antioxidante significativa (Hearst *et al.*, 2009).

Los hongos comestibles son fuente de carbohidratos como los beta-glucanos, compuestos fenólicos y vitaminas como el ácido ascórbico, estas sustancias han demostrado actuar como agentes antioxidantes (Yim *et al.*, 2010).

Los compuestos fenólicos o polifenoles son compuestos, que poseen anillos aromáticos con uno o más grupos hidroxilo (Apak *et al.*, 2007). Estos pueden actuar como antioxidantes, pueden reaccionar altamente como donadores de hidrógeno o electrones y estabilizan las reacciones de ruptura de cadena (Rice-Evans *et al.*, 1997). Se ha encontrado una correlación positiva entre los polifenoles y la actividad antioxidante en diversas especies de *Pleurotus* (Puttaraju *et al.*, 2006; Chirinang y Intarapichet, 2009).

Existe una gran variedad de compuestos fenólicos que se han identificado en los hongos comestibles, como el ácido gálico, ácido cafeico, quercetina y rutina (Figura 2; Alves *et al.*, 2013).

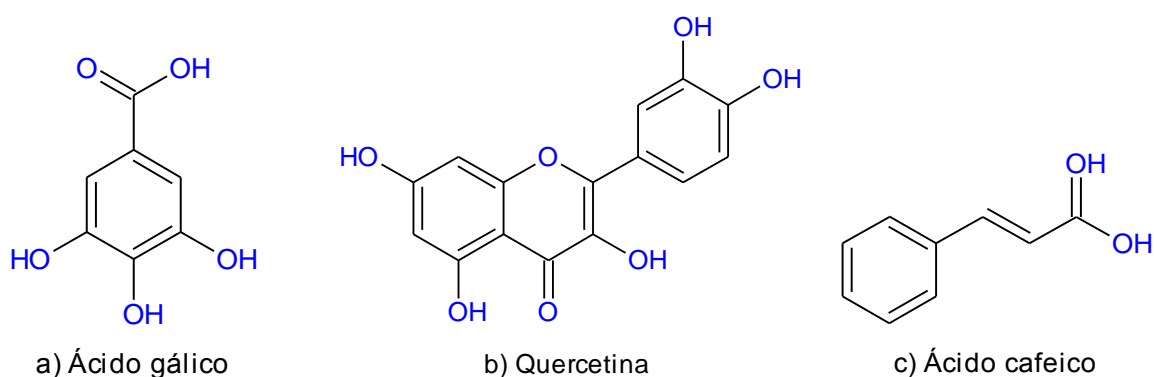


Figura 3. Estructura química de algunos compuestos fenólicos identificados en hongos comestibles (Alves *et al.*, 2013).

Los flavonoides contienen en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos y excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición, lo que les confiere una gran capacidad antioxidante. Por ello, desempeñan un papel esencial en la protección frente a los fenómenos de daño oxidativo, y tienen efectos terapéuticos en un elevado número de patologías, incluyendo la cardiopatía isquémica, la aterosclerosis o el cáncer (Martínez-Flórez *et al.*, 2002).

Los flavonoides identificados en la especie *P. ostreatus* son morina ( $0.25 \mu\text{g g}^{-1}$  bs), quercetina ( $0.25 \mu\text{g g}^{-1}$  bs), naringenina ( $1.25 \mu\text{g g}^{-1}$  bs) y resveratrol ( $0.50 \mu\text{g g}^{-1}$  bs); mientras que en *P. pulmonarius* se han identificado a los flavonoides: rutina ( $0.50 \mu\text{g g}^{-1}$  bs), morina ( $64.50 \mu\text{g g}^{-1}$  bs) y resveratrol ( $0.75 \mu\text{g g}^{-1}$  bs) (Akyüz *et al.*, 2012).

En la Figura 4 se muestra la estructura de los principales flavonoides identificados en *Pleurotus* spp.

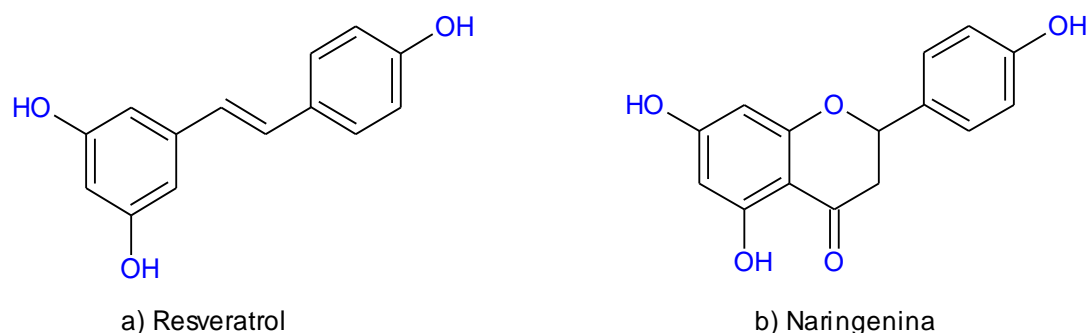


Figura 4. Estructura química de algunos flavonoides identificados en el género *Pleurotus* (Fuente: Akyüz *et al.*, 2012).

El ácido ascórbico es estructuralmente una de las vitaminas menos complejas que se encuentran en las plantas (Kays, 1991). Es un derivado de los carbohidratos, tiene una estructura de cetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-1-gulofuranolactona; contiene un enol entre los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y altamente reductor, por lo que se oxida muy fácilmente (Badui, 2006) (Figura 5).

El ácido ascórbico debido a su actividad antioxidante previene enfermedades crónicas, como el cáncer y enfermedades cardiovasculares (Carr y Frei, 1999).

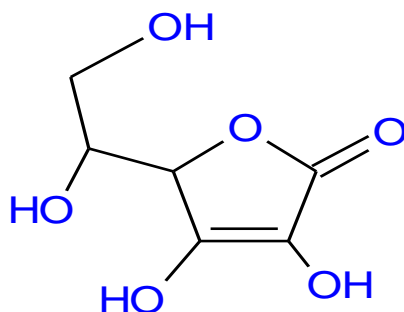


Figura 5. Estructura química del ácido ascórbico.

## 2.7 Uso de germoplasma con propósitos de producción y vida poscosecha

Con el género *Pleurotus* se han realizado una serie de ensayos para identificar y utilizar cepas mejoradas para la industria del cultivo, buscando identificar o incorporar potencial genético para obtener un alto rendimiento en la producción de hongos, así como manipular los parámetros ambientales y prácticas de manejo del cultivo.

Entre las técnicas empleadas para especies de *Pleurotus* se encuentra el entrecruzamiento o hibridación, un método eficiente para obtener una combinación de características deseables (Gaitán-Hernández *et al.*, 2009). Por medio de la recombinación genética se pueden obtener características importantes de cepas, que puedan ser utilizadas en la industria de los hongos comestibles (Chang y Miles, 2004).

En México esta técnica está siendo estudiada en especies de *Pleurotus*, principalmente por el sector académico. Gaitán-Hernández y Salmenes (2008) obtuvieron cepas híbridas de *P. ostreatus* las cuales lograron adaptarse a temperaturas tropicales obteniendo más del 80% de rendimiento. Así mismo, Gaitán-Hernández *et al.* (2009) obtuvieron nuevas cepas de *P. pulmonarius* con características aceptables de producción de fructificaciones para su posible uso industrial.

Actualmente, se están generando nuevas cepas de *Pleurotus* y estudiando su comportamiento poscosecha durante el almacenamiento a bajas temperaturas y generaron una nueva cepa: *P. eryngii*, con una mayor estabilidad durante el almacenamiento (Kim *et al.*, 2013). Sin embargo, no se han estudiado otras especies de *Pleurotus*, ni se ha generado información acerca de los compuestos con actividad antioxidante.

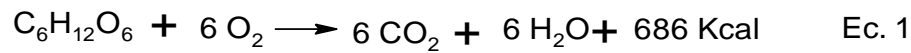
## **2.8 Factores que afectan la vida de anaquel de los hongos comestibles**

La preferencia de los consumidores por los hongos frescos va en aumento cada día y por lo mismo se ha desarrollado investigación sobre la conservación y manejo poscosecha de ellos. Los hongos comestibles frescos son productos altamente perecederos (Sánchez y Royse, 2001) y su vida de anaquel depende en gran medida de su velocidad de respiración (Sveine *et al.*, 1967).

El cuerpo fructífero de los hongos se encuentran constituidos por una capa epidérmica delgada y ésta característica ocasiona cambios físicos, microbianos y daños mecánicos. Los principales cambios asociados con el deterioro de *Pleurotus* spp. durante el almacenamiento poscosecha son los cambios en el color, causado por el oscurecimiento enzimático y la pérdida de textura debido al crecimiento celular, y la pérdida de agua (Villaescusa y Gil, 2003).

### **2.8.1 Respiración**

La respiración es el proceso mediante el cual las reservas orgánicas (carbohidratos, proteínas, ácidos orgánicos) se degradan a productos finales simples con liberación de energía. La respiración representa una serie de reacciones de óxido-reducción donde los distintos sustratos se oxidan a dióxido de carbono. Al mismo tiempo, el oxígeno absorbido de la atmósfera se reduce para formar agua (Kader y Salveit, 2002). La reacción general del proceso de respiración puede ser escrita a través de la siguiente Ecuación 1:



De acuerdo a Kader y Satlveit (2002), la pérdida de las reservas de material orgánico en el producto durante la respiración tiene las siguientes implicaciones:

- Aceleración de la senescencia lo que agota las reservas que mantienen vivo el producto,
- Reducción del valor nutritivo del producto,
- Pérdida de peso seco.

Los hongos comestibles tienen una velocidad de respiración alta comparada con la mayoría de las frutas y hortalizas. Adicionalmente, la cosecha de los mismos, estimula los cambios metabólicos lo que conducen a que la maduración se lleve a cabo más rápidamente y se manifiesta con la expansión y la apertura del píleo, el alargamiento del estípite y el desprendimiento de las esporas. La senescencia produce el deterioro general de las células con la pérdida concurrente de la humedad y aumento del oscurecimiento (Tseng y Mau, 1999).

## **2.9 Efectos secundarios del proceso de respiración**

### **2.9.1 Pérdida de agua**

Las especies de *Pleurotus* están protegidas por una estructura epidérmica delgada y porosa, lo que propicia una rápida pérdida de agua (Ares *et al.*, 2007). La pérdida de agua es un importante proceso fisiológico que afecta a las principales características de calidad en los hongos comestibles frescos, tales como la pérdida de peso, la apariencia y la textura (Singh *et al.*, 2010), también se encuentra relacionada con el oscurecimiento de las laminillas y la apertura del píleo (Ravi y Siqqid, 2011).

Desde el punto de vista comercial, es importante mantener un bajo porcentaje en la pérdida de peso de los hongos frescos durante su almacenamiento poscosecha, debido a que evita pérdidas económicas a los productores (Ares *et al.*, 2007).

### **2.9.2. Oscurecimiento enzimático**

El cambio de color en los hongos comestibles es causado por el oscurecimiento enzimático (Sánchez y Royse. 2001). Entre los factores más importantes que determinan la velocidad de oscurecimiento están la actividad de la enzima polifenoloxidasasa (PPO), la concentración y tipo de compuestos fenólicos presentes, el pH, la temperatura y la disponibilidad del oxígeno en el tejido. Otro factor es el estado de madurez del hongo ya que la senescencia provoca pérdida de la compartimentalización celular lo que permite la unión de sustratos y enzimas, que aceleran el oscurecimiento.

El oscurecimiento enzimático ocurre como efecto de dos mecanismos de oxidación: 1) Activación de la tirosinasa, una enzima del grupo de las polifenoloxidasas y 2) Oxidación espontánea (Jolivet *et al.*, 1998). La tirosinasa oxida a los monofenoles formando di-fenoles, posteriormente se oxidan para formar quinonas, las cuales se polimerizan produciendo melanoidinas, un pigmento que puede ser color marrón, negro o rojo (Xiao *et al.*, 2011).

### **2.9.3. Cambios en la textura**

La textura es un parámetro importante en la calidad de los hongos frescos (López-Briones *et al.*, 1992). La firmeza durante el almacenamiento poscosecha ha sido relacionada con los cambios en la membrana (Beelman *et al.*, 1987). Este cambio se asocia a la degradación de proteínas y polisacáridos, desprendimiento de las esporas, ruptura de la vacuola central y la expansión del espacio intercelular en la superficie del píleo. También se ha observado un incremento en la cohesión celular durante el tiempo de almacenamiento, esto puede deberse al incremento de la quitina y la formación de enlaces covalentes entre la quitina y glucano, lo que origina un incremento de la rigidez en la pared hifal (Zivanovic *et al.*, 2000).

#### **2.9.4. Pérdida de sustrato respiratorio**

##### *Carbohidratos*

Los carbohidratos son biomoléculas que interactúan como formas de reserva de energía almacenada y constituyen gran parte del marco estructural de las células (Kays, 1991). Se utilizan en las principales rutas del proceso de respiración para proporcionar energía y sus productos metabólicos pueden ser utilizados como intermediarios en diversas reacciones. El manitol es el sustrato mayormente utilizado en el proceso de respiración de los hongos (Donker y Braaksma, 1997).

El consumo de carbohidratos en los hongos frescos está correlacionado con la madurez y la temperatura de almacenamiento (Hammond y Nichols, 1975). La cantidad y el tipo de carbohidrato puede ser modificado después del corte, dependiendo de las condiciones antes, durante y después de la cosecha, y el tipo de tratamiento o temperatura de almacenamiento (Maness y Perkins-Veazie, 2003).

##### *Ácido ascórbico*

El ácido ascórbico es muy sensible a la oxidación, especialmente cuando la reacción está catalizada por iones metálicos, como  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ . Asimismo, el calor y la luz aceleran el proceso. Factores como el pH, la concentración de oxígeno y la actividad de agua, tienen gran influencia en su velocidad de reacción (Fennema, 2000). El genotipo y las condiciones de precosecha y poscosecha influyen en la concentración de ácido ascórbico (Lee y Kader, 2000), en los hongos frescos después de cosechados, la concentración de ácido ascórbico disminuye rápidamente. Estas pérdidas son mayores al aumentar la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Kays, 1991).

#### **2.10. Manejo Poscosecha**

La calidad de los hongos es influenciada por diferentes parámetros, como el estado de desarrollo, las condiciones pre y poscosecha y el tipo de sustrato en el que

son cultivados (Cortés *et al.*, 2011). La vida útil de los hongos comestibles durante el almacenamiento depende de su calidad inicial, su conservación durante el almacenamiento, las condiciones externas y los métodos de manipulación (Lee y Kader, 2000).

### **2.10.1 Almacenamiento a bajas temperaturas**

La temperatura de almacenamiento influye en la velocidad con la que ocurren los procesos metabólicos del producto después de la cosecha. A medida que la temperatura de almacenamiento aumenta, ciertos procesos fisiológicos se ven afectados, entre ellos el incremento en la velocidad de respiración con la consecuente degradación de los azúcares e incremento en la velocidad de maduración (Kays, 1991).

La herramienta más importante para incrementar la vida útil de los productos cosechados es la refrigeración con el propósito de frenar el deterioro, sin inducir alteraciones en la maduración u otros cambios perjudiciales, manteniendo el producto en condiciones aceptables durante un periodo tan largo como sea posible (Wills *et al.*, 1998). Diversos autores han propuesto el almacenamiento a bajas temperaturas como una alternativa para disminuir el proceso de maduración en diversas especies de hongos comestibles (Mahajan *et al.*, 2008; Mohapatra *et al.*, 2010). Villaescusa y Gil (2003) propusieron el almacenamiento a 0 °C para conservar los carpóforos de *P. ostreatus*.



### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los carpóforos de *Pleurotus* spp. son consumidos por su alto contenido nutrimental y su uso en medicina alternativa, es considerado un alimento funcional y fuente de proteínas, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas. Pero al ser un alimento comercializado en fresco y altamente perecedero se ve expuesto a la pérdida de calidad sensorial y nutrimental, la disminución en su valor comercial y presenta serias dificultades en su comercialización.

Por otra parte, en el Instituto de Ecología, A.C. se han realizado estudios sobre la obtención de nuevas cepas de *Pleurotus* spp. a través del entrecruzamiento genético, con el objetivo de conseguir cepas con un alto rendimiento productivo y con características que puedan beneficiar a la industria de los hongos comestibles. Sin embargo, no se ha generado información del potencial de vida poscosecha de las especies de *Pleurotus*, ni de los compuestos con actividad antioxidante. Por ello, es importante generar información acerca de las características fisiológicas, fisicoquímicas y los compuestos con actividad antioxidante, así como el comportamiento poscosecha de las especies de *Pleurotus* durante su almacenamiento a 2 °C.

