

Efecto del desinfectante, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas, microbiológicas y sensoriales del hongo silvestre comestible (*Suillus luteus*)

Effect of disinfectant, type of packaging, and storage time on the physical, microbiological, and sensory properties of edible wild mushroom (*Suillus luteus*)

Luis Márquez Villacorta¹, Carla Pretell Vásquez², Karen Correa Díaz³, Bernardino Lalopú Silva⁴, Carlos Minchón Medina⁵

RESUMEN

El objetivo fue determinar el efecto del desinfectante, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas, microbiológicas y sensoriales del hongo silvestre comestible (*Suillus luteus*), que fue recolectado de los bosques de pino de Incahuasi-Lambayeque, cuidadosamente seleccionado de acuerdo a su aspecto general y clasificado en base a tamaño y firmeza homogénea. Los hongos fueron limpiados en seco, y separados en dos grupos para ser desinfectados con dióxido de cloro (100 ppm) y peróxido de hidrógeno (100 ppm). Luego, se aplicó por aspersión una solución de cloruro de calcio al 2,5%, para mantener la estructura rígida del hongo. Cada grupo fue subdividido para ser tratados en combinación con ozono gaseoso y luz ultravioleta de 254 nm. Finalmente, los hongos fueron envasados en bandejas de tereftalato de polietileno y recubiertos con película plástica de cloruro de polivinilo perforada y sin perforar; y almacenados a 4 °C con una humedad relativa de 85-90%, durante 8 días. Cada 2 días, se evaluó pérdida de peso, color y firmeza. Los análisis microbiológico y sensorial fueron realizados cada 4 días. A partir del análisis estadístico, mediante la aplicación de pruebas paramétricas de análisis de varianza, regresión lineal múltiple, Dunnet y Duncan; así como, las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis y Mann-Whitney, se determinó el efecto significativo ($p < 0,05$) del desinfectante, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas, microbiológicas y sensoriales del hongo. Se observó que el tratamiento desinfectante dióxido de cloro-ozono y el recubrimiento con película de cloruro de polivinilo perforada produjo los mejores parámetros L^* , a^* y b^* ; mayor retención de la firmeza; menores recuentos de mesófilos aerobios viables, mohos, levaduras y psicrófilos; y mejor apariencia general en el hongo silvestre comestible *Suillus luteus*, durante 8 días de almacenamiento a 4 °C. La combinación del tratamiento desinfectante dióxido de cloro-ozono y el uso de la película de cloruro de polivinilo no perforada presentó la menor pérdida de peso.

Palabras clave: Hongo silvestre, ozono, luz ultravioleta de onda corta, atmósfera modificada, dióxido de cloro.

¹ Ingeniero en Industrias Alimentarias, Maestro en Tecnología de Alimentos. Docente de la Universidad Privada Antenor Orrego (lmarquezv01@yahoo.es)

² Ingeniera en Industrias Alimentarias, Maestra en Tecnología de Alimentos. Docente de la Universidad Privada Antenor Orrego

³ Bachiller de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Egresada de la Universidad Privada Antenor Orrego

⁴ Ingeniero Agrónomo, Director Regional de Agrorural - Lambayeque

⁵ Maestro en Ciencias con mención en Estadística. Docente Principal de la Universidad Nacional de Trujillo

ABSTRACT

The goal of this research was to determine the effect of disinfectants, type packaging, and storage on the physical, microbiological, and sensory properties of edible wild mushroom (*Suillus luteus*). The raw material collected from the pine forests of the village Incahuasi-Lambayeque (Peru) was carefully selected according to their general appearance and classified on the basis of uniform size and strength. Samples were dry cleaned and separated in two groups to be, initially, disinfected with chlorine dioxide and hydrogen peroxide (100 ppm). Then, a solution of calcium chloride at 2.5% was applied by spraying to maintain the rigid structure of the mushroom. Subsequently, each group was subdivided for treatment in combination with ozone gas and ultraviolet radiation of 254 nm. Finally the samples were packaged in trays of polystyrene and plastic film coated with polyvinyl chloride perforated and unperforated, and stored at 4 °C with a relative humidity of 85 to 90%, for 8 days. Every 2 days, weight loss, color, and firmness of mushrooms were evaluated. Microbiological and sensory analysis were carried out every 4 days. From the statistical analysis, by applying parametric tests of analysis of variance, multiple linear regression of Dunnett, and Duncan; as well as non parametric tests of Kruskal Wallis and Mann-Whitney, significant effect ($p < 0.05$) of the disinfection treatment, type of packaging, and storage time on the physical, microbiological, and sensory characteristics of the mushroom were determined. It was observed that chlorine dioxide - ozone disinfection treatment, and perforated polyvinyl chloride film coating produced the best L^* , a^* b^* parameters, greater firmness retention, low viable counts of mesophilic aerobes, molds, yeasts, and psychrophiles; and better overall appearance in mushroom *Suillus luteus*, for 8 days of storage at 4 °C. The combination of chlorine dioxide - ozone disinfection treatment and the use of non-perforated polyvinyl chloride film showed the lowest weight loss.

Key words: Wild mushroom, ozone, ultraviolet radiation, modified atmosphere, chlorine dioxide.

1. INTRODUCCION

En el mundo, se consume alrededor de 3 millones de toneladas de hongos de treinta especies diferentes. El mercado se encuentra segmentado en dos partes: consumo de hongos cultivados (2 millones de toneladas) y de hongos silvestres (un millón de toneladas); cifras que tienden a elevarse en la medida en que aumenta la preferencia por productos naturales y saludables (CCI, 2003).

Una gran cantidad de hongos se recolectan y cosechan en diferentes lugares del mundo. La producción de hongos comestibles es una actividad relativamente nueva en Latinoamérica, pero tiene amplias perspectivas (Cisterna, 2007). Los hongos silvestres comestibles crecen espontáneamente en la naturaleza sobre diversos sustratos, no se los cultiva en forma comercial; y después de su procesamiento son apropiados para utilizarse como alimento (Deschamps, 2002).