## 4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### 4. 1. Objetivo general

Evaluar los principales cambios fisicoquímicos y fisiológicos en carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C.

### 4.2. Objetivos específicos

- Determinar parámetros fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en los carpóforos de la especie *P. pulmonarius* en dos estados de desarrollo.
- Analizar los cambios fisicoquímicos y fisiológicos en carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante el almacenamiento a 2 °C
- Evaluar el efecto del almacenamiento a 2 °C en el contenido de compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp.

### 4.3. Hipótesis

Los carpóforos de diferentes cepas de *Pleurotus* spp. presentan diferencias en los parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y en los compuestos con actividad antioxidante durante su almacenamiento a 2 °C.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

### 5.1. Metodología

En la Figura 6, se presenta el diagrama general del trabajo donde se desarrollaron los experimentos durante esta investigación.

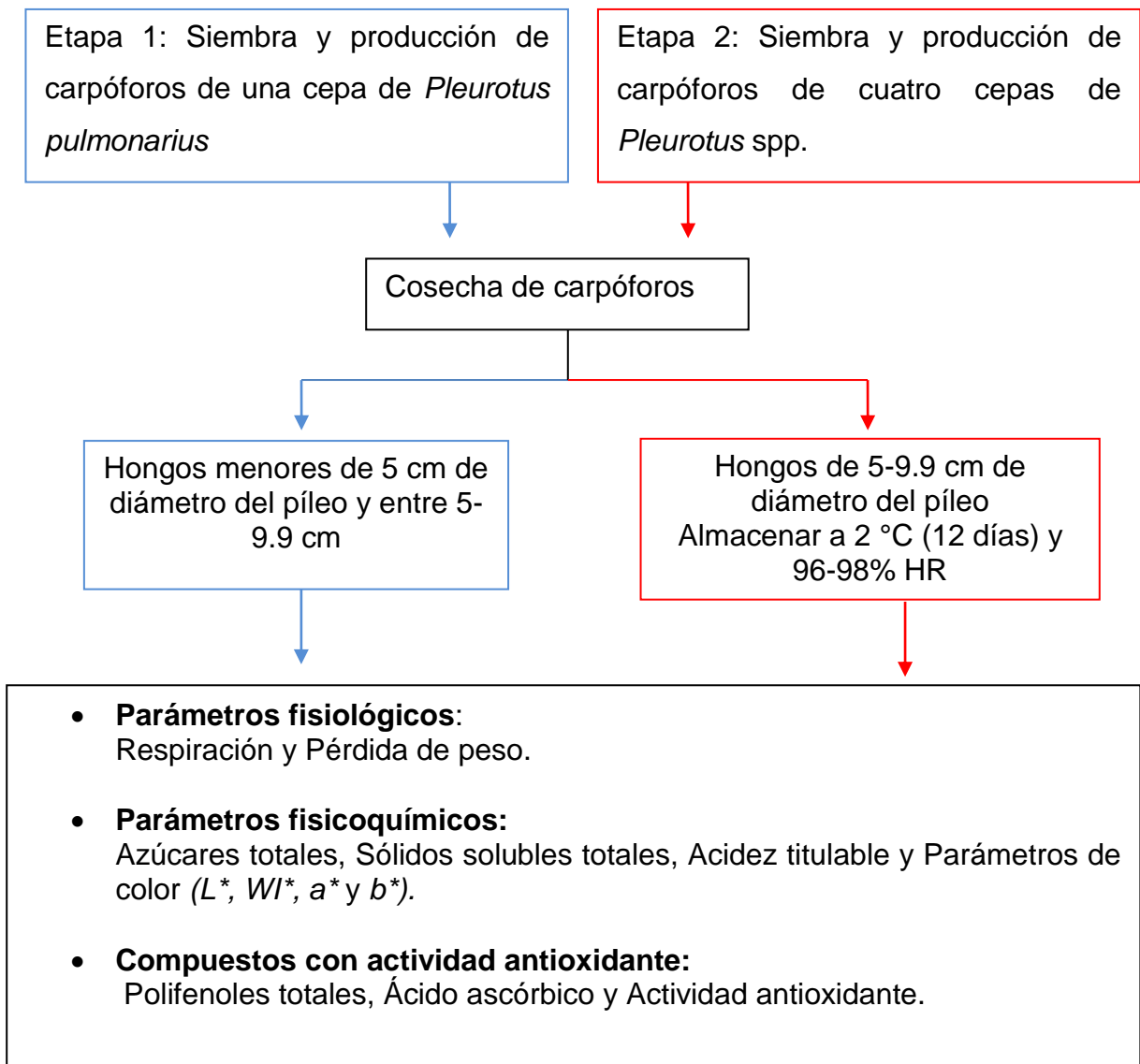


Figura 6. Diagrama general de trabajo.

## 5.2. Cepas

La cepa de *Pleurotus pulmonarius* (IE-115) utilizada en el presente estudio fue adquirida de la empresa Fungi Perfecti (E.U.A.) y la de *Pleurotus ostreatus* (IE-717) fue donada por el Dr. G. Zervakis de Grecia. Las cepas híbridas IE-917 e IE-924 se obtuvieron por entrecruzamiento interespecímen entre IE-115 × IE-717. Todas las cepas se encuentran almacenadas en el Cepario de Hongos del Instituto de Ecología (Xalapa, México) (Cuadro 5). Las cepas se mantuvieron en medio de cultivo de papa, dextrosa y agar (PDA) a 25 °C.

Cuadro 5. Registro de cepas de *Pleurotus* spp. utilizadas en el estudio.

ESPECIE	REGISTRO ORIGINAL	REGISTRO INECOL
<i>Pleurotus pulmonarius</i>	K200	IE-115
<i>Pleurotus ostreatus</i>	LGAM P57	IE-717
Híbrido	(IE-115 × IE-717)	IE-917
Híbrido	(IE-115 × IE-717)	IE-924

## 5.3. Método de cultivo y fructificación

Paso 1. Para la preparación del inóculo se utilizó semilla limpia de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), la cual fue hidratada por inmersión durante 12 h, posteriormente se drenó para quitar el exceso de humedad, hasta un 50%. Se depositaron 150 g de semilla de sorgo en bolsas de polietileno resistente a alta temperatura y se esterilizó a 121 °C durante 90 min. Después de su enfriamiento, se efectuó el proceso de inoculación. Para ello se utilizaron fragmentos de agar con micelio crecido en PDA y se colocaron sobre la semilla de sorgo estéril. Se incubaron en oscuridad a 26 °C, durante 19 días.

Paso 2. Para la producción de las fructificaciones se utilizó paja de cebada (*Hordeum vulgare* L.) como sustrato, la cual fue fragmentada en trozos de 3 a 5 cm de longitud, por medio de una trilladora de forraje eléctrica.

El sustrato se hidrató por 20 min y posteriormente se sometió a un tratamiento térmico por inmersión en agua a 65 °C por 90 min. Al término, bajo condiciones de asepsia, 3 kg de paja húmeda (65%) se colocó en bolsas de polietileno (40 cm x 60 cm), con 15 g de cal y 15 g de yeso, por muestra.

La paja se sembró con inóculo previamente preparado, a una tasa del 5% (p/p). Las muestras se incubaron en oscuridad a 27 °C durante 19 días. Trascurrido el periodo de incubación, las muestras se colocaron en un área de producción, con condiciones favorables de fructificación: luz (12 h luz natural/12 h oscuridad), ventilación forzada (equivalente a 12 cambios/h) para mantener los niveles bajos de CO<sub>2</sub> (< 500 ppm), 85 a 90% de humedad relativa y temperatura controlada. El área para la fructificación de las cepas IE-115 (*P. pulmonarius*) e IE-717 (*P. ostreatus*) se mantuvo a 25 ± 1 °C y el área para las cepas híbridas IE-917 e IE-924, a 18 ± 1 °C.

La cosecha de los carpóforos se realizó en un intervalo de 4 a 7 días a partir del surgimiento de los primordios, cuando el píleo se encontró totalmente desarrollado.

Para el Experimento 1, se cosecharon carpóforos de diámetro del píleo menor a 5 cm y de un tamaño entre 5 a 9.9 cm. Para el Experimento 2, la cosecha fue sólo hongos de 5 a 9.9 cm.

#### **5.4. Etapa 1: Análisis de los parámetros fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de *P. pulmonarius* en dos estados de desarrollo**

Hongos de la primera cosecha se clasificaron de acuerdo al tamaño del diámetro del píleo y se seleccionaron aquellos hongos de tamaño < 5cm y entre 5-9.9 cm, los cuáles se registraron como Grupo 1 y Grupo 2, respectivamente. En ambos grupos se evaluó la velocidad de respiración, los parámetros fisicoquímicos (azúcares totales, acidez titulable y sólidos solubles totales), los parámetros de color ( $L^*$ ,  $WI^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y los compuestos con actividad antioxidante (compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante). Todos los parámetros se describen más adelante.

## 5.5. Etapa 2: Análisis de los parámetros fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* almacenadas a 2°C

Para la etapa de almacenamiento de los hongos frescos a baja temperatura, se seleccionaron carpóforos de primera cosecha con 4 a 7 días de desarrollo y píleo de 5 a 9.9 cm. Los carpóforos se depositaron en jarras de vidrio de 20 L y se hizo pasar un flujo de aire humidificado de 20 L/h a través de éstas, para mantener una concentración de  $\text{CO}_2 < 0.05\%$  (Figura 7). Posteriormente, las jarras se colocaron en una cámara de refrigeración a 2 °C. Se almacenaron por un período de 12 días y cada cuatro días se evaluaron los parámetros fisiológicos, fisicoquímicos, de color y los compuestos con actividad antioxidante, citados previamente.

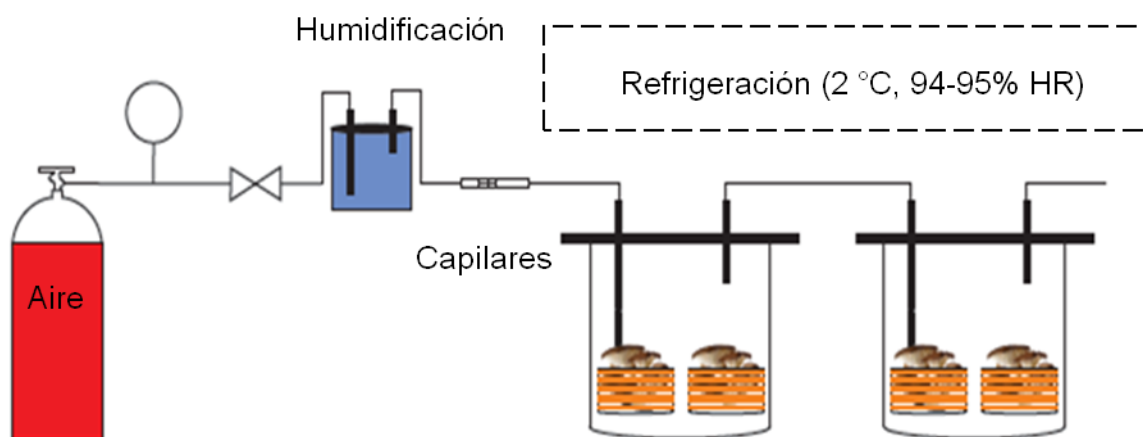


Figura 6. Esquema del sistema de almacenamiento de hongos frescos a baja temperatura.

## 5.6 Parámetros fisiológicos

### 5.6.1 Velocidad de respiración

La velocidad de respiración se analizó utilizando un sistema que consiste en colocar la muestra en un recipiente cerrado durante 1 h. Después de este período se midió el consumo de O<sub>2</sub> con un analizador de gases (PBI Dansensor, Checkpoint, Dinamarca). Se utilizaron 4 repeticiones para ello. La disminución de O<sub>2</sub> se calculó de acuerdo a la Ecuación 2 y el resultado se expresó en mL de O<sub>2</sub> por peso fresco de la muestra (g) y por unidad de tiempo (h).

$$\text{ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{(\Delta \times 10)(V)}{(W)(T)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde  $\Delta$  es la disminución en la concentración de O<sub>2</sub> en el producto después de una hora (%);  $V$  el espacio libre en el contenedor;  $W$  el peso del producto (Kg) y  $T$  el tiempo de almacenamiento (h).

### 5.6.2 Pérdida fisiológica de peso

La pérdida fisiológica de peso se determinó pesando la muestra al inicio y en cada día de muestreo. Las mediciones se realizaron por cuadruplicado. Los cálculos se realizaron de acuerdo a la siguiente ecuación

$$PFP \% = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde  $P_i$  es el peso inicial y  $P_f$  es el peso final.

## 5.7 Parámetros fisicoquímicos

### 5.7.1 Azúcares totales

El extracto de los azúcares totales se realizó utilizando 1 g de muestra, la cual fue homogenizada con 30 mL de etanol 80% (v/v). El extracto se centrifugó durante 20 minutos a 4000 rpm a 10 °C (Hettich zentrifuge, Universal 32R, Alemania) y se almacenó a -25 °C por 24 h. Posteriormente, se analizó el contenido de azúcares totales de acuerdo al método descrito por Dubois *et al.* (1956). En tubos de ensaye se mezclaron 200 µL de extracto, 800 µL de agua destilada, 100 µL de fenol al 80% (v/v) y 5 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Los tubos se colocaron en un baño térmico a 30 °C por 20 min. La absorbancia se leyó a 490 nm con un espectrofotómetro (Jenway, 6305, United Kingdom). El contenido de azúcares se cuantificó con una curva estándar de glucosa 0.01 a 0.12 mg\*mL<sup>-1</sup> (Figura A1). El resultado se expresó como mg equivalente de glucosa g<sup>-1</sup> bs. Se utilizaron mediciones por cuadruplicado. Con fines de comparación con datos publicados por otros autores, se reportó también como mg equivalente de glucosa 100 g<sup>-1</sup> de tejido fresco.

### 5.7.2 Sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable

Para la determinación de los SST y la acidez titulable, se utilizó un extracto de 20 g de hongo fresco y se homogenizaron con 80 mL de agua destilada. Se centrifugó por 20 min a 4000 rpm a 10 °C. Los SST se midieron a 25 °C directamente con un refractómetro digital (Atago, PR-32, Japón). El resultado fue reportado como °Brix. La acidez titulable se evaluó de acuerdo al método de la AOAC (1999), titulando 10 mL de extracto con una solución de NaOH a 0.01 N, utilizando fenolftaleína como indicador. El resultado se calculó de acuerdo a la ecuación 4 y se expresó como mg de ácido cítrico g<sup>-1</sup> bs.

$$\text{Acidez titulable} = \frac{(\text{mL} * N * 0.064)}{V} \quad \text{Ec. 4}$$



Donde  $mL$  es el volumen de la solución de hidróxido de sodio gastado en la titulación de la muestra,  $N$  la normalidad de la solución de hidróxido de sodio, 0.064 el equivalente del ácido cítrico y  $V$  es el volumen del extracto. Los análisis de cada variable se realizaron por cuadruplicado.

### 5.7.3 Color

El color del púleo de los carpóforos se evaluó registrando los parámetros  $L^*$ ,  $Wl^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  con un espectrofotómetro para sólidos (Konica Minolta Sensing Americas, Inc, CM-2600d, EUA). Los valores para el parámetro de luminosidad  $L^*$  y el índice de blancura  $Wl^*$ , se ubican en una escala de 0-100 donde 0 corresponde al color negro y 100 al color blanco. El parámetro  $a^*$  positivo indica las tonalidades de rojo y  $a^*$  negativo las tonalidades de verde, mientras  $b^*$  positivo indica color amarillo y  $b^*$  negativo, color azul (McGuire, 1992) (Figura 8).

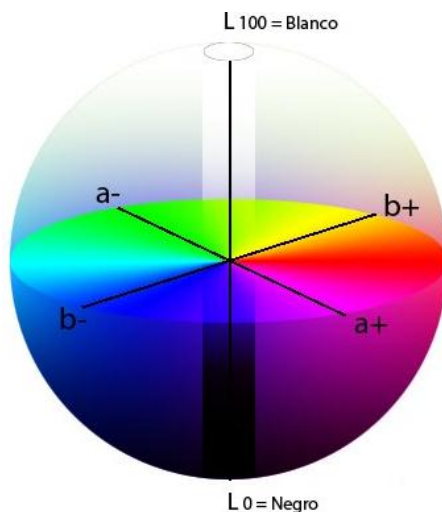


Figura 7. Representación gráfica de los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

El índice de blancura  $WI^*$  se calculó con la Ecuación 5 (Boun y Huxsoll, 1991). El resultado se reportó como el promedio de las mediciones realizadas en cuatro lados (lado superior, izquierdo, derecho y centro) de cada hongo. Se utilizaron mediciones por cuadruplicado en cada variable.

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^{*2} + b^{*2})]^{1/2} \quad \text{Ec. 5}$$

## **5.8 Análisis de los compuestos con actividad antioxidante**

### **5.8.1 Compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante**

Para el análisis de los compuestos con actividad antioxidante se realizó la extracción con 20 g de muestra y 80 mL de agua destilada, se homogeneizó (NutriBullet, NBR-12, E.U.A.), se filtró con 2 capas de manta de cielo y el filtrado se centrifugó a 4 000 rpm a 10 °C durante 20 min. En el sobrenadante se determinaron los compuestos fenólicos, el ácido ascórbico y la actividad antioxidante. Los análisis de cada variable se realizaron por cuadruplicado.

Los compuestos fenólicos se analizaron de acuerdo a lo descrito por Singleton y Rossi (1965). En viales ámbar 200  $\mu\text{L}$  de extracto, se mezclaron 1000  $\mu\text{L}$  de agua destilada y 200  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin- Ciocalteu, se agitó con un vortex y se dejó incubar durante 8 min. Posteriormente se adicionaron 2 000  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 7% (p/v) y 1 600  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Se agitó y se reposó durante 1 h a temperatura ambiente. La absorbancia se leyó en un espectrofotómetro a 750 nm. La cuantificación de los polifenoles totales se realizó con una curva de calibración de ácido gálico de 0.02 a 0.12  $\text{mg mL}^{-1}$  (Figura A2). El resultado se representó como  $\text{mg equivalente ác. gálico g}^{-1}$  bs.

El contenido de ácido ascórbico se determinó por titulación con la sal 2,6-dicloroindofenol (Miller, 2001). Se depositaron 2 mL de muestra, 9 mL de ácido oxálico y 1 mL de HCl 1 N en un matraz Erlenmeyer. Posteriormente fueron titulados con la sal hasta obtener un vire de incoloro a rosa, registrando el volumen gastado. La

cuantificación de ácido ascórbico se realizó con una curva de calibración de 0.005 a 0.02 mg mL<sup>-1</sup> (Figura A3). El resultado se expresó como mg de ácido ascórbico g<sup>-1</sup> bs.

La actividad antioxidante se realizó de acuerdo al método de Brand-Williams *et al.* (1995), para determinar la capacidad de captación de radicales libres. Se tomaron 100 µL de muestra y 2 900 µL del reactivo DPPH\* (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) se mezclaron y se dejaron en reposo por 30 min a 25 °C. Posteriormente se realizó la lectura con un espectrofotómetro a 517 nm. Para cuantificar la actividad antioxidante se utilizó una curva estándar de 0.13 a 0.80 µmol equivalente Trolox mL<sup>-1</sup> (Figura A4). El resultado se reportó como micromol equivalente de Trolox g<sup>-1</sup> bs.

## 5.9 Análisis estadístico

A los valores obtenidos en los parámetros fisicoquímicos y los compuestos con actividad antioxidante evaluados se les aplicó un análisis de varianza (ANOVA) multifactorial. En cuanto a los cambios fisiológicos se llevó a cabo un análisis de varianza de medidas repetidas. La diferencia entre medias se determinó con base en un análisis de comparación múltiple de Duncan, a un nivel de significancia de  $p < 0.01$ . Para todos los valores se utilizó el programa Statistica versión 7.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Etapa 1: Parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de *Pleurotus pulmonarius* (IE-115) en dos estados de desarrollo

#### 6.1.1 Velocidad de respiración

La velocidad de respiración evaluada a temperatura de 25 °C inmediatamente después de la cosecha de *P. pulmonarius* en dos estados de desarrollo, no presentó diferencia entre los grupos ( $p>0.01$ ) (Cuadro 6). Este resultado es diferente a lo reportado por Tseng y Mau (1999) quien indicó que el estado de desarrollo origina un aumento en la velocidad de respiración en los hongos.

#### 6.1.2 Contenido de azúcares totales, acidez titulable y sólidos solubles totales (SST)

El contenido de azúcares solubles, ácidos orgánicos y sólidos solubles totales (SST) no presentaron diferencia entre los grupos de carpóforos evaluados ( $p>0.01$ ). Este resultado es diferente a lo reportado por Minamide y Hammond (1985) quienes indicaron que una gran porción de los azúcares solubles en los cuerpos fructíferos son trasladados desde el micelio y su distribución celular cambia durante el desarrollo de los cuerpos fructíferos.

Mami *et al.* (2014) indicaron que los principales SST presentes en hongos comestibles son los azúcares, proteínas y ácidos orgánicos. La concentración de sólidos solubles totales presente en los grupos evaluados (Cuadro 6) es menor a 5.1 °Brix, reportado en la especie *Pleurotus ostreatus* (Villaescusa y Gil, 2003) y 9.7 ° Brix en *Agaricus bisporus* (Liu *et al.*, 2010).

Por otra parte, los dos grupos de hongos, presentaron una concentración de ácidos orgánicos (Cuadro 6) menor a lo reportado en *P. ostreatus* (28.73 mg ácido cítrico g<sup>-1</sup> bs) y *P. eryngii* (21.37 mg ácido cítrico g<sup>-1</sup> bs) (Barros *et al.*, 2013).

Cuadro 6. Cambios en las características, fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante en carpóforos de *P. pulmonarius* (IE-115), en dos estados de desarrollo.

<b>Parámetros</b>	<b>Grupo 1 (&lt;5 cm)</b>	<b>Grupo 2 (5-9.9 cm)</b>
<b>Respiración</b> (mL CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	146.4 ± 32.24	207 ± 11.409
<b>Azúcares</b> (mg Glucosa 100 g <sup>-1</sup> tejido fresco)	30.7 ± 4.44	34.89 ± 5.44
<b>Acidez titulable</b> (mg Ácido cítrico g <sup>-1</sup> bs)	2.83 ± 0.025	2.85±0.062
<b>Sólidos solubles totales</b> (° Brix)	4.3 ± 0.054	4.3 ± 0.050
<b>L*<sup>#</sup></b>	66.43 ± 1.713	61.13 ± 0.918
<b>WI*<sup>#</sup></b>	62.68 ± 0.64	58.78 ± 0.64
<b>a*<sup>#</sup></b>	1.67 ± 0.15	1.49 ± 0.15
<b>b*<sup>#</sup></b>	16.14 ± 0.40	13.20 ± 0.40
<b>Polifenoles</b> (mg EAG g <sup>-1</sup> bs)	4.66 ± 0.476	4.26 ± 0.139
<b>Ácido ascórbico</b> (mg AA g <sup>-1</sup> bs)	0.547 ± 0.084	0.678 ± 0.126
<b>Actividad antioxidante</b> (μmol ET g <sup>-1</sup> bs)	8.96 ± 0.746	8.41 ± 1.156

Valores promedio (± DE), <sup>#</sup> Diferencias significativas (p<0.01) de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Duncan.

### 6.1.3 Parámetros de color

Los parámetros de color *L\**, *WI\** y *b\** fueron diferentes (p<0.01) entre los dos estados de madurez de los carpóforos (Cuadro 6), esto puede explicarse ya que después de su cosecha, los hongos pierden firmeza y cambian de color, debido a las reacciones enzimáticas y la pérdida de agua (Jolivet *et al.*, 1998). El parámetro de *L\** y

$WI^*$  fue mayor en el Grupo 1, donde los hongos presentaron tonalidad más cercana al blanco. El valor de  $a^*$  no presentó diferencia entre los grupos ( $p>0.01$ ) (Cuadro 6). El valor promedio de  $b^*$  del Grupo 2, fue menor con respecto al Grupo 1. Con base a los resultados obtenidos se puede señalar que el estado de desarrollo influyó en el color de los carpóforos de *Pleurotus pulmonarius* evaluado a través de los parámetros  $L^*$ ,  $WI^*$  y  $b^*$ .

#### **6.1.4 Compuestos con actividad antioxidante**

Los compuestos fenólicos son componentes importantes ya que tienen la capacidad de captación de radicales libres debido a su(s) grupo(s) hidroxilo y porque contribuyen directamente a la acción antioxidante (Gogavekar *et al.*, 2014). El contenido de compuestos fenólicos en el Grupo 1 y 2 no mostró diferencia ( $p>0.01$ ) (Cuadro 6). Un resultado similar fue observado por Soares *et al.* (2009), quienes analizaron los compuestos fenólicos en la especie *Agaricus brasiliensis* en dos estados de madurez. La concentración de compuestos fenólicos en los hongos depende principalmente de la especie, de las condiciones de crecimiento y del tipo de sustrato (Belitz y Grosch, 1999), en este estudio la concentración de polifenoles en el Grupo 1 y 2 fue de 4.66 y 4.26 mg ácido gálico  $g^{-1}$  bs, respectivamente.

Los hongos comestibles son fuente de diversas vitaminas, como es la riboflavina, niacina y el ácido ascórbico (AA). El tamaño de los hongos evaluados no presentó diferencias en el contenido de AA ( $p>0.01$ ) (Cuadro 6), la concentración de AA fue mayor en comparación a lo reportado en la especie *P. ostreatus* (0.2 mg EAa  $g^{-1}$  bs), *Lentinula edodes* (0.25 mg EAa  $g^{-1}$  bs), *Agaricus bisporus* (variedad blanca) (0.17 mg EAa  $g^{-1}$  bs) y *Agaricus bisporus* (variedad café) (0.21 mg EAa  $g^{-1}$  bs) (Mattila *et al.*, 2001).

La concentración del ácido ascórbico depende principalmente de la especie. De acuerdo a Mattila *et al.* (2001), existe una amplia variación en el contenido de ácido ascórbico en los hongos incluso algunos autores no han encontrado ácido ascórbico en *P. ostreatus* (Crisan y Sands, 1978), mientras que otros reportan altas concentraciones (Bano y Rajarathnam, 1986; Bano y Rajarathnam, 1988).

La actividad antioxidante de la especie *P. pulmonarius* no presentó diferencias ( $p>0.01$ ) con relación a su estado de desarrollo. Smolskaite *et al.* (2014) evaluaron la actividad antioxidante en las especies *P. ostreatus* y *A. bisporus* reportando concentraciones de 0.14 y 0.15  $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$  bs, respectivamente, resultado que es menor a los valores registrados en el presente estudio.

## **6.2 Etapa 2: Efecto del almacenamiento a 2 °C en los parámetros fisiológicos, fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante de las cepas parentales de *Pleurotus* (IE-115, IE-717) e híbridas (IE-917, IE-924).**

### **6.2.1 Velocidad de respiración**

Después de la cosecha, los carpóforos de *P. pulmonarius* ( $762 \text{ mL O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) y *P. ostreatus* ( $644 \text{ mL O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) se analizaron y presentaron velocidad de respiración alta en comparación a los híbridos IE-917 ( $407 \text{ mL O}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) e IE-924 ( $428 \text{ mL O}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). Después de 4 días de almacenamiento a 2 °C, este parámetro disminuyó en los hongos parentales y el híbrido IE-924, los cuales registraron valores en un intervalo de 153 y 143  $\text{mL O}_2 \text{ Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Figura 9).

Conforme transcurrió el tiempo de almacenaje, las cepas continuaron disminuyendo su velocidad de respiración, presentando diferencias entre los días evaluados ( $p<0.01$ ). Un resultado similar fue observado en los carpóforos de las especies de *Agaricus bisporus* y *Pleurotus ostreatus* cuando los almacenaron a temperaturas de 0-1 °C (Varoquax *et al.*, 1999; Villaescusa y Gil, 2003).

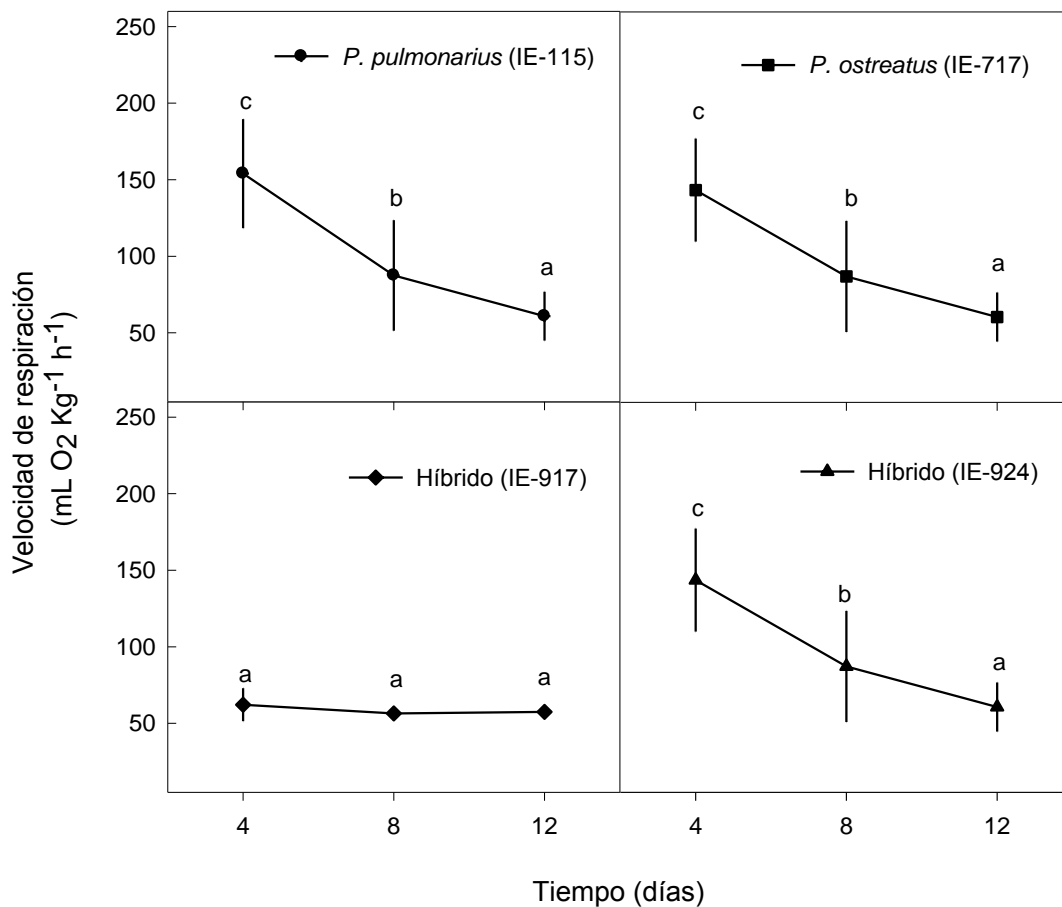


Figura 8. Velocidad de respiración en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Un comportamiento diferente fue observado en los carpóforos del híbrido IE-917, el cual presentó una tasa respiratoria de 62 mL O<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> en el día 4 y permaneció sin cambio hasta el final del almacenamiento ( $p > 0.01$ ). En el día 12, las especies de *Pleurotus* produjeron una velocidad de respiración similar (62-58 mL O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). La disminución de la velocidad de respiración en los carpóforos de las especies estudiadas con el almacenamiento a 2 °C podría estar explicado por la disminución de la actividad de las enzimas involucradas en este proceso (Zhu *et al.*, 2006).

En general, se encontró que los carpóforos del híbrido IE-917, independientemente de los días de almacenamiento, registró la menor velocidad de



respiración (Cuadro A11) y que al día 4 de almacenamiento, independientemente de la cepas, se observó la mayor velocidad de respiración (Cuadro A12).

### **6.2.2 Pérdida fisiológica de peso**

Durante el periodo de almacenamiento, los carpóforos de las cepas parentales no presentaron diferencia en la pérdida fisiológica de peso ( $p>0.01$ ), contrario a lo observado en los carpóforos de las cepas híbridas que fueron diferentes en todos los días evaluados ( $p<0.01$ ) (Figura 10). Al día 12, los carpóforos registraron los siguientes valores: *P. pulmonarius* (7.47%), *P. ostreatus* (5.86%), híbrido IE-917 (13.01%) e híbrido IE-924 (14.02%).