El Perú tiene gran potencial para el desarrollo de los hongos silvestres comestibles debido a las buenas condiciones climáticas y a las amplias superficies forestales existentes, de ahí la importancia en las investigaciones de su industrialización en la actualidad. Además, el mercado internacional está abierto para el comercio de los hongos ya que en muchos países la demanda sobre-

pasa la producción. El *Suillus luteus* es una de las especies que crece en los bosques de pino, es muy apreciado en el mercado mundial y tiene un alto valor nutritivo (Andina agencia peruana de noticias, 2008).

En la sierra de Lambayeque, la comunidad de Incahuasi cuenta con 500 ha de pino, cuyo potencial de producción de hongos comestibles, de *Suillus luteus*, asciende a más de 200 toneladas al año, durante los meses de noviembre a abril; los cuales, no son explotados a nivel industrial. Actualmente, la comunidad de Incahuasi produce un promedio de 2 toneladas de hongo deshidratado al mes lo que equivale a 33,3 toneladas de producto fresco, es decir, solo se aprovecha el 10% de la materia prima; su mercado principal es Europa que compra aproximadamente el 95% de la producción, el resto es destinado al mercado nacional. El costo de producción del hongo deshidratado es de 25 Nuevos Soles por kilogramo de producto y su precio de venta, en el mercado nacional, puede llegar hasta 50 Nuevos Soles. La producción de los hongos en la comunidad de Incahuasi ha permitido la generación de nuevas fuentes de trabajo mejorando el nivel de vida en sus pobladores. La aplicación de nuevas tecnologías postcosecha permitiría extender el tiempo de vida útil de los hongos frescos y comercializarlos mínimamente

procesados, lo cual será más rentable (Andina agencia peruana de noticias, 2010).

El *Suillus luteus* tiene un sombrero convexo, hasta 12 cm de diámetro, de cutícula muy viscosa, separable con facilidad de la pulpa o carne, color blanco-amarillento a marrón-rojizo, cubierta por un mucus de tonalidades violáceas con mechas a modo de fibras radiales que la recorren en toda su superficie (Deschamps, 2002). Tiene carne muy tierna, que almacena gran cantidad de agua, de color blanquecino o amarillenta-pálida, no tiene olor o sabor particulares. Presenta, en peso seco, 20,32% de proteína, 3,60% de grasa, 56,58% de carbohidratos y 6,10% de cenizas (FAO, 2004; Sociedad Micológica Errotari, 2009).

El corto tiempo de vida comercial de los hongos comestibles es debido a su elevada tasa de respiración, tendencia al pardeamiento u oscurecimiento y porque no tienen una barrera protectora contra la pérdida de agua y ataque de microorganismos. Existen varios indicadores que determinan la calidad de los hongos, entre ellos: blancura de la pulpa, desarrollo del sombrero, elongación del tallo, número de esporas maduras, pérdida de textura, contenido de manitol, pérdida de peso y deterioro microbiano (Kim y otros, 2006; Castro y otros, 2008).

El lavado y desinfección de los hongos con agentes antimicrobianos y antipardeamiento han ganado popularidad comercial, debido a que mejoran la calidad, y controlan el deterioro, y, aumentan la aceptabilidad del consumidor (Cliffe-Byrnes y O'Beirne, 2008). Compuestos clorados (dióxido de cloro, hipoclorito de sodio); alcalinos, amonio cuaternario y de oxígeno activo (peróxido de hidrogeno, ozono) son agentes desinfectantes comúnmente usados (Garmendia y Vero, 2006).

El dióxido de cloro (ClO_2), tiene acción antimicrobiana, principalmente por su capacidad oxidante, que es superior al hipoclorito de sodio (2 a 3 veces). Se usa en forma gaseosa y en solución acuosa, en el lavado de vegetales frescos (González y otros, 2005). El peróxido de hidrógeno (H_2O_2), reduce la carga microbiana en mayor escala que el hipoclorito de sodio, tiene elevado poder bactericida, es de fácil aplicación y no presenta residuos tóxicos luego de su remoción con catalasa (González y otros, 2005; Moda y otros, 2005). El ozono (O_3) no deja residuos químicos, no confiere aromas u olores particulares al producto final (como ocurre con otros desinfectantes), es parcialmente soluble en agua y, como la mayoría de los gases, aumenta su solubilidad y poder germici-

da conforme disminuye la temperatura (Xu, 2008). Se ha demostrado, recientemente, que la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) es una técnica efectiva de desinfección superficial, que reduce la carga microbiana en los vegetales. La radiación con luz UV-C, es aplicada en la sanitización de agua, aire, superficie de alimentos, envases y contenedores de alimentos. La luz UV-C actúa como un agente antimicrobiano directo, debido a que daña el ADN e indirecto debido a que induce a frutas y hortalizas a generar un mecanismo de resistencia contra los microorganismos patógenos (Allende y otros, 2006; Rico y otros, 2007).

Existen varios métodos para extender el tiempo de vida útil de los hongos frescos. Ellos incluyen el empaque en atmósfera modificada, almacenamiento en atmósferas controladas, aplicación de coberturas, refrigeración y aspersión con solución de cloruro de calcio. El empaque en atmósfera modificada combinada con el almacenamiento en frío es la técnica más simple, económica y efectiva; debido a que se reducen las pérdidas y se mantiene la calidad (Kim y otros, 2006; Sapata y otros, 2009).

Se han reportado investigaciones que utilizaron el empaque con películas de PVC en atmósfera modificada, en combinación con bajas temperaturas. Se consiguió incrementar el tiempo de vida útil de los hongos enteros y mínimamente procesados, retardando la decoloración, el agrietado del sombrero y reduciendo la pérdida de peso (Simón y otros, 2005; Kim y otros, 2006; Castro y otros, 2008).