Las especies de *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* se caracterizan por ser sensibles a la pérdida de peso debido a su estructura epidérmica delgada y porosa, esta característica propicia la rápida pérdida de agua. A pesar de esta condición, los carpóforos de cepas parentales tuvieron una menor pérdida de peso en comparación con los carpóforos de *Agaricus bisporus* (10.23%), los cuales se almacenaron bajo las mismas condiciones de este estudio, de acuerdo al trabajo de Liu *et al.* (2010). Desde el punto de vista comercial es importante mantener un bajo porcentaje en la pérdida de peso de los hongos frescos durante su almacenamiento poscosecha debido a que influye en la tasa de deterioro y evita pérdidas económicas a los productores (Ares *et al.* 2007).

De manera general, se observó que el híbrido IE-924, independientemente de los días de almacenamiento, fue el que tuvo el mayor porcentaje de pérdida de peso en comparación con las otras cepas (Cuadro A11), mientras que en el día 12 de almacenamiento, independientemente de la cepa, se registró la mayor pérdida fisiológica de peso (Cuadro A12).

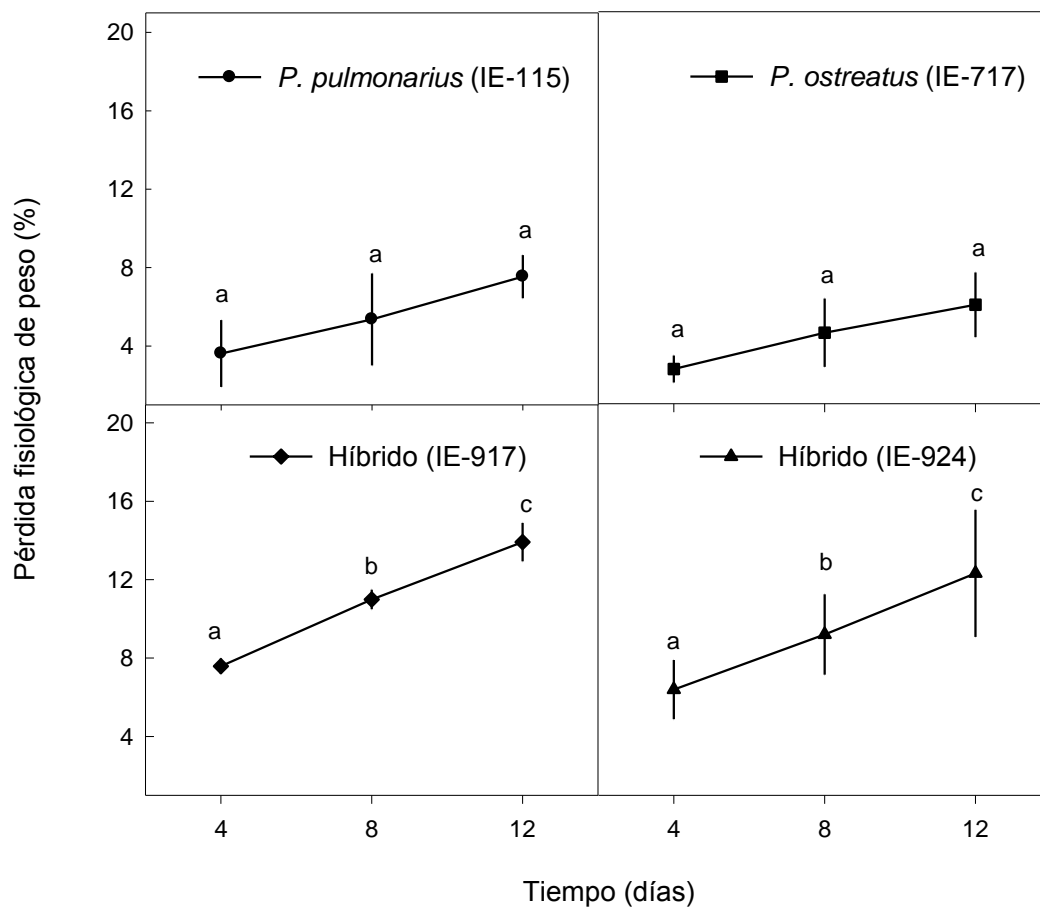


Figura 9. Pérdida fisiológica de peso en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

### 6.2.3 Azúcares totales

Con el almacenamiento a 2 °C, los carpóforos de *P. pulmonarius* y los del híbrido IE-917, registraron la mayor concentración de azúcares en el día 8. Por el contrario, los carpóforos de *P. ostreatus* no presentaron cambios ( $p > 0.01$ ) en este parámetro (Figura 11) y el híbrido IE-924 permaneció estable hasta el día 8 ( $p > 0.01$ ), pero al final del estudio aumentó su concentración en un 83%.

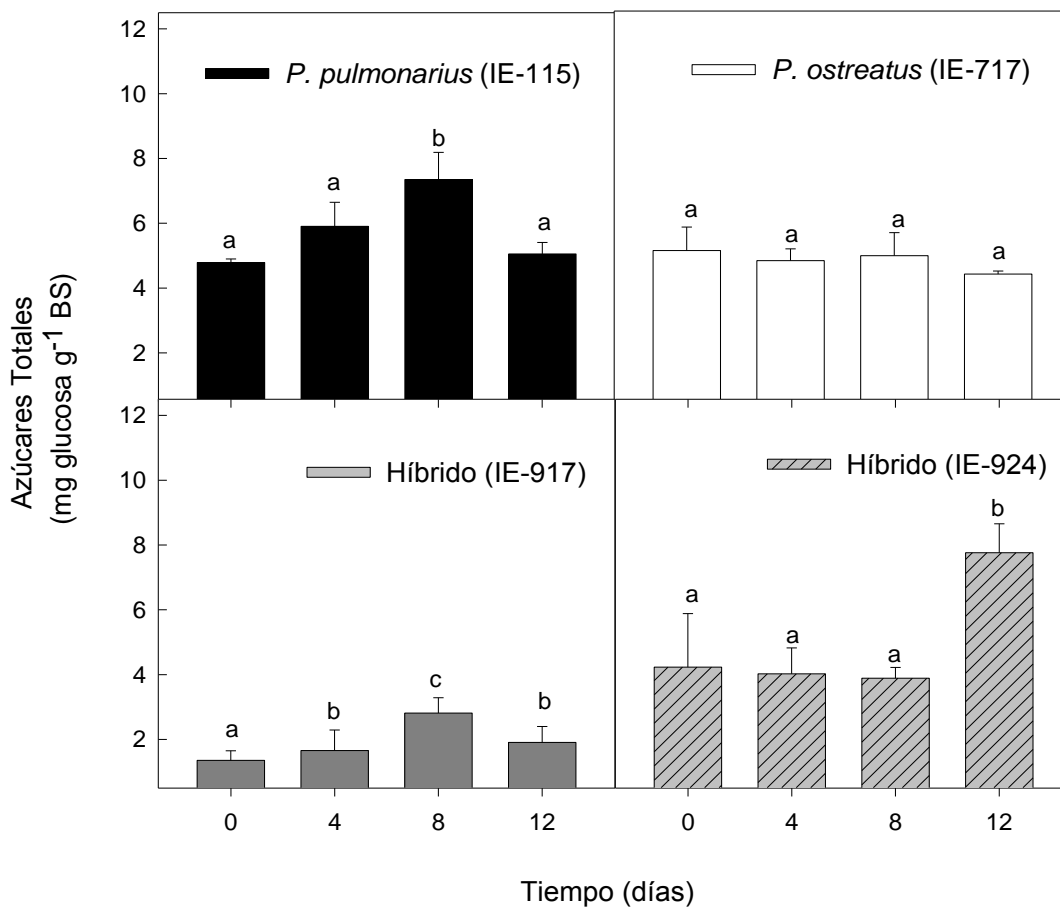


Figura 10. Contenido de azúcares totales en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

El incremento en los azúcares observado durante el almacenamiento a baja temperatura también ha sido reportado por otros autores en las especies *P. ostreatus*, *Agaricus bisporus* y *Lentinula edodes* (Hammond, 1980; Varoquaux *et al.*, 1999; Jiang *et al.*, 2013b).

Minato *et al.* (1999) evaluaron el comportamiento poscosecha de *Lentinula edodes* almacenado a 1 °C y, registraron la inactivación de la enzima glucanasa, lo que produjo un incremento en el contenido del polisacárido soluble Lentinan. Los polisacáridos presentes en los hongos comestibles son ampliamente estudiado debido

a la actividad antitumoral que poseen (Chihara *et al.*, 1970). Algo similar podría estar ocurriendo en los polisacáridos solubles presentes en las especies de *Pleurotus* por efecto del almacenamiento a 2 °C.

En general, los carpóforos de *P. pulmonarius*, independientemente de los días de almacenamiento, presentaron el mayor contenido de azúcares totales (Cuadro A13) y en los días 8 y 12 de almacenamiento, independientemente de las cepas, se observó la mayor concentración de azúcares totales (Cuadro A14).

#### **6.2.4 Acidez titulable**

*Pleurotus pulmonarius* presentó una concentración inicial de 0.18 mg ácido cítrico g<sup>-1</sup> bs y se incrementó durante el almacenamiento, registró el mayor valor al día 8 (Figura 12). Finalmente al día 12 disminuyó a 0.23 mg ácido cítrico g<sup>-1</sup> bs, este valor fue mayor a lo observado en el día 0 ( $p < 0.01$ ). Por el contrario, los carpóforos de *P. ostreatus* y los híbridos IE-917 e IE-924 presentaron un valor inicial de 0.27 mg ácido cítrico g<sup>-1</sup> bs. La concentración de ácidos orgánicos en hongos de *P. ostreatus* disminuyó durante el periodo de almacenaje y el valor del híbrido IE-917 permaneció estable hasta el día 4 e incrementó al día 8. Por otra parte, la concentración de ácidos orgánicos en hongos del híbrido IE-924 disminuyó a partir del día 4 y al final del periodo de almacenamiento, se incrementó, registrando un valor menor al inicial (0.22 mg ácido cítrico g<sup>-1</sup> bs). Los principales ácidos orgánicos identificados en las especies *P. ostreatus* y *P. eryngii* son el ácido oxálico, málico, cítrico y fumárico, siendo el ácido cítrico el que se presenta en mayor proporción en ambas especies (Barros *et al.*, 2013).

El incremento de los ácidos orgánicos durante el almacenamiento poscosecha también fue reportado por Yoshida *et al.* (1987) en la especie *P. ostreatus*. Éste comportamiento ha sido también reportado en frutos como el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Baldwin *et al.*, 1991) y en granada (*Punica granatum* L.), atribuyéndolo al incremento de ácidos orgánicos específicos presentes en estos frutos (Elyatem y Kader, 1984), esto podría estar ocurriendo en las especies de *Pleurotus*. Actualmente la información acerca del comportamiento de los ácidos orgánicos durante el almacenamiento poscosecha en hongos comestibles es escasa.

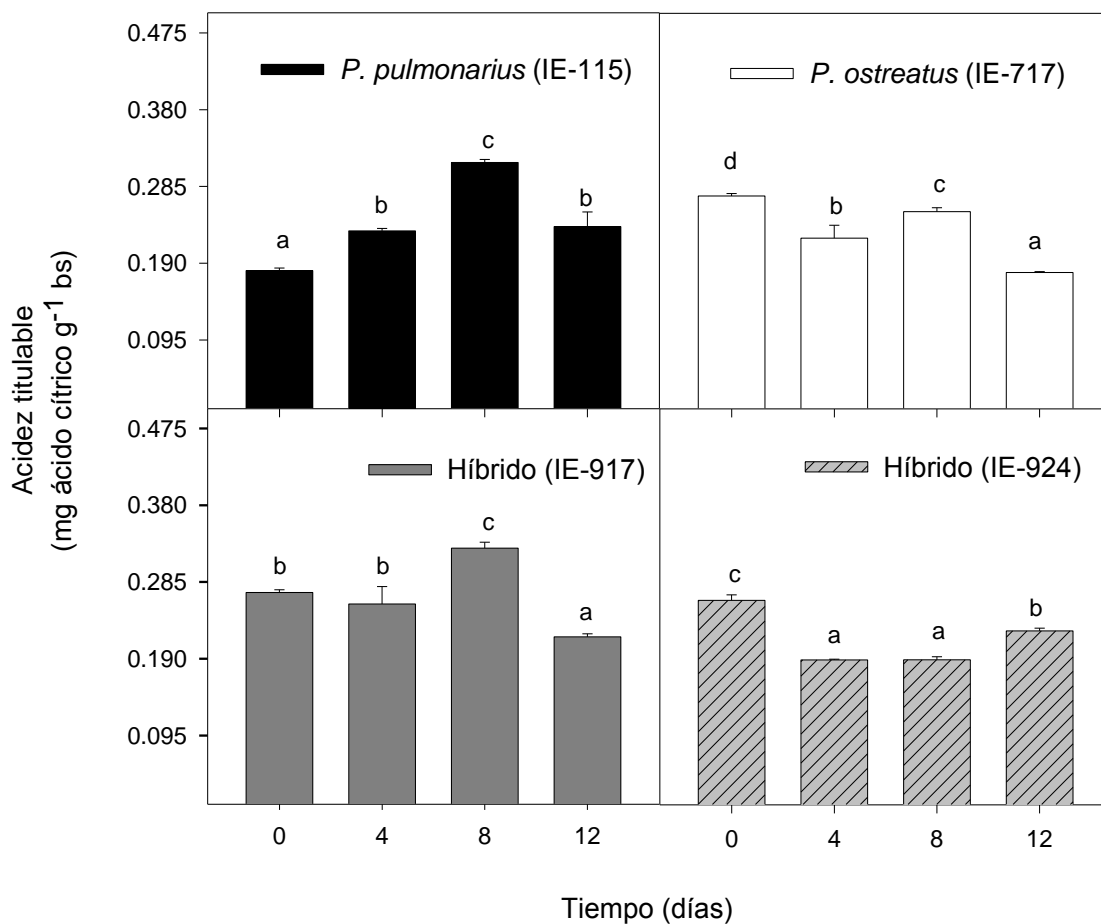


Figura 11. Concentración de ácidos orgánicos en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Por otra parte, la disminución de los ácidos orgánicos en *Pleurotus* spp. se ha relacionado inversamente con el crecimiento del píleo (Hong *et al.*, 1988), debido a que ácidos orgánicos son utilizados como sustratos respiratorios en el proceso de maduración.

Finalmente, la especie *P. pulmonarius*, independientemente de los días de almacenamiento, presentó la mayor concentración de ácidos orgánicos (Cuadro 13) y en los primeros 8 días de almacenamiento, independientemente de las cepas, se observó la mayor cantidad (Cuadro 14).

### **6.2.5 Sólidos solubles totales (SST)**

Los carpóforos de *P. ostreatus* e Híbrido IE-917 presentaron inicialmente la mayor concentración de sólidos solubles totales (SST) (Figura 13). Sin embargo, éste parámetro disminuyó durante el período de evaluación, posiblemente asociado al uso de metabolitos durante la respiración y la lenta hidrólisis de los carbohidratos para producir azúcares simples (Yaman y Bayoindirli, 2002).

En cambio, las otras cepas presentaron un comportamiento diferente, *P. pulmonarius* e híbrido IE-924 manifestaron un incremento al día 4 y 12, respectivamente. Esto puede ser atribuido a la solubilización de los poliuronidos y la hemicelulosa de la pared celular durante el proceso de senescencia (Jiang *et al.*, 2013a). Por otra parte, los SST presentes en los hongos evaluados presentaron valores similares de correlación con los azúcares ( $r=0.60$ ) y los ácidos orgánicos ( $r=0.58$ ), lo que indica que ambos parámetros contribuyen de igual forma a los SST (Cuadro 19). Previamente ha sido citado que los sólidos solubles totales (SST) en los hongos se encuentran constituidos principalmente por azúcares y ácidos orgánicos (Mami *et al.*, 2014).

En general, los carpóforos de las cepas parentales y el híbrido IE-917, independientemente de los días de almacenamiento, registraron la mayor concentración de SST (Cuadro A13) y al día 0 de almacenamiento, independientemente de las cepas, se observó la mayor concentración de sólidos solubles (Cuadro A14).