Ante lo descrito anteriormente y a la importancia de los hongos en la alimentación humana, la presente investigación plantea los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto del desinfectante, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas, microbiológicas y sensoriales del hongo silvestre comestible.
- Determinar el tratamiento desinfectante que permita obtener las mejores características físicas, microbiológicas y sensoriales del hongo silvestre comestible, durante el almacenamiento.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

2.1. Lugar de ejecución

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

2.2. Materia prima

Los hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) fueron recolectados de los bosques de pino de la localidad de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque. Las muestras fueron cuidadosamente seleccionadas de acuerdo a su aspecto general, sin signos de deterioro, se clasificaron considerando el diámetro de sombrero de 8 - 12 cm, la altura de tallo de 4 cm aproximadamente y firmeza homogénea. Para mantener los hongos en condiciones de baja temperatura durante su transporte, fueron puestos cuidadosamente en recipientes herméticos que se acondicionaron con hielo gelpack hasta llegar a la ciudad de Trujillo (9 horas), donde fueron extendidas sobre mesas a temperatura ambiente durante la noche.

2.3. Tratamientos desinfectantes

La mañana siguiente, las muestras fueron limpiadas en seco y separadas en dos grupos para ser tratadas con los desinfectantes; dióxido de cloro (10%, Linros S.A.-Perú) y peróxido de hidrógeno (30%, Merck-Alemania) en solución acuosa a 100 ppm cada uno. La aplicación de ambas soluciones se realizó durante un minuto mediante una gasa estéril para evitar la absorción del agua por parte del hongo que es altamente higroscópico. Luego, se aplicó por aspersión una solución de cloruro de calcio (Su Man S.A.-Perú) al 2,5%, con la finalidad de mejorar y mantener la estructura rígida del hongo. Posteriormente, cada grupo fue subdividido en dos partes para ser tratados en combinación con ozono gaseoso (Mega Ozono S.A.C.- Perú, modelo OZ-500, flujo de 500 mg/h) durante una hora; y luz UV-C longitud de onda 254 nm (lámpara germicida Philips, modelo TUV G30T8, 30 watts) durante 20 segundos. Finalmente, las muestras tratadas con los diferentes tratamientos desinfectantes fueron envasadas en bandejas de PET (19 x 12 x 6,5 cm), recubiertas con película plástica de PVC (U-Thil, Argentina) perforada (15 microperforaciones de 1 mm de diámetro) y sin perforar; y almacenadas a 4 °C bajo unahumedad relativa de 85-90%, durante 8 días. Las características físicas fueron evaluadas cada 2 días; las características microbiológicas y sensoriales cada 4 días.

La nomenclatura de los tratamientos estudiados fue:

Tratamiento desinfectante

peróxido de hidrógeno-luz UV (PUV)

peróxido de hidrógeno-ozono (POZ)

dióxido de cloro- luz UV (DUV)

dióxido de cloro-ozono (DOZ)

Tipo de empaque

película de PVC perforada (P)

película de PVC sin perforar (NP)

2.4. Análisis

2.4.1. Pérdida de peso

Se determinó por diferencia de peso en los diferentes tiempos de evaluación. Los datos se expresaron en porcentaje, respecto al peso inicial (Kim y otros, 2006).

2.4.2. Color

Las características del color en la superficie del sombrero, luego de retirada la cutícula fueron determinadas usando el colorímetro Kónica-Minolta, modelo CR-400 (Japón), para los valores de: 1) L*, luminosidad (0, negro; 100, blanco), 2) a* (de rojo a verde) y, 3) b* (de amarillo a azul). El colorímetro fue calentado durante 20 minutos y calibrado con un blanco estándar. Las medidas fueron tomadas en seis puntos diferentes del hongo y el promedio de los valores, se registraron según la escala CIE-L*a*b* (Kim y otros, 2006; Ruíz y otros, 2010).

2.4.3. Firmeza

La firmeza fue evaluada mediante la determinación de la fuerza de penetración en Newtons (N), utilizando un penetrómetro (Wagner Instruments, Fruit test - FT 02, Italia). Las medidas fueron tomadas en seis puntos diferentes del hongo y se registró el promedio de los valores (Moda y otros, 2005).

2.5. Análisis microbiológico

Veinticinco gramos de hongo fueron asepticamente pesados y homogenizados con 225 mL de agua peptonada estéril en una licuadora durante 2 minutos en baja velocidad. Diluciones decimales fueron hechas con el mismo diluyente. El recuento total de mesófilos aerobios viables fue determinado en agar de recuento en placa (PCA, Merck, Alemania) después de 72 horas de incubación a 30 °C (International Commission on Microbiological Specifications for Foods: ICMSE,

1988). Mohos y levaduras fueron determinados en agar papa dextrosa (PDA, Merck, Alemania) después de 5 días de incubación a 25 °C (ICMSF, 1988). Los psicrófilos fueron determinados en agar de recuento en placa después de 5 días de incubación a 7 °C (ICMSF, 2001) (Simón y otros, 2005; Castro y otros, 2008).

2.6 Análisis sensorial

La evaluación sensorial fue usada para discriminar entre la apariencia general que podría establecer el tiempo de vida del hongo, con grupos de veinte panelistas no entrenados. Fue realizada en base a una escala hedónica de 9 puntos, donde el valor 0 correspondió a muy desagradable y 9 a muy agradable. El valor de 6 fue considerado el punto de corte para la aceptabilidad del producto (Castro y otros, 2008).

2.7 Análisis estadístico

Las características físicas fueron evaluadas por el análisis de varianza (ANVA) y análisis de regresión lineal múltiple. Los recuentos microbiológicos se analizaron mediante análisis de varianza, prueba de Dunnett y prueba Duncan. Los valores del análisis sensorial fueron evaluados mediante las pruebas de Kruskal Wallis y Mann-Whitney. El nivel de significancia empleado fue $p < 0,05$. Se utilizó el programa SPWA para Windows (Statistical Package for The Social Sciences), versión 18.0 (SPSS Inc., 2009).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Pérdida de peso

La pérdida de peso en los hongos silvestres comestibles empacados en bandeja PET y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar se incrementó en función al tiempo de almacenamiento (Figura 1). La velocidad de pérdida fue notoriamente mayor a partir del día 6, en los hongos recubiertos con película PVC perforada, con los tratamientos desinfectantes peróxido de hidrógeno-UV y peróxido de hidrógeno-ozono, que presentaron los valores más altos de pérdida al final del almacenamiento con 9,1% y 7,7%, respectivamente. En contraste, los tratamientos recubiertos con película PVC no perforada, y desinfectados con los tratamientos dióxido de cloro-ozono y dióxido de cloro-UV, mostraron las menores pérdidas con 5,19% y 5,44%, respectivamente, al día 8 de almacenamiento.

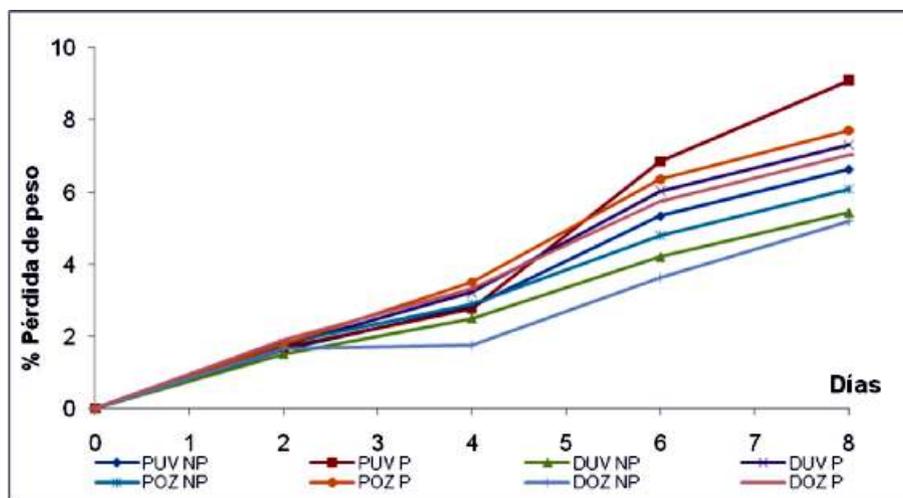
La pérdida de peso en los hongos se debió principalmente a la velocidad de transpiración del agua y a la pérdida del CO₂ durante la respiración. La pérdida por transpiración a una temperatura dada depende de la humedad relativa presente dentro del empaque, que depende de la velocidad de transmisión del vapor de agua a través de la película (Simón y otros, 2005). Los hongos no poseen una estructura epidérmica protectora para prevenir el exceso de pérdida de humedad, por lo tanto, tienen una elevada velocidad de transpiración. Diferentes investigaciones han reportado la importancia de las condiciones de humedad óptimas dentro del empaque para prevenir la pérdida de peso y el exceso de condensación de agua (Simón y otros, 2005; Kim y otros, 2006). En esta investigación, la mayor pérdida de peso en los hongos recubiertos con película PVC perforada se puede atribuir a su mayor permeabilidad.

Un comportamiento similar fue observado en la pérdida de peso de hongos *Agaricus bisporus* enteros y cortados, empacados durante 6 días en películas de PVC y poliolefina a 12 °C y 80% de humedad relativa (Kim y otros, 2006); en hongos *Agaricus bisporus*, cortados y empacados en películas de PVC perforadas y sin perforar, y polipropileno microperforado, durante 13 días a 2 °C (Simón y otros, 2005); y en hongos enteros *Shiitake* empacados con películas de polipropileno y polietileno, durante 16 días a 5 °C y 77% de humedad relativa (Parentelli y otros, 2007).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0,05$) de los tratamientos desinfectantes, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso (Cuadro 1). El modelo de regresión fue precisado por un valor r^2 de 0,992.

Kim y otros (2006) reportaron un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% en las variables películas PVC y poliolefina en hongos *Agaricus bisporus* enteros y cortados, sobre el porcentaje de pérdida de peso que oscilo entre 7% y 3% respectivamente. Simón y otros (2005) encontraron un efecto significativo, a un nivel de confianza del 95%, en las variables películas PVC perforadas, PVC no perforadas y polipropileno microperforado en hongos *Agaricus bisporus* cortados, sobre el porcentaje de pérdida de peso de 5,7%, 4% y 1,97%, respectivamente.

Con la finalidad de construir las ecuaciones que representen el comportamiento de la pérdida de peso, las variables cualitativas tipo de empaque no perforado y perforado y tratamientos desinfectantes fueron



Peróxido de hidrógeno-luz UV, no perforado (PUV NP); Peróxido de hidrógeno-luz UV, perforado (PUV P); Dióxido de cloro-luz UV, no perforado (DUV NP); Dióxido de cloro-luz UV, perforado (DUV P); Peróxido de hidrógeno-ozono, no perforado (POZ NP); Peróxido de hidrógeno-ozono, perforado (POZ P); Dióxido de cloro-ozono, no perforado (DOZ NP); Dióxido de cloro-ozono, perforado (DOZ P).

Figura 1. Pérdida de peso en hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) con tratamientos desinfectantes y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar.