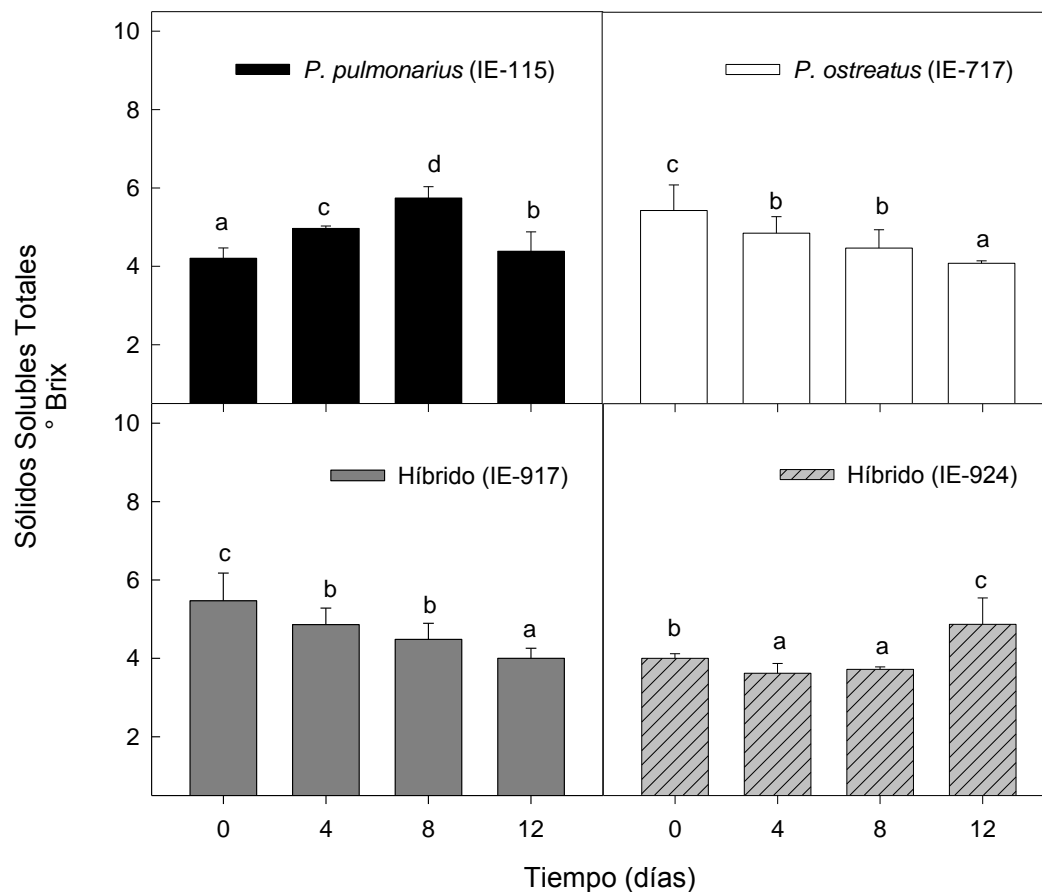


Figura 12 Contenido de sólidos solubles totales en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

### 6.2.6 Parámetros de color en los carpóforos

El color es de las principales características que determinan la aceptabilidad comercial de los hongos frescos (Gao *et al.*, 2014). Inicialmente, los carpóforos de las cepas parentales tenían una tonalidad más blanca y sus valores iniciales de  $L^*$  fueron diferentes ( $p < 0.01$ ) a los carpóforos híbridos, los cuales presentaron una tonalidad más oscura (Figura 14).

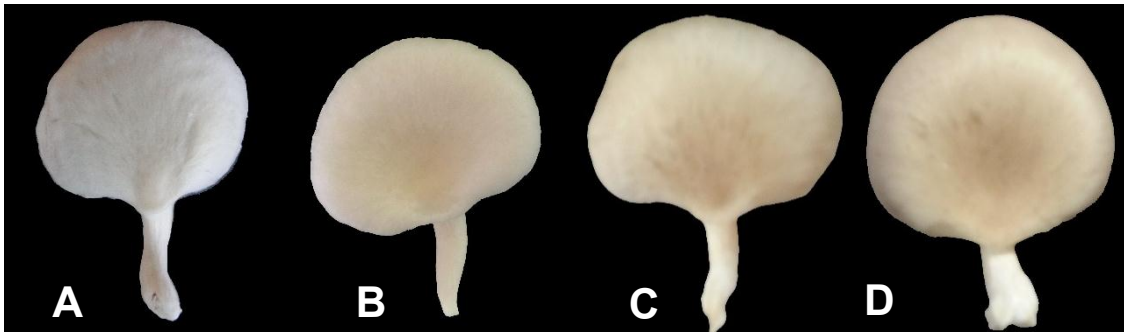


Figura 13. Color de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus* spp. al día 0: A) *P. pulmonarius*, B) *P. ostreatus*, C) Híbrido IE-917, D) Híbrido IE-924.

El valor  $L^*$  en los carpóforos de *P. pulmonarius* y en los de las cepas híbridas permanecieron sin diferencias durante el almacenamiento ( $p>0.01$ ). Mientras que en *P. ostreatus* se incrementó en los días 4 y 8 y, se mantuvo constante hasta el final del almacenamiento (Cuadro 7). Con respecto al índice de blancura  $WI^*$ , los hongos de *P. pulmonarius* permanecieron sin diferencias en los primeros cuatro días de almacenamiento ( $p>0.01$ ) y a partir del día 8, el valor de este parámetro disminuyó, mientras que en *P. ostreatus* presentó una tendencia a aumentar en todo el período de evaluación ( $p<0.01$ ), con el valor más alto al día 12. Por otra parte, el híbrido IE-917 fue diferente ( $p<0.01$ ) en todos los días evaluados y el híbrido IE-924 permaneció sin diferencia ( $p>0.01$ ) (Cuadro 8).

Cuadro 7. Parámetro  $L^*$  en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C.

Días	<i>P. pulmonarius</i>	<i>P. ostreatus</i>	IE-917	IE-924
0	82.412 ± 2.730 a	73.484 ± 1.134 a	55.924 ± 2.25 a	55.924 ± 2.25 a
4	78.162 ± 6.838 a	77.713 ± 2.235 b	49.280 ± 4.6 a	59.221 ± 4.2 a
8	77.245 ± 6.147 a	80.260 ± 3.668 c	44.167 ± 5.9 a	61.126 ± 0.5 a
12	71.308 ± 13.233 a	81.545 ± 1.857 c	56.440 ± 0.6 a	62.29 ± 0.8 a

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p>0.01$ , Duncan).



Cuadro 8. Parámetro  $WI^*$  en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C.

Días	<i>P. pulmonarius</i>	<i>P. ostreatus</i>	IE-917	IE-924
0	73.912 ± 1.468 <b>c</b>	66.456 ± 5.555 <b>a</b>	53.087 ± 2.140 <b>c</b>	53.087 ± 2.140 <b>a</b>
4	73.999 ± 1.231 <b>c</b>	72.450 ± 1.009 <b>b</b>	46.320 ± 4.379 <b>b</b>	55.112 ± 4.095 <b>a</b>
8	71.081 ± 1.097 <b>b</b>	73.534 ± 2.367 <b>c</b>	41.642 ± 5.695 <b>a</b>	56.274 ± 0.443 <b>a</b>
12	68.524 ± 3.543 <b>a</b>	76.405 ± 0.640 <b>c</b>	51.243 ± 0.352 <b>c</b>	57.591 ± 0.827 <b>a</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p>0.01$ , Duncan).

El parámetro de color  $a^*$  en hongos de *P. pulmonarius* presentó variaciones en los días evaluados, con un intervalo de 0.24 a 1.09 del día 0 al 12, respectivamente (Cuadro 9). Mientras los hongos de *P. ostreatus* disminuyeron conforme transcurrieron los días de evaluación, no presentaron diferencias a partir del día 4 ( $p>0.01$ ). Con respecto a los carpóforos híbridos, registraron un valor inicial de  $a^*$  superior a los parentales. Al último día de almacenamiento los híbridos incrementaron su valor.

Cuadro 9. Parámetro  $a^*$  en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C.

Días	<i>P. pulmonarius</i>	<i>P. ostreatus</i>	IE-917	IE-924
<b>0</b>	0.250 ± 0.101 <b>a</b>	1.710 ± 0.682 <b>b</b>	3.956 ± 0.169 <b>a</b>	3.955 ± 0.169 <b>a</b>
<b>4</b>	0.647 ± 0.085 <b>b</b>	0.649 ± 0.078 <b>a</b>	5.326 ± 0.333 <b>b</b>	5.593 ± 0.896 <b>c</b>
<b>8</b>	0.378 ± 0.102 <b>a</b>	0.635 ± 0.177 <b>a</b>	5.085 ± 0.390 <b>b</b>	4.772 ± 0.435 <b>b</b>
<b>12</b>	1.100 ± 0.141 <b>c</b>	0.453 ± 0.116 <b>a</b>	4.181 ± 0.223 <b>a</b>	5.140 ± 0.524 <b>b</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p>0.01$ , Duncan).

Con respecto al parámetro  $b^*$ , los hongos de *P. pulmonarius* presentaron el valor inicial más alto, pero a los 4 y 8 disminuyó (Cuadro 10), al día 12 de almacenamiento no presentó diferencias con respecto al día 0 ( $p>0.01$ ). Por el contrario, *P. ostreatus* permaneció sin diferencias en todo el período de almacenamiento ( $p>0.01$ ). El parámetro para los hongos de la IE-917 no presentó diferencias ( $p>0.01$ ) en los primeros 8 días, sin embargo, se registró un aumento al día 12. El híbrido IE-924

permaneció sin diferencias a partir del día 4. Los híbridos tendieron a aumentar el valor de  $b^*$ , lo que se traduce en una coloración amarilla en el píleo.

Cuadro 10. Parámetro  $b^*$  en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C.

Días	<i>P. pulmonarius</i>	<i>P. ostreatus</i>	IE-917	IE-924
0	20.158 ± 0.984 <b>b</b>	14.652 ± 0.782 <b>a</b>	15.376 ± 0.926 <b>a</b>	15.376 ± 0.926 <b>a</b>
4	15.879 ± 0.635 <b>a</b>	15.729 ± 1.048 <b>a</b>	16.503 ± 0.332 <b>a</b>	17.767 ± 0.505 <b>b</b>
8	15.483 ± 0.617 <b>a</b>	15.915 ± 1.276 <b>a</b>	15.654 ± 0.219 <b>a</b>	19.405 ± 0.654 <b>b</b>
12	19.750 ± 0.328 <b>b</b>	15.113 ± 0.468 <b>a</b>	21.435 ± 0.658 <b>b</b>	18.668 ± 0.760 <b>b</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

En general, los carpóforos parentales, independientemente de los días de almacenamiento, presentaron valores altos de  $L^*$  y  $WI^*$  (Cuadro A15) y no se observaron diferencias en los días de almacenamiento, independientemente de las cepas (Cuadro A16). Con respecto al parámetro  $a^*$ , los carpóforos híbridos registraron valores altos, independientemente de los días de almacenamiento (Cuadro A15) y el día 4 presentó el valor promedio más elevado, independientemente de las cepas (Cuadro A16). El parámetro de color  $b^*$ , fue el valor más alto en la especie *P. pulmonarius* e híbrido IE-924, independientemente de los días evaluados (Cuadro A15) y el día 12, independientemente de las cepas, registró el valor más alto de  $b^*$  (Cuadro A16).

### 6.2.7 Compuestos fenólicos

La concentración inicial de compuestos fenólicos fue similar en las cuatro cepas, presentando valores entre 4.9 y 5.4 mg ácido gálico  $\text{g}^{-1}$  bs (Figura 15). Un incremento se observó en los hongos de las cepas parentales a partir del día 4.

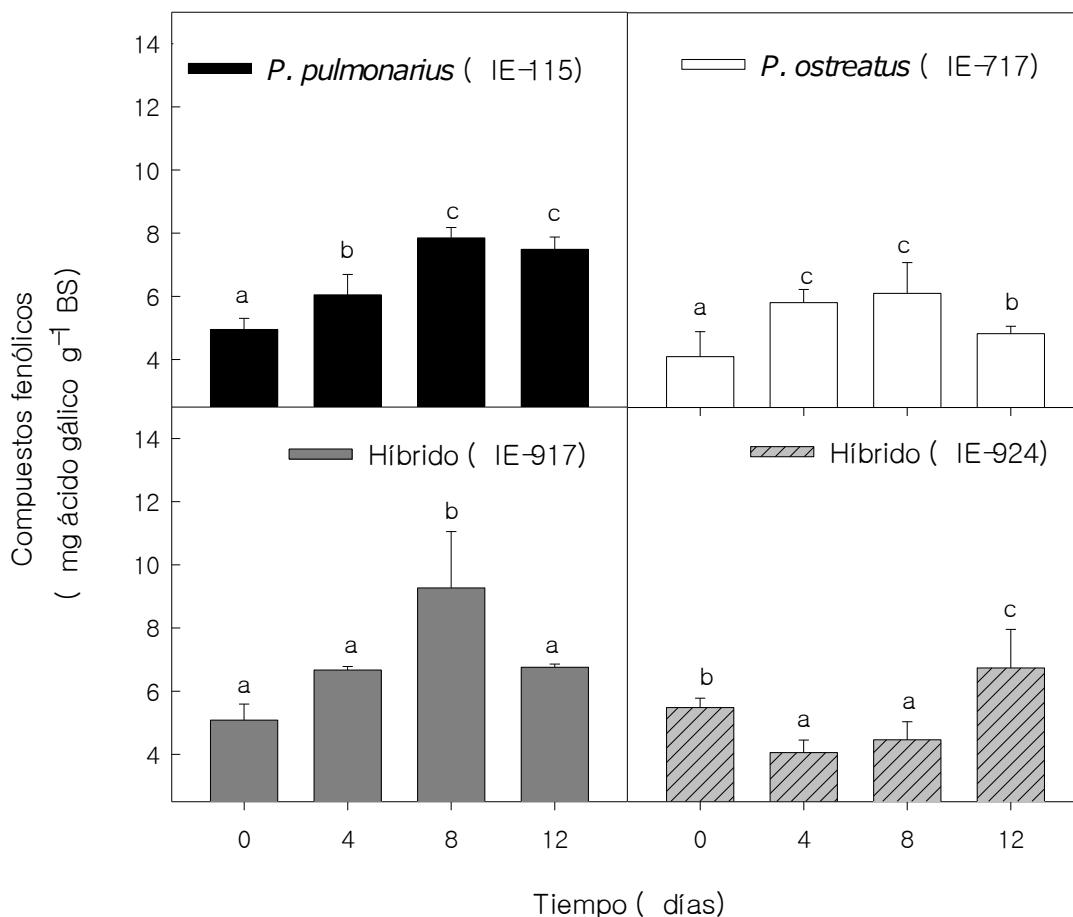


Figura 14. Concentración de compuestos fenólicos en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Al día 12 de almacenamiento, *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* incrementaron su concentración inicial en un 50% y 18%, respectivamente. Mientras que los híbridos IE-917 e IE-924 aumentaron en un 80% y 22% al día 8 y 12, respectivamente. Un aumento en la concentración de polifenoles también fue reportado por Eissa (2007) en *Agaricus bisporus* después de un incremento en la actividad de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL), esta enzima es la responsable de convertir la fenilalanina en ácido trans-cinámico (Tomás-Barderán y Espín, 2001), lo que deriva en la síntesis de compuestos fenólicos.

Contrario a lo reportado en *Agaricus bisporus* (Beaulieu *et al.*, 2002, Eissa, 2007), en el presente estudio no se observó oscurecimiento durante el almacenamiento, posiblemente debido a la baja temperatura que evitó la oxidación de los polifenoles.

### **6.2.8 Ácido ascórbico (AA)**

La concentración de ácido ascórbico (AA) en *P. pulmonarius* aumentó en los días 4 y 8 pero disminuyó al día 12, mientras el contenido de ácido ascórbico en *P. ostreatus* no fue afectado por el almacenamiento a 2 °C, permaneciendo sin diferencias ( $p>0.01$ ) en los días evaluados (Figura 16). Aunque *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* presentaron un comportamiento diferente, no se observó disminución de ácido ascórbico al día 12. Por el contrario, los híbridos, a pesar de presentar el mayor contenido de AA al inicio del estudio, mostraron mayor sensibilidad a la temperatura durante el almacenamiento, presentando al final del estudio un porcentaje de pérdida en AA de 74% y 58%, respectivamente.