Cuadro 1

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA PÉRDIDA DE PESO EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetro	Fuente variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Pérdida peso	Regresión	1415,27	5	283,05	1886,24	0,000
	Residual	11,25	75	0,15		
	Total	1426,53	80			

trabajadas como variables indicadoras, tomando el valor o las variables de referencia tratamiento desinfectante dióxido de cloro-UV recubierta con película no perforada y 1 las variables restantes de tratamiento desinfectante y película PVC perforada, respectivamente, para ser incluidas en el modelo; también, se tuvo la variable cuantitativa tiempo de almacenamiento (t). Todas las variables fueron encontradas significativas ($p < 0,05$) y se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple (Cuadro 2). Este mismo criterio estadístico fue aplicado en el análisis de las características físicas de color y firmeza.

El modelo general fue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{cobertura} + \beta_2 \text{ tiempo}$$

Las ecuaciones obtenidas para los tratamientos fueron:

- PUV NP: % Pérdida peso = 0,82300t
- DUV NP: % Pérdida peso = 0,69020t
- POZ NP: % Pérdida peso = 0,71319t
- DOZ NP: % Pérdida peso = 0,62588t
- PUV P: % Pérdida peso = 1,07433t
- DUV P: % Pérdida peso = 0,94153t
- POZ P: % Pérdida peso = 0,99451t
- DOZ P: % Pérdida peso = 0,87721t

Las ecuaciones obtenidas indican que la pérdida de peso en las muestras con tratamiento desinfectante y tipo de empaque se relacionan linealmente con el tiempo de almacenamiento, por lo que la aplicación de las variables evaluadas tienen un efecto significativo sobre la pérdida de peso.

3.2. Color

El color en los hongos silvestres comestibles fue afectado por los tratamientos desinfectantes, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento (Figura 3). La evaluación se fundamentó en el valor de la luminosidad (L^*), componentes del verde al rojo (a^*) y componentes del azul al amarillo (b^*). Los valores de luminosidad de los hongos recubiertos con película PVC perforada y tratamientos desinfectantes dióxido de cloro-ozono y peróxido de hidrógeno-ozono fueron los más

altos con 85,38 y 83,61; respectivamente, al final del almacenamiento.

El valor L^* disminuyó con el tiempo de almacenamiento, la medida de color en los ejes fue de claro a oscuro. Esta caída de valores indicó que el color en la parte carnosa del hongo (sombbrero y tallo) fue oscureciendo. En la Figura 3, se observa que en todas las interacciones tratamientos desinfectantes y tipo de empaque, los valores a^* aumentaron al transcurrir los días de almacenamiento. Una mejor retención del color en

Cuadro 2
REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA LA PÉRDIDA DE PESO EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetro	Variable ²	β	Error Estándar	t	p
Pérdida peso ¹	tiempo	0,690	0,02	34,91	0,000
	perforado x tiempo	0,251	0,02	14,21	0,000
	Tiempo x PUV	0,133	0,03	5,31	0,000
	Tiempo x POZ	0,053	0,03	2,12	0,037
	Tiempo x DOZ	-0,064	0,03	-2,57	0,012

¹ Modelo no intercepto (parte del origen)

² Referencia: Desinfectante, Dióxido de cloro-luz UV; Envase, no perforado

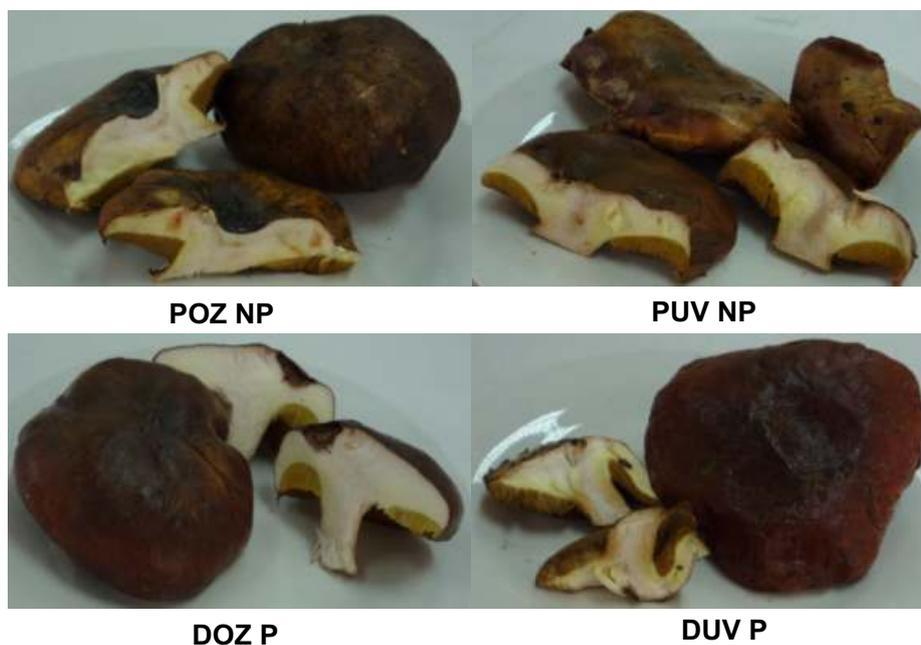


Figura 2. Visualización del color en hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) con mejores tratamientos desinfectantes y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar al día 8 de almacenamiento.

la parte carnosa del hongo se observó en los productos recubiertos con película PVC perforada con tratamientos desinfectantes de dióxido de cloro-ozono y dióxido de cloro-UV con valores de -1,49 y 2,54, respectivamente, al día 8 de almacenamiento. Por otro lado, el incremento de los valores b^* indicaron un oscurecimiento relacionado al cambio del color desde tonalidades amarillas hacia anaranjadas. Los hongos recubiertos con película PVC perforada y tratamiento desinfectante dióxido de cloro-ozono conservaron mejor el color hasta el final del almacenamiento, reportando un valor de 21,92.

El color es un factor de calidad de importancia fundamental en los alimentos, ya que la apreciación visual es una característica decisiva en la elección de los vegetales (Martínez-Romero y otros, 2007). El parámetro de luminosidad L^* muestra una tendencia a un ligero oscurecimiento durante el almacenamiento de los hongos *Pleurotus ostreatus*, debido principalmente a las reacciones de pardeamiento enzimático natural por la polifenoloxidasas presente (Ruiz y otros, 2010). El oscurecimiento enzimático en hongos *Agaricus bisporus* es causado por la polifenoloxidasas que cataliza la oxidación de sustratos fenólicos a quinonas, originando compuestos llamados melaninas (Cliffe y O'Beirne, 2008). Los comportamientos de a^* y b^* en los hongos *Pleurotus ostreatus* reflejan una combinación hacia tonos oscuros, lo que demuestra un pardeamiento más acentuado en el producto fresco durante el almacenamiento (Ruiz y otros, 2010).

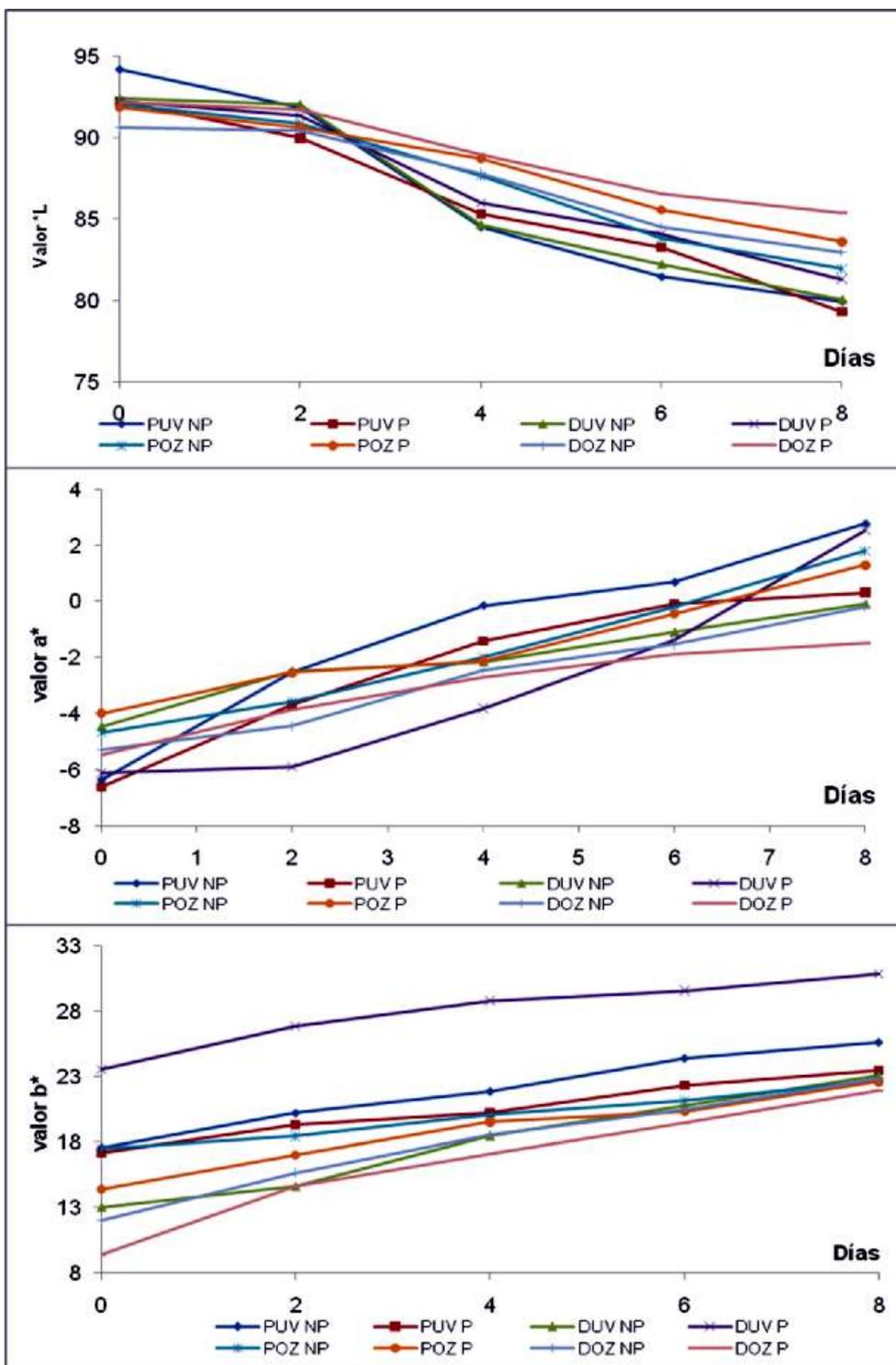
Comportamientos similares en los parámetros de color en la parte carnosa fueron observados en hongos *Agaricus bisporus*, cortados y empacados en bolsas PA-190, tratados con dióxido de cloro y peróxido de hidrógeno (10-100 ppm) almacenadas a 4 y 8 °C, durante 7 días (Cliffe y O'Beirne, 2008); en hongos *Pleurotus ostreatus* enteros tratados, mediante impregnación a vacío, con una solución conservante de ácido ascórbico y ácido cítrico, empacados en bandejas PS recubiertas con películas PVC y polipropileno, y almacenados durante 12 días a 4 °C (Ruiz y otros, 2010).

Las tendencias de las curvas para los valores de parámetros de color, así como, las diferencias relacionadas al tiempo pudieron ser mejor visualizadas al final del almacenamiento (Figura 2).