Leja *et al.* (2001) observaron un comportamiento similar en *P. ostreatus* y lo atribuyeron al estrés ocasionado por el almacenamiento a bajas temperaturas. Un comportamiento similar a *P. pulmonarius* se reportó en crucíferas durante su almacenamiento a 2 °C, asociado a la elevada concentración de glutatión. Dicho compuesto se encuentra involucrado en el mecanismo responsable de la reducción del ácido dehidroascórbico (ADHA) en ácido ascórbico (Albrecht *et al.*, 1990; Albrecht *et al.*, 1991). Rai *et al.* (2000) reportaron la presencia de glutatión en la especie *Pleurotus ostreatus*, sin embargo faltaría estudiar la relación entre el ácido ascórbico y el glutatión durante la conservación de *Pleurotus* spp. a 2 °C. Durante el almacenamiento poscosecha la concentración de AA se ve favorecida en condiciones acidas (Mapson, 1970, Fennema, 2000), sin embargo en nuestro estudio el ácido ascórbico presentó una correlación baja con la acidez titulable ( $r=0.50$ ) (Figura A19).

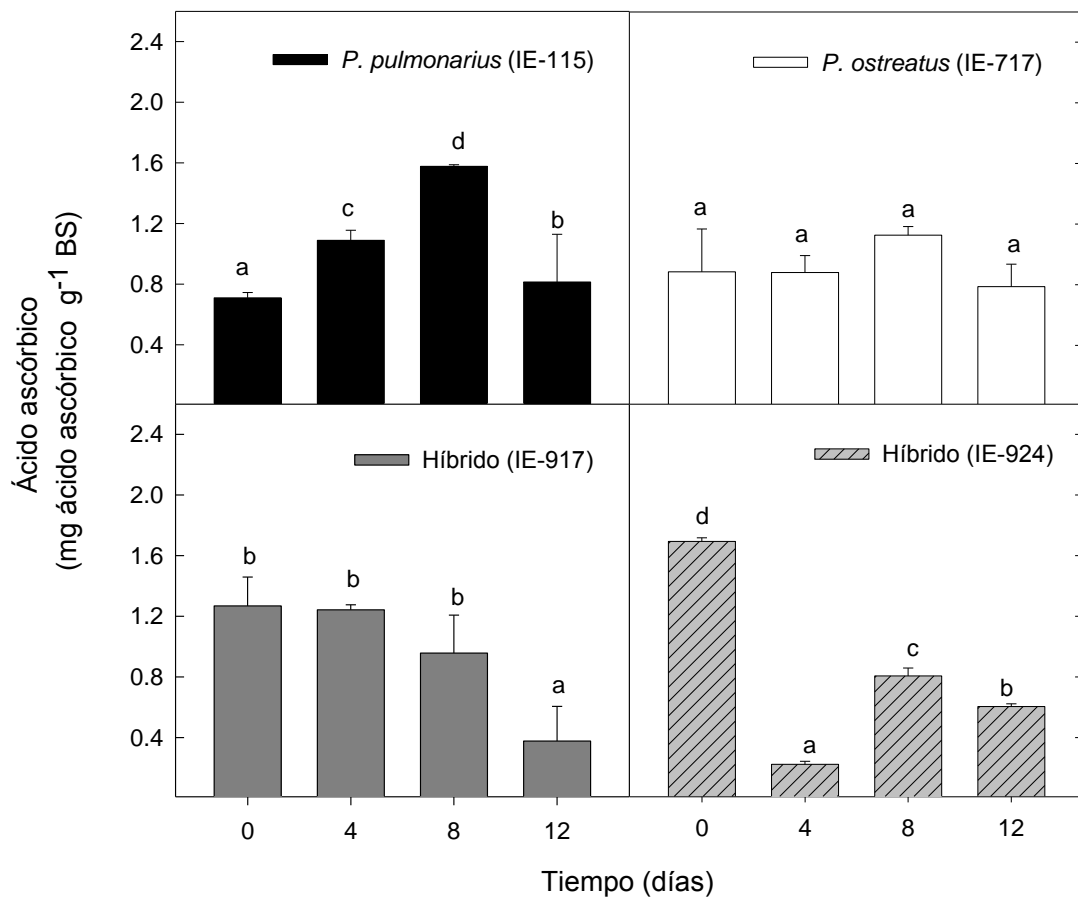


Figura 15. Concentración de ácido ascórbico en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

### 6.2.9 Actividad antioxidante

Con respecto a la actividad antioxidante, los carpóforos de *P. pulmonarius* incrementaron este parámetro durante todo el período de almacenaje y *P. ostreatus* aumentó su actividad antioxidante únicamente en los días 4 y 8 (Figura 17). Al día 12, *P. ostreatus* no presentó diferencia ( $p>0.01$ ) con respecto a su concentración inicial. Por otra parte, el híbrido IE-917 aumentó al día 8 e IE-924 al final del estudio. Al final del periodo de almacenamiento, las únicas cepas que incrementaron su actividad fueron *P. pulmonarius* e IE-924 con un 72% y 19%, respectivamente. La actividad antioxidante presentó una baja correlación con el ácido ascórbico ( $r=0.23$ ), caso contrario a los compuestos fenólicos ( $r=0.81$ ) (Cuadro A19).

Los cambios en la actividad antioxidante de ambas especies son similares al de los compuestos fenólicos. El incremento de la actividad antioxidante podría asociarse al aumento observado en el contenido de polifenoles, ya que la actividad antioxidante está en función de la cantidad y el tipo de fitoquímicos presentes en el tejido (Sacchetti *et al.*, 2008).

En general, la especie *P. pulmonarius*, independientemente de los días de almacenamiento, registró la mayor concentración de compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante (Cuadro A17). Mientras que a los días 8 y 12, independientemente de las cepas, se observó la mayor concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Cuadro A18).

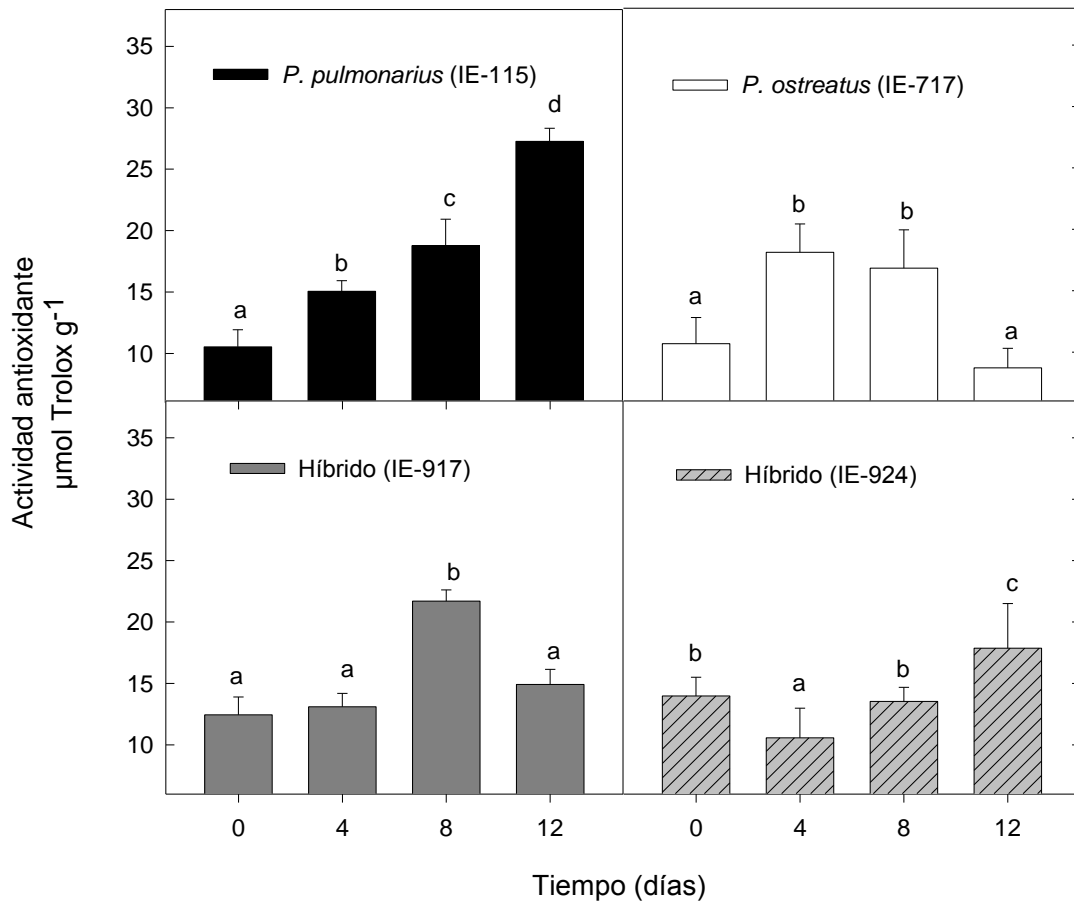


Figura 16. Actividad antioxidante en los carpóforos de cuatro cepas de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C. Los resultados son los valores promedio  $\pm$  DE. Medias con la misma letra en una misma cepa, son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Durante el almacenamiento a 2 °C, los parámetros fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante fueron diferentes en cada cepa parental e híbrida. Esto indica que los programas de entrecruzamiento genético no influyen en el comportamiento poscosecha. Para los futuros estudios poscosecha a realizar en las especies del género *Pleurotus*, es necesario caracterizar el comportamiento poscosecha de cada especie.



## 7. CONCLUSIONES

- No se registró diferencia entre los dos estados de madurez en los hongos de la especie *Pleurotus pulmonarius* en los parámetros: velocidad de respiración, contenido de azúcares, acidez titulable, sólidos solubles totales, compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante. Por el contrario, hubo diferencias los parámetros de color ( $L^*$ ,  $WI^*$  y  $b^*$ ).
- Los carpóforos de ambas especies disminuyeron su velocidad de respiración y *P. ostreatus* presentó la menor pérdida fisiológica de peso, lo cual desde el punto de vista comercial beneficiaría a los productores del hongo seta.
- El color es el parámetro de calidad más importante en los hongos comestibles y durante el almacenamiento a 2 °C no se presentaron cambios importantes en los parámetros de color en las especies evaluadas.
- Los compuestos fenólicos presentaron una alta correlación con la actividad antioxidante y los compuestos con actividad antioxidante se preservaron en mayor proporción en la especie *P. pulmonarius*.
- Los cambios en los parámetros fisicoquímicos y compuestos con actividad antioxidante durante el almacenamiento a 2 °C, fue diferente para cada cepa e híbrido, por lo que es necesario evaluar éstos parámetros para cada cepa de interés comercial.
- El almacenamiento a 2 °C durante 12 días resultó una alternativa para extender la vida de anaquel y mantener la calidad visual de las especies de *Pleurotus* evaluadas.

## 8. RECOMENDACIONES

- La especie *P. pulmonarius* al presentar la mayor concentración de compuestos con actividad antioxidante durante el almacenamiento a 2 °C, resulta ser una cepa de interés para los futuros trabajos de investigación, que podría estar encaminados a estudiar el efecto del almacenamiento a temperaturas más altas (cerca de las comerciales) y evaluar el uso de atmósferas controladas y modificadas.
- Para entender el comportamiento de los azúcares totales, ácidos orgánicos, ácido ascórbico y los compuestos fenólicos durante el almacenamiento, es necesario evaluar los cambios en los carbohidratos individuales y cuantificar la actividad de la enzima glucanasa, identificar los ácidos orgánicos y estudiar la relación entre el ácido ascórbico y el glutatión durante la conservación de *Pleurotus*. Así como determinar la actividad de las enzimas involucradas en el proceso de oxidación de los polifenoles (PAL, PPO y POD) durante el almacenamiento.

## 9. BIBLIOGRAFÍA CITADA

**Aida F.M.N.A., M. Shuhaimi, M. Yazid and A.G. Maaruf. 2009.** Mushroom as a potential source of prebiotics: a review. Trends in Food Science and Technology 20: 567-575.

**Akindahunsi A.A. and F.L. Oyetayo. 2006.** Nutrient and antinutrient distribution of edible mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (fries) singer. LWT Food Science and Technology 39: 548–553.

**Akyüz M. and S. Kirbağ. 2010.** Nutritive value of wild edible and cultured mushrooms. Turkish Journal of Biology 34: 97-102.

**Akyüz M., A.N. Onganer, P. Erecevit and S. Kirbag. 2012.** Flavonoid contents and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging activity of some edible mushrooms from turkey: *A. bisporus* and *Pleurotus* spp. Current Topics in Nutraceutical Research 10: 133-136.

**Albrecht J.A., H.W. Schafer and E.A. Zottola. 1990.** Relationship of total sulfur to initial and retained ascorbic acid in selected cruciferous and noncruciferous vegetables. Journal of Food Science 55: 181-183.

**Albrecht J.A., H.W. Schafer and E.A. Zottola. 1991.** Sulfhydryl and ascorbic acid relationships in selected vegetables and fruits. Journal of Food Science 56: 427-430.

**Alexopoulos C.J., C.W. Mims and M. Blackwell. 1996.** Introductory Mycology. John Wiley and Sons, Inc. N.Y. 869 p.

**Alves M.J., I.C. Ferreira, H.J. Froufe, R.M.V. Abreu, A. Martins and M. Pintado. 2013.** Antimicrobial activity of phenolic compounds identified in wild mushrooms, SAR analysis and docking studies. Journal of Applied Microbiology 115: 346-357.

**Apak R., K. Güçlü, B. Demirata, M. Özyürek, S.E. Çelik, B. Bektaşoğlu and D. Özyurt. 2007.** Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. Molecules 12: 1496-1547.

**Ares G., C. Lareo and P. Lema. 2007.** Modified atmosphere packaging of mushrooms. *Fresh Produce* 1: 32-40.

**Badui D.S. 2006.** *Química de los alimentos*. Pearson Educación, México. 716 p.

**Baldwin E.A., M.O. Nisperos-Carriedo and M.G. Moshonas. 1991.** Quantitative analysis of flavor and other volatiles and for certain constituents of two tomato cultivars during ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116: 265-269.

**Bano Z. and S. Rajarathnam. 1986.** *Pleurotus* mushrooms. Part II. Chemical composition, nutritional value, post-harvest physiology, preservation, and role as human food. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 27: 87-158.

**Bano Z. and S. Rajarathnam. 1988.** Vitamin values in *Pleurotus* mushrooms. *Plant Foods for Human Nutrition* 36: 11-15.

**Barros L., C. Pereira and I.C. Ferreira. 2013.** Optimized analysis of organic acids in edible mushrooms from Portugal by ultra fast liquid chromatography and photodiode array detection. *Food Analytical Methods* 6: 309-316.

**Beaulieu M., G. D'Aprano and M.L. Lacroix. 2002.** Effect of dose rate gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics and Chemistry* 63: 311–315.

**Beelman R.B., A. Okreke and B. Guthrie. 1987.** Evaluation of textural changes related to postharvest quality and shelf life of fresh mushrooms. In: P.J West PJ, Royse DJ, Beelman RB, editors. *Cultivating edible fungi*. Amsterdam: Elsevier Publ. Co. pp. 251-257.

**Belitz H.D. and W. Grosch. 1999.** Fruits and fruit products. In D. Hadziyev *Food chemistry*. pp. 748–799.

**Benjamin D.R. 1995.** *Mushroom, Poisons and Panaceas*. W. H. Freeman and Company. New York, USA. pp. 151-165.

**Bobek P., E. Ginter, M. Jurcovicova and K. Kunia. 1991.** Cholesterol lowering effect of the mushroom *Pleurotus ostreatus* in hereditary hypercholesterolemic rats. *Annals of Nutrition and Metabolism* 35: 191–195.

**Boun H.R. and C. Huxsoll. 1991.** Control of minimally processed carrot (*Daucus carota*) surface discoloration caused by abrasion peeling. *Journal of Food Science* 56: 416-418.

**Brand-Williams W., M.E. Cuvelier and C.L.W.T Berset. 1995.** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science Technology* 28: 25-30.

**Caglarirmak N. 2007.** The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds. Food Chemistry 105: 1188–1194.

**Carr A. C. and B. Frei. 1999.** Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans. The American Journal of Clinical Nutrition 69: 1086-1107.

**Chang S.T. and P.G. Miles. 2004.** Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact. CRC press. 451 p.

**Chen J., D. Mao, Y. Yong, J. Li, H. Wei and L. Lu. 2012.** Hepatoprotective and hypolipidemic effects of water-soluble polysaccharidic extract of *Pleurotus eryngii*. Food Chemistry 130: 687-694.