El análisis estadístico de los parámetros del color en la parte carnosa de los hongos indicó que existió un efecto significativo ($p < 0,05$) de los tratamientos desinfectantes, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre L^* , a^* y b^* (Cuadro 3). Así mismo, se evaluaron los valores del coeficiente de determinación (r^2) para establecer la bondad del ajuste al modelo de regresión. Los valores fueron 0,945; 0,898; y 0,655; para L^* , a^* y b^* , respectivamente, que indican que los modelos obtenidos explican adecuadamente y en un alto grado, la dependencia entre variables independientes y variables de respuesta. El análisis de regresión lineal múltiple (Cuadro 4) permitió establecer las ecuaciones que representen el comportamiento de los parámetros de color.

Cuadro 3
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LOS PARÁMETROS DE COLOR L^* , A^* Y B^* EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetro	Fuente variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
L^*	Regresión	1392,46	6	232,08	208,87	0,000
	Residual	81,11	73	1,11		
	Total	1473,57				
a^*	Regresión	416,07	5	83,21	130,72	0,000
	Residual	47,11	74	0,64		
	Total	463,17				
b^*	Regresión	1097,33	4	274,33	35,72	0,000
	Residual	576,04	75	7,68		
	Total	1673,37				



Peróxido de hidrógeno-luz UV, no perforado (PUV NP); Peróxido de hidrógeno-luz UV, perforado (PUV P); Dióxido de cloro-luz UV, no perforado (DUV NP); Dióxido de cloro-luz UV, perforado (DUV P); Peróxido de hidrógeno-ozono, no perforado (POZ NP); Peróxido de hidrógeno-ozono, perforado (POZ P); Dióxido de cloro-ozono, no perforado (DOZ NP); Dióxido de cloro-ozono, perforado (DOZ P).

Figura 3. Valores L*, a*, y b* en hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) con tratamientos desinfectantes y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar.

Cuadro 4
REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARÁMETROS DE COLOR L*, a* y b*
EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON
TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON
PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetro	Variable ²	β	Error Estándar	t	p
L*	Constante	92,721	0,26	351,85	0,000
	Perforado	0,690	0,24	2,93	0,005
	DOZ	-0,951	0,47	-2,02	0,047
	tiempo	-1,602	0,06	-25,79	0,000
	tiempo*PUV	-0,138	0,07	-2,03	0,046
	tiempo*POZ	0,296	0,07	4,35	0,000
	tiempo*DOZ	0,601	0,10	5,78	0,000
a*	Constante	-5,175	0,19	-27,57	0,000
	Perforado	-0,550	0,18	-3,08	0,003
	POZ	0,794	0,23	3,40	0,001
	tiempo	0,751	0,04	19,92	0,000
	tiempo*PUV	0,197	0,05	4,05	0,000
	tiempo*DOZ	-0,140	0,05	-2,87	0,005
b*	Constante	17,128	0,69	24,72	0,000
	Perforado	1,457	0,62	2,35	0,021
	POZ	-2,729	0,76	-3,59	0,001
	DOZ	-4,886	0,76	-6,44	0,000
	tiempo	1,060	0,11	9,67	0,000

² Referencia: Desinfectante, Dióxido de cloro-luz UV; Envase, no perforado

Las ecuaciones obtenidas para los tratamientos fueron:

$$\begin{aligned} \text{PUV NP: } L^* &= 97,72118 - 1,74028t \\ \text{DUV NP: } L^* &= 97,72118 - 1,60186t \\ \text{POZ NP: } L^* &= 97,72118 - 1,30561t \\ \text{DOZ NP: } L^* &= 91,77050 - 1,00125t \\ \text{PUV P: } L^* &= 93,41117 - 1,74028t \\ \text{DUV P: } L^* &= 93,41117 - 1,60186t \\ \text{POZ P: } L^* &= 93,41117 - 1,30561t \\ \text{DOZ P: } L^* &= 92,46050 - 1,00125t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PUV NP: } a^* &= -5,17463 + 0,94800t \\ \text{DUV NP: } a^* &= -5,17463 + 0,75087t \\ \text{POZ NP: } a^* &= -4,38112 + 0,75087t \\ \text{DOZ NP: } a^* &= -5,17463 + 0,61125t \\ \text{PUV P: } a^* &= -5,72438 + 0,94800t \\ \text{DUV P: } a^* &= -5,72438 + 0,75087t \\ \text{POZ P: } a^* &= -4,93088 + 0,75087t \\ \text{DOZ P: } a^* &= -5,72438 + 0,61125t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PUV NP: } b^* &= 17,12800 + 1,05956t \\ \text{DUV NP: } b^* &= 17,12800 + 1,05956t \\ \text{POZ NP: } b^* &= 14,39950 + 1,05956t \\ \text{DOZ NP: } b^* &= 12,24250 + 1,05956t \\ \text{PUV P: } b^* &= 17,12800 + 1,05956t \\ \text{DUV P: } b^* &= 17,12800 + 1,05956t \\ \text{POZ P: } b^* &= 15,85600 + 1,05956t \\ \text{DOZ P: } b^* &= 13,69900 + 1,05956t \end{aligned}$$

Cliffe y O'Beirne (2008) reportaron un efecto significativo, a un nivel de confianza del 95%, del tratamiento desinfectante y tiempo de lavado sobre las características de color en hongos *Agaricus bisporus* cortados. Ruiz y otros (2010) determinaron un efecto significativo a un nivel de confianza del 99%, de la variable tipo de película (PVC y polipropileno) sobre las características de color en hongos *Pleurotus ostreatus* enteros tratados con impregnación a vacío con una solución conservante de ácido cítrico y ácido ascórbico.