**Cheung P.C.K. 1998.** Functional properties of edible mushrooms. Journal of Nutrition 128: 1512-1516.

**Cheung P.C.K. 2010.** The nutritional and health benefits of mushrooms. Nutrition Bulletin 35: 292–299.

**Chihara G., J. Hamuro, Y.Y. Maeda, Y. Arai, and F. Fukuoka. 1970.** Fractionation and purification of the polysaccharides with marked antitumor activity, especially lentinan, from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing.(an edible mushroom). Cancer research 30: 2776-2781.

**Chirinang P. and K.O. Intarapichet. 2009.** Amino acids and antioxidant properties of the oyster mushrooms, *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju*. Science Asia 35: 326–331.

**Cortés M., M. Ruiz and L. Henriquez. 2011.** Influences of the packing and packed about physiochemical properties of edible mushroom *Pleurotus ostreatus*. Revista MVZ Córdoba 16: 2592-2604.

**Crisan E.V. and A. Sands. 1978.** Nutritional value, in The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms, Chang S.T. and W.A. Hayes, Eds., Academic Press, New York. pp.137-168.

**Donker H.C.W. and A. Braaksma. 1997.** Changes in metabolite concentrations detected by <sup>13</sup>C-NMR in the senescing mushroom (*Agaricus bisporus*). Postharvest Biology and Technology 10: 127–134.

**Dubois M., K.A. Gilles, J.K Hamilton, P. Rebers and F. Smith. 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28:350-356.

**Dundar A., H. Acay and A. Yildiz. 2008.** Yield performances and nutritional contents of three oyster mushroom species cultivated on wheat stalk. *African Journal of Biotechnology* 7: 3497–3501.

**Eissa H.A. 2007.** Effect of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut mushroom. *Journal of Food Quality* 30: 623–645.

**Elleuch M., D. Bedigian and O. Roiseux. 2010.** Dietary fiber and fiber-rich by-products of food processing: characterization, technological functionality and commercial application: a review. *Food Chemistry* 124: 411–421.

**Elyatem S.M. and A.A. Kader. 1984.** Post-harvest physiology and storage behavior of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae* 24: 287-298.

**FAOSTAT. 2009.** Statistic Division. Food and Agriculture organization of the United States.

**Farber J.N., L.J. Harris, M.E. Parish, L.R. Beuchant, T.V. Suslow, J.R. Gorney, E.H. Garrett and F.F. Busta. 2003.** Microbiological safety of controlled and modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science* 2: 142-160.

**Fennema O.R. 2000.** *Química de los Alimentos*. Acribia Ed. S.A. 2da Edición. 1247 p.

**Fonseca S.C., A.R. Oliveira and J.K. Brecht. 2002.** Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* 52: 99-119.

**Gaitán-Hernández R. and D. Salmones. 2008.** Obtaining and characterizing *Pleurotus ostreatus* strains for commercial cultivation under warm environmental conditions. *Scientia Horticulturae* 118: 106-110.

**Gaitán-Hernández R., Salmones D., Pérez Merlo R. y G. Mata. 2009.** Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. *Revista Mexicana de Micología* 30: 63-71.

**Gao M., L. Feng and T. Jiang. 2014.** Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food Chemistry* 149: 107-113.

**Gogavekar S.S., S.A. Rokade, R.C. Ranveer, J.S Gosh, D.C. Kalyani and A.K. Sahoo. 2014.** Important nutritional constituents, flavor components, antioxidant and antibacterial properties of *Pleurotus sajor-caju*. *Journal of Food Science Technology* 51:1483-1491.

**Guillaume C., I. Schwab, E. Gastaldi and N. Gontard. 2010.** Biobased packaging for improving preservation of fresh common mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:690–696.

**Guzmán G. 1990.** Identificación de los hongos: comestibles, venenosos y alucinantes. Limusa Ed. Noriega, México. 458 p.

**Guzmán G., L. Montoya, D. Salmenes y V. M. Bandala. 1993.** Studies of the genus *Pleurotus* (Basidiomycotina), II. *P. djamor* in Mexico and in other Latin-American countries, taxonomic confusions, distribution and semi-industrial culture. *Cryptogamic Botany* 3: 213-220.

**Hammond J.B. and Nichols R. 1975.** Changes in respiration and soluble carbohydrates during the postharvest storage of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26: 835–842.

**Hammond J.B. 1980.** The composition of fresh and stored oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). *Phytochemistry* 19: 2565-2568.

**Hawksworth D.L. 2001.** The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 105: 1422-1432

**Hearst R., D. Nelson, G. McCollum, B.C. Millar, Y. Maeda and C.E. Goldsmith. 2009.** An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of Shiitake (*Lentinula edodes*) and Oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms. *Complementary Therapies in Clinical Practice* 15:5-7.

**Herrera T. y M. Ulloa. 1990.** El reino de los Hongos. *Micología básica y aplicada*. UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México. 552 p.

**Hong J.S., Y.H. Kim, K.R. Lee, M.K. Kim, C.I. Cho, K.H. Park, K.H. and J.B. Lee. 1988.** Composition of organic acid and fatty acid in *Pleurotus ostreatus*, *Lentinus edodes* and *Agaricus bisporus*. *Korean Journal of Food Science and Technology* 20: 100-106.

**Jiang T., L. Feng and Y. Wang. 2013a.** Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during cold storage. *Food Chemistry* 141: 954-960.

**Jiang T., L. Feng, X. Zheng and J. Li. 2013b.** Physicochemical responses and microbial characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) to gum arabic coating enriched with natamycin during storage. *Food Chemistry* 138: 1992-1997.

**Jolivet S., N. Arpin, H.J. Wicher and G. Pellon. 1998.** *Agaricus bisporus* browning: a review. *Mycological Research* 102: 1459-1483.

**Kader A.A. and M.E. Salveit. 2002.** Respiration and gas exchange. *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*. Bartz J.A. and J.K. Brench. CRC Press. Ed. New York. pp. 7-29.

**Kays J. 1991.** Postharvest physiology of perishable plant products. New York. AVI editorials. 532 p.

**Khan A. and M. Tania. 2012.** Nutritional and Medicinal Importance of *Pleurotus* Mushrooms: an overview. Food Reviews International 28: 313-329

**Khan M.D.A., M.M. Rahman, M. Tania, M.D.N. Uddin and S. Ahmed. 2011.** *Pleurotus sajor-caju* and *Pleurotus florida* mushrooms improve some extant of the antioxidant systems in the liver of hypercholesterolemic rats. The Open Nutraceutical Journal 4: 20-24.

**Kim M.K., J.S. Ryu, Y.H. Lee and H.R. Kim. 2013.** Breeding of a long shelf-life strain for commercial cultivation by mono–mono crossing in *Pleurotus eryngii*. Scientia Horticulturae 162: 265-270.

**Lee S.K. and A.A Kader. 2000.** Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biology and Technology 20: 207-220.

**Leja M., A. Mareczek, A. Starzyńska and S. Rożek. 2001.** Antioxidant ability of broccoli flower buds during short-term storage. Food Chemistry 72: 219-222.

**Li Y. 2012.** Present development situation and tendency of edible mushroom industry in China. In Zhang J., H. Wang and M. Chen (eds). Mushroom Science XVIII. Proceedings of the 18th Congress of the International Society for Mushroom Science. China Agriculture Press, pp 3-9.

**Liu Z., X. Wang, J. Zhu and J. Wang. 2010.** Effect of high oxygen modified atmosphere on post-harvest physiology and sensorial qualities of mushroom. Journal of Food Science and Technology 45: 1097-1103.

**Longvah T. and Y.G. Deosthale. 1998.** Composition and nutritional studies on edible wild mushroom from northeast India. Food Chemistry 63: 331–334.

**López-Briones G., P. Varoquax, C. Yves, J. Bouquant, G. Bureau and B. Pascat. 1992.** Storage of common mushroom under controlled atmospheres. International Journal of Food Science and Technology 27: 393-505.

**Mahajan P.V., F.A Rodrigues, A. Motel and A. Leonhard. 2008.** Development of a moisture absorber for packaging of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*). Postharvest Biology and Technology 48:408–414.

**Mami Y., G. Peyvast, F. Ziaie, M. Ghasemnezhad and V. Salmanpour. 2014.** Improvement of shelf Life and postharvest quality of white button mushroom by electron beam irradiation. Journal of Food Processing and Preservation 30: 1673-1681.

**Maness N. and P. Perkins-Veazie. 2003.** Soluble and storage carbohydrates. Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables. Bartz J.A and J K Brecht (eds). University of Florida, Gainesville, Florida. pp 361-382.



**Manzi P. and L. Pizzoferrato. 2000.** Beta-glucans in edible mushrooms. *Food Chemistry* 68: 315-318.

**Mapson L.W.1970.** Vitamins in fruits. In A. C. Hulme (Ed.), *Biochemistry of fruits and their products*. London: Academic Press. pp. 369–383.

**Martínez-Carrera D. y A. Larqué-Saavedra. 1990.** Biotecnología en la producción de hongos comestibles. *Ciencia y Desarrollo (CONACYT)* 95: 53-64.

**Martínez-Carrera D., R. Leben, P. Morales, M. Sobal y A. Larqué-Saavedra. 1991.** Historia del cultivo comercial de hongos comestibles en México. *Ciencia y Desarrollo (CONACYT)* 96: 33-43.

**Martínez-Carrera D. 2002.** Current development of mushroom biotechnology in Latin America. *Micología Aplicada Internacional* 14: 61-74.

**Martínez-Carrera D. y L. López-Martínez de Alva. 2010.** Historia del cultivo comercial de hongos comestibles en México II: Éxitos y fracasos durante el período 1991-2009. Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI. pp 513- 551.

**Martínez-Carrera D., N. Curvetto, M. Sobal, P. Morales y V.M. Mora. 2010.** Hacia un desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla. 648 p.

**Martínez-Flórez S., J. González-Gallego y J.M. Culebras. 2002.** Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria* 17: 271-278.

**Mata G., R. Gaitán-Hernández y D. Salmones. 2012.** El cultivo de hongos en México: Una industria con posibilidades de diversificación. Vázquez J. E. S. y Mata G. (Eds.). 2012. *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*.

**Mattila P., K. Konko, M. Eurola, J.M Pihlava, J. Atola, L. Vahteristo, V. Hietaniemi, J. Kumpulainen, M. Valtonen and V. Piironen. 2001.** Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 2343-2348.

**McGuire R.G. 1992.** Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.

**Miller D.D. 2001.** *Química de alimentos: Manual de laboratorio*. Limusa-Wiley. México, D.F.

**Minamide T. and J.B. Hammond. 1985.** The influence of the periodic fruiting (flushing) cycle on the biochemical development of *Agaricus bisporus* sporophores. *New Phytologist* 100: 571-578.

**Minato K.I., M. Mizuno, H. Terai and H. Tsuchida. 1999.** Autolysis of lentinan, an antitumor polysaccharide, during storage of *Lentinus edodes*, shiitake mushroom. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 1530-1532.

**Mohapatra D., Z.M. Bira, J.P. Kerry, J.M. Frías and F.A. Rodrigues. 2010.** Postharvest hardness and color evolution of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Science* 75: 146-152.

**Mora V.M. y D. Martínez-Carrera. 2007.** Investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas sobre el cultivo de setas (*Pleurotus*) en México. Capítulo 1.1, 17 pp. In: *El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México*. J.E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal (eds). ECOSUR-CONACYT. México, D.F. 230 p.

**O'Shea N., E.K. Arendt and E. Gallagher. 2012.** Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16: 1–10.

**Oyetayo F.L., A.A. Akindahunsi and V.O. Oyetayo. 2007.** Chemical profile and amino acids composition of edible mushrooms *Pleurotus sajor-caju*. *Nutrition and Health* 18: 383–389.

**Patil S.S., S.A. Ahmed, S.M. Telang and M.M.V. Baig. 2010.** The nutritional value of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr) Kumm cultivated on different lignocellulosic agrowastes. *Innovative Romanian Food Biotechnology* 7: 66–76.

**Puttaraju N.G., S.U. Venkateshaiah, S.M. Dharmesh, S.M.N. Urs and R. Somasundaram. 2006.** Antioxidant activity of indigenous edible mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 9764-9772.

**Rai D.R., M. Saito and R. Masuda. 2000.** Effect of modified atmosphere (MA) packaging on glutathione and some other qualitative parameters of hiratake Mushroom. *Japanese Society for Horticultural Science* 69: 435-439.

**Rajarathnam S., Z. Bano and M.V. Patwardhan. 1986.** Nutrition of the mushroom *Pleurotus flabellatus* during its growth on paddy straw substrate. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 61: 223–232.

**Rajarathnam S., M.N. Shashirekha and Z. Bano. 1998.** Biodegradative and biosynthetic capacities of mushrooms: present and future strategies. *Critical Reviews in Biotechnology* 18: 91-236.

**Ravi R. and M. Siddiq. 2011.** Handbook of vegetables and vegetable processing. Ed. N.K. Sinha. Blackwell Publishing Ltd. 788 p.

**Rice-Evans CA, N.J. Miller and G. Paganga. 1997.** Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trend in Plant Sciences* 2: 152–159.

**Sacchetti G., E. Cocci, G. Pinnavaia, D. Mastrocola and M.D. Rosa. 2008.** Influence of processing and storage on the antioxidant activity of apple derivatives. *International Journal of. Food Science and. Technology* 43: 797-804.

**Sadler M. 2003.** Nutritional properties of edible fungi. *Nutrition Bulletin* 28:305-308.

**Sánchez J.E. y D. Royse. 2001.** El cultivo de *Pleurotus* spp. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. El Colegio de la Frontera Sur, Chiapas. 294 p.

**Singh P., H.C. Langowski, A.A. Wani and S. Saengerlaub. 2010.** Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 1393–1402.

**Singleton V.L. and J.A. Rossi. 1965.** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.

**Smolskaite L., P. Rimantas and T. Talou. 2014.** Comprehensive evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of different mushrooms species. *Food Science and Technology* 60: 462-471.

**Soares A.A., C.G.M. de Souza, F.M. Daniel, G.P. Ferrari, S.M.G. da Costa and R.M. Peralta. 2009.** Antioxidant activity and total phenolic content of *Agaricus brasiliensis* (*Agaricus blazei* Murril) in two stages of maturity. *Food chemistry* 112: 775-781.

**Sveine E., A. Klougart and C.R. Rasmussen. 1967.** Ways of prolonging the shelf-life of fresh mushrooms. *Mushroom Science* 6:463-474.

**Theuwissen E. and R.P. Mensink. 2008.** Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease: a review. *Physiology and Behavior* 94: 285–292.

**Tomás-Barberán F.A. and J.C. Espín. 2001.** Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science Food and Agriculture* 81: 853-876.

**Tong H., F. Xia, K. Feng, G. Sun, X. Gao, L. Sun and X. Sun. 2009.** Structural characterization and in vitro antitumor activity of a novel polysaccharide isolated from the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus*. *Bioresource Technology* 100: 1682-1686.

**Tseng Y.H. and J.L. Mau. 1999.** Contents of sugars, free amino acids and free 5'-nucleotides in mushrooms, *Agaricus bisporus*, during post-harvest storage. *Journal of the Science Food and Agriculture* 79: 1519-1523.

**Varoquaux P., B. Gouble, C. Barron and F. Yildiz. 1999.** Respiratory parameters and sugar catabolism of mushroom. *Postharvest Biology and Technology* 16: 51-61.

**Ventura A., L. Colinas, D. Martínez y S. Valle. 2011.** Atmósferas modificadas, frigo conservación e inhibidores de oscurecimiento en poscosecha de *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 197-206.

**Villaescusa R. and M.I. Gil. 2003.** Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers *Postharvest Biology and Technology* 28:169-179.

**Wang X.M., J. Zhang, L.H. Wu, Y.L. Zhao, T. Li, J.Q. Li and H.G. Liu. 2014.** A mini-review of chemical composition and nutritional value of edible wild-grown mushroom from China. *Food chemistry* 151: 279-285.

**Wills R., B. Mcglasson, D. Graham y D. Joyce. 1998.** Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 240 p.

**Xiao G., M. Zhang, L. Shan, Y. You and V. Salokhe. 2011.** Extension of the shelf-life of fresh oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) by modified atmosphere packaging with chemical treatments. *African Journal of Biotechnology* 10: 9509-9517.

**Yaman O. and L. Bayoindirli. 2002.** Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. *LWT – Food Science and Technology* 35: 146–150.

**Yang J.H., H.C Lin and J.L. Mau. 2001.** Non-volatile taste components of several commercial mushrooms. *Food Chemistry* 72: 465-471.

**Yim H.S., F.Y. Chye, C.T. Tan, Y.C. Ng and C.W. Ho. 2010.** Antioxidant activities and total phenolic content of aqueous extract of *Pleurotus ostreatus* (cultivated oyster mushroom). *Malaysian Journal of Nutrition* 16: 281-291.

**Yoshida H., T. Suhagara and J. Hayashi. 1987.** Changes in the contents of carbohydrates and organic acids in fruit-bodies of Hiratake-mushroom [*Pleurotus ostreatus* (Fr.) Quel] during development and post-harvest storage. *Japanese Society for Food Science and Technology* 34: 288-297

**Zhu J., X. Wang and Y. Xu. 2006.** Effects of the postharvest storage temperature and its fluctuations on the keeping quality of *Agaricus bisporus*. *International Journal of Food Engineering* 2: 1-10.

**Zivanovic S., R.W. Buescher and K.S Kim. 2000.** Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. *Journal of Food Science* 5: 1404-140.

## 10. APÉNDICE

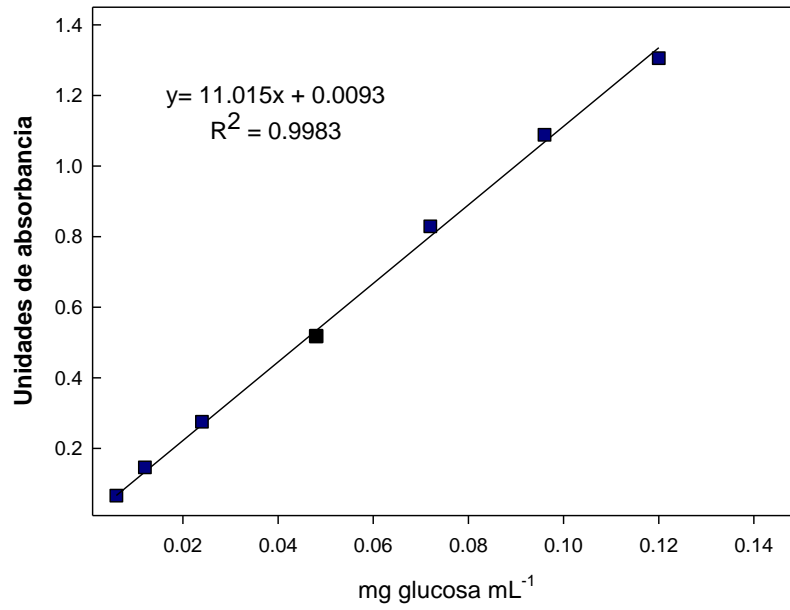


Figura A1. Curva estándar para la cuantificación de azúcares totales (Dubois *et al.*, 1956).

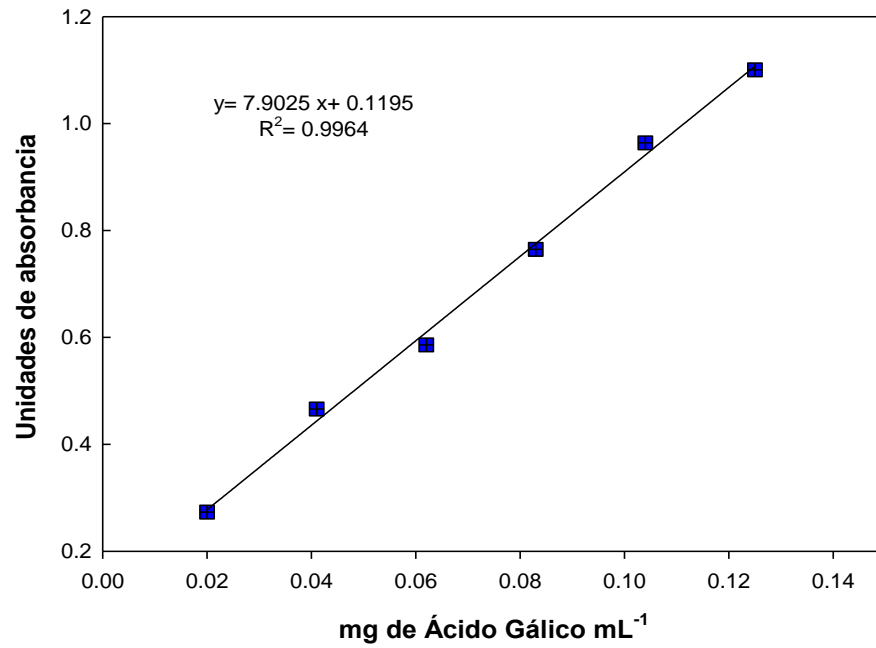


Figura A2. Curva estándar para la cuantificación de los compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965).

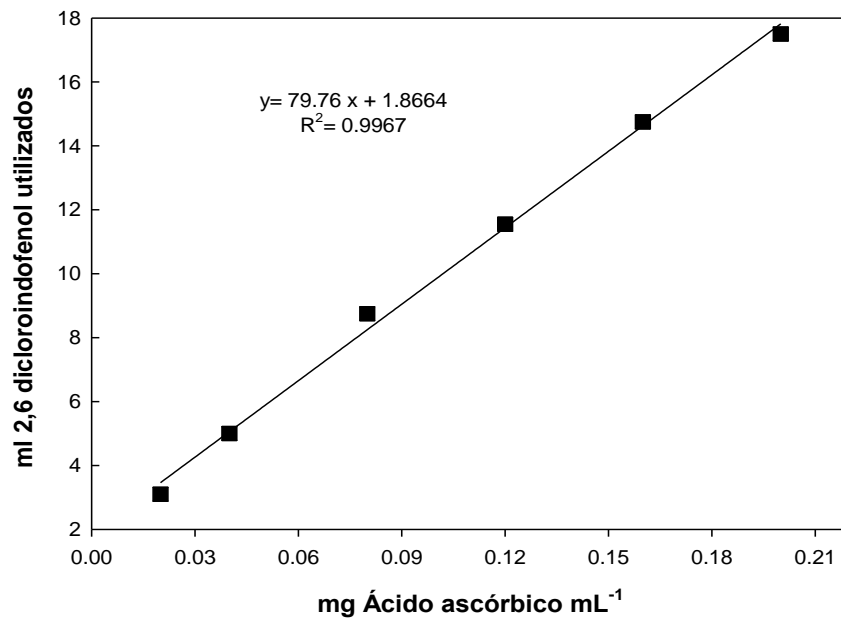


Figura A3. Curva estándar para la cuantificación de ácido ascórbico (Miller, 2001).

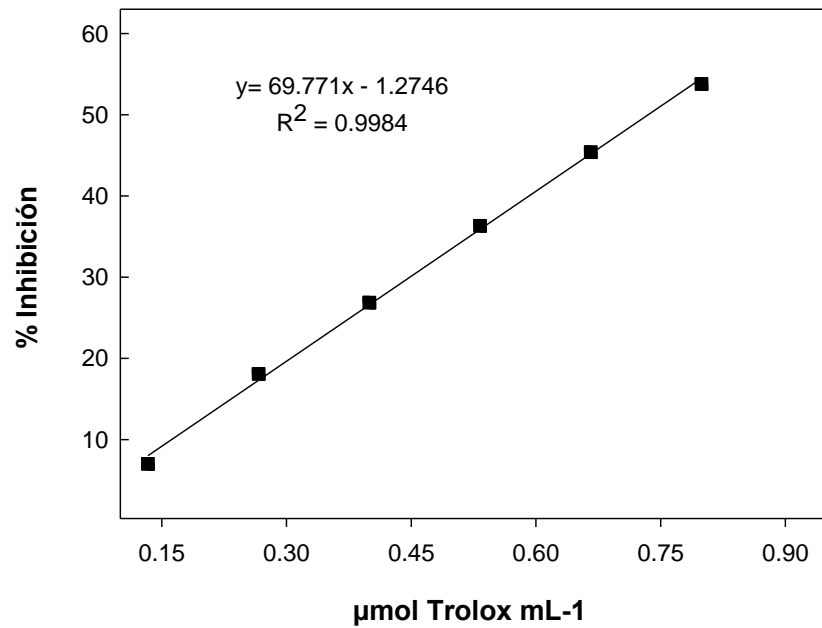


Figura A4. Curva estándar para la determinación de la actividad antioxidante por el método de DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995).



Cuadro 11. Velocidad de respiración y pérdida fisiológica de peso por cepa de *Pleurotus* spp. durante 12 días de almacenamiento a 2 °C

<b>Cepa</b>	<b>Velocidad de respiración (mL O<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pérdida fisiológica de peso (%)</b>
<i>P. pulmonarius</i>	104.055 ± 10.258 <b>b</b>	5.430 ± 0.828 <b>a</b>
<i>P. ostreatus</i>	100.344 ± 10.258 <b>b</b>	4.477 ± 0.828 <b>a</b>
IE-917	59.042 ± 10.258 <b>a</b>	4.477 ± 0.828 <b>a</b>
IE-924	100.344 ± 10.258 <b>b</b>	10.786 ± 0.828 <b>b</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Cuadro 12. Velocidad de respiración y pérdida fisiológica de peso por día evaluado en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C

<b>Días</b>	<b>Velocidad de respiración (mL O<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pérdida fisiológica de peso (%)</b>
4	128.09 ± 7.54 <b>c</b>	5.273 ± 0.357 <b>a</b>
8	83.60 ± 7.85 <b>b</b>	7.901 ± 0.473 <b>b</b>
12	61.14 ± 3.50 <b>a</b>	10.476 ± 0.541 <b>c</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Cuadro 13. Contenido de azúcares totales, acidez titulable y sólidos solubles totales (SST) por cepa de *Pleurotus* spp. evaluada durante su almacenamiento a 2 °C

<b>Cepa</b>	<b>Azúcares</b> (mg glucosa g <sup>-1</sup> bs)	<b>Acidez titulable</b> (mg ác. cítrico g <sup>-1</sup> bs)	<b>SST</b> (° Brix)
<i>P. pulmonarius</i>	5.773 ± 0.174 <b>c</b>	0.0038 ± 0.100 <b>b</b>	4.834 ± 0.178 <b>b</b>
<i>P. ostreatus</i>	4.807 ± 0.174 <b>b</b>	0.0033 ± 0.100 <b>a</b>	4.734 ± 0.178 <b>b</b>
IE-917	1.979 ± 0.174 <b>a</b>	0.0033 ± 0.100 <b>a</b>	4.718 ± 0.178 <b>b</b>
IE-924	5.055 ± 0.174 <b>b</b>	0.0032 ± 0.100 <b>a</b>	4.062 ± 0.178 <b>a</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Cuadro 14. Contenido de azúcares totales, acidez titulable y sólidos solubles totales (SST) por día evaluado en carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C

<b>Días</b>	<b>Azúcares</b> (mg glucosa g <sup>-1</sup> bs)	<b>Acidez titulable</b> (mg ác. cítrico g <sup>-1</sup> bs)	<b>SST</b> (° Brix)
0	3.928 ± 0.174 <b>a</b>	0.0034 ± 0.0 <b>b</b>	4.795 ± 0.100 <b>c</b>
4	4.131 ± 0.174 <b>b</b>	0.0035 ± 0.0 <b>b</b>	4.585 ± 0.100 <b>b</b>
8	4.760 ± 0.174 <b>c</b>	0.0035 ± 0.0 <b>b</b>	4.617 ± 0.100 <b>b</b>
12	4.796 ± 0.174 <b>c</b>	0.0032 ± 0.0 <b>a</b>	4.351 ± 0.100 <b>a</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p > 0.01$ , Duncan).

Cuadro 15. Parámetro de color ( $L^*$ ,  $WI^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) por cepa de *Pleurotus* spp. evaluada durante su almacenamiento a 2 °C

Cepa	$L^*$	$WI^*$	$a^*$	$b^*$
<i>P. pulmonarius</i>	77.282±1.352 <b>c</b>	71.879±0.723 <b>c</b>	0.593±0.092 <b>a</b>	17.817±0.187 <b>c</b>
<i>P. ostreatus</i>	78.250±1.352 <b>c</b>	72.211±0.723 <b>c</b>	0.861±0.092 <b>a</b>	15.352±0.187 <b>a</b>
IE-917	53.152±1.352 <b>a</b>	48.073±0.723 <b>a</b>	4.636±0.092 <b>b</b>	16.734±0.187 <b>b</b>
IE-924	60.462±1.352 <b>b</b>	55.516±0.723 <b>b</b>	4.864±0.092 <b>b</b>	17.803±0.187 <b>c</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p>0.01$ , Duncan).

Cuadro 16. Parámetro de color ( $L^*$ ,  $WI^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) por día evaluado en carpóforos de las especies de *Pleurotus* almacenados a 2 °C

Días	$L^*$	$WI^*$	$a^*$	$b^*$
0	67.943±1.352 <b>a</b>	61.635±0.723 <b>a</b>	2.467±0.092 <b>a</b>	16.390±0.187 <b>a</b>
4	66.852±1.352 <b>a</b>	61.970±0.723 <b>a</b>	3.053±0.092 <b>c</b>	16.469±0.187 <b>a</b>
8	66.731±1.352 <b>a</b>	60.633±0.723 <b>a</b>	2.717±0.092 <b>b</b>	16.610±0.187 <b>a</b>
12	67.620±1.352 <b>a</b>	63.441±0.723 <b>a</b>	2.718±0.092 <b>b</b>	18.233±0.187 <b>b</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p>0.01$ , Duncan).

Cuadro 17. Compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante por cepa de *Pleurotus* spp. evaluada durante su almacenamiento a 2 °C

<b>Cepa</b>	<b>Compuestos fenólicos</b> (mg ác. gálico g <sup>-1</sup> bs)	<b>Ácido ascórbico</b> (mg AA g <sup>-1</sup> bs)	<b>Actividad Antioxidante</b> (μmol Trolox g <sup>-1</sup> bs)
<i>P. pulmonarius</i>	6.596±0.178 <b>b</b>	1.060±0.038 <b>c</b>	17.959±0.479 <b>b</b>
<i>P. ostreatus</i>	5.250±0.178 <b>a</b>	0.931±0.038 <b>b</b>	13.747±0.479 <b>a</b>
IE-917	6.985±0.178 <b>b</b>	0.982±0.038 <b>b</b>	15.580±0.479 <b>a</b>
IE-924	5.215±0.178 <b>a</b>	0.833±0.038 <b>a</b>	14.151±0.479 <b>a</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p>0.01$ , Duncan).

Cuadro 18. Compuestos fenólicos, ácido ascórbico y actividad antioxidante por día evaluado en carpóforos de las especies de *Pleurotus* almacenados a 2 °C

<b>Días</b>	<b>Compuestos fenólicos</b> (mg ác. gálico g <sup>-1</sup> bs)	<b>Ácido ascórbico</b> (mg AA g <sup>-1</sup> bs)	<b>Actividad Antioxidante</b> (μmol Trolox g <sup>-1</sup> bs)
Día 0	4.927±0.178 <b>a</b>	1.149±0.038 <b>c</b>	12.002±0.479 <b>a</b>
Día 4	5.660±0.178 <b>b</b>	0.861±0.038 <b>b</b>	14.316±0.479 <b>b</b>
Día 8	6.982±0.178 <b>c</b>	1.125±0.038 <b>c</b>	17.815±0.479 <b>c</b>
Día 12	6.478±0.178 <b>c</b>	0.671±0.038 <b>a</b>	17.810±0.479 <b>c</b>

Medias con la misma letra minúscula en una misma columna son estadísticamente iguales ( $p>0.01$ , Duncan).

Cuadro 19. Nivel de correlación entre las variables de respuesta para los carpóforos de *Pleurotus* spp. durante su almacenamiento a 2 °C

	<b>Actividad antioxidante</b>	<b>Compuestos fenólicos</b>	<b>Ácido ascórbico</b>	<b>Azúcares</b>	<b>Acidez titulable</b>	<b>SST</b>
<b>Actividad antioxidante</b>	<b>1</b>	0.81	0.23	0.20	0.19	0.15
<b>Compuestos fenólicos</b>	0.81	<b>1</b>	0.19	0.03	0.15	0.23
<b>Ácido ascórbico</b>	0.23	0.19	<b>1</b>	0.06	0.50	0.45
<b>Azúcares</b>	0.20	0.03	0.06	<b>1</b>	0.31	0.60
<b>Acidez titulable</b>	0.19	0.15	0.50	0.31	<b>1</b>	0.58
<b>SST</b>	0.15	0.23	0.45	0.60	0.58	<b>1</b>