3.3. Firmeza

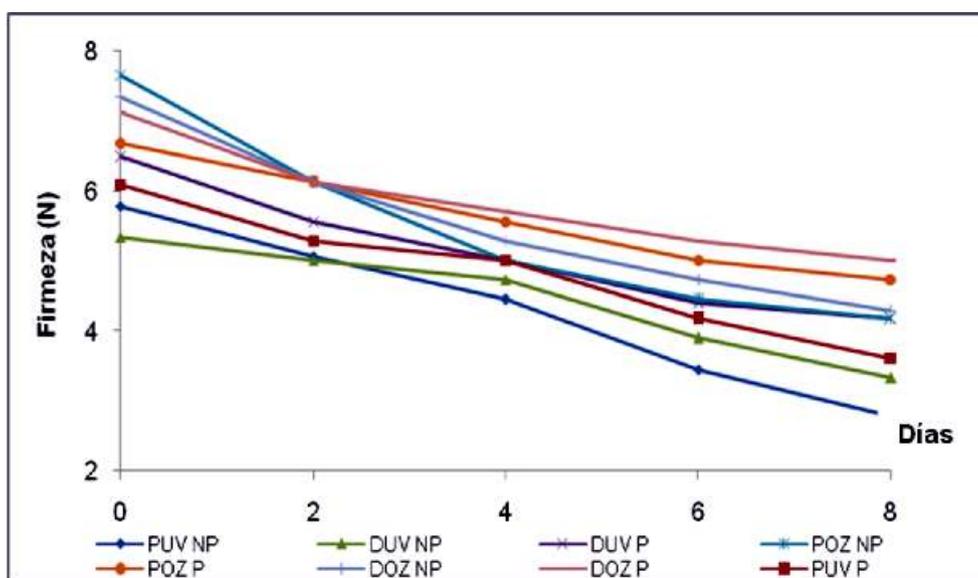
La firmeza en los hongos disminuyó durante el almacenamiento en todas las muestras con tratamientos desinfectantes y empacadas en PVC perforado y sin perforar (Figura 4). Sin embargo, hongos recubiertos con película PVC perforada y tratamientos desinfectantes dióxido de cloro-ozono y peróxido de hidrógeno-ozono presentaron mejor retención de la firmeza hasta el día 8 de almacenamiento, con valores de 5,00 y 4,73 N, respectivamente.

La firmeza es una cualidad sensorial, con un rol relevante en la determinación de la aceptabilidad por parte de los consumidores. La firmeza de los frutos está influenciada por factores estructurales y químicos, entre los que se encuentran los constituyentes bioquímicos de los organelos celulares, el contenido de agua y la composición de la pared celular. Por tanto, cualquier agente externo que afecte a uno o varios de estos factores puede modificar la firmeza y, en consecuencia, inducir cambios que modifiquen la calidad final del producto (Martínez-Romero y otros, 2007).

La pérdida de firmeza en hongos *Agaricus bisporus* se relaciona con la degradación de las proteínas y los polisacáridos, el encogimiento de las hifas, el rompimiento de las vacuolas centrales y la expansión de los

espacios intracelulares en la superficie del sombrero (Parentelli y otros, 2007; Antmann y otros, 2008). Durante 18 días de almacenamiento, a 5 °C y 80-85% de humedad relativa, los hongos *Shiitake* empacados en bolsas de polietileno perforadas mantuvieron mejor la firmeza en comparación a los empacados en bolsas sin perforar. Esto puede ser explicado por una menor velocidad y grado de deshidratación. Las reacciones bioquímicas responsables de la degradación del tejido en hongos son inhibidas por atmósferas con bajo contenido de O₂ y alto contenido de CO₂. Sin embargo, hongos empacados en bolsas sin perforar mostraron valores más bajos de firmeza a pesar de contener alta concentración de CO₂. Por lo tanto, la formación de una atmósfera saturada en vapor de agua en las bosas sin perforar podría ser la responsable de la aceleración de suavidad o menor firmeza en los hongos (Antmann y otros, 2008).

La adición del cloruro de calcio a los hongos antes de su empaque permitió mantener de manera general la firmeza hasta el final del almacenamiento, aún cuando los hongos *Suillus luteus* presentan una estructura porosa en la parte carnosa. El cloruro de calcio es ampliamente usado como un agente conservante y mejorador de la firmeza en vegetales enteros o mínimamente procesados; su uso evita el desarrollo de



Peróxido de hidrógeno-luz UV, no perforado (PUV NP); Peróxido de hidrógeno-luz UV, perforado (PUV P); Dióxido de cloro-luz UV, no perforado (DUV NP); Dióxido de cloro-luz UV, perforado (DUV P); Peróxido de hidrógeno-ozono, no perforado (POZ NP); Peróxido de hidrógeno-ozono, perforado (POZ P); Dióxido de cloro-ozono, no perforado (DOZ NP); Dióxido de cloro-ozono, perforado (DOZ P).

Figura 4. Firmeza de hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) con tratamientos desinfectantes y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar.

acidez excesiva, sabores extraños y formación de compuestos cancerígenos vinculados al uso de cloro. El ión calcio está involucrado en el mantenimiento de la textura, forma enlaces o puentes con los grupos carboxilo libres de las pectinas y otros polisacáridos, lo que fortalece la pared celular. Los complejos de calcio mejoran la integridad de la estructura a nivel de la pared celular y en las laminillas medias de los polisacáridos, como el ácido poligalacturónico (Martín-Diana y otros, 2007).

Tendencias similares en la retención de la firmeza fueron observados en hongos enteros *Shiitake* empacados con películas de polipropileno y polietileno, durante 16 días, a 5 °C y 77% de humedad relativa (Parentelli y otros, 2007); en hongo entero *Shiitake* en bolsas de polietileno perforadas y sin perforar, durante 18 días a 5 °C y 80-85% de humedad relativa (Antmann y otros, 2008).

El análisis de varianza indicó la diferencia significativa ($p < 0,05$) de los tratamientos desinfectantes, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza (Cuadro 5). El ajuste al modelo de regresión fue denotado por un valor r^2 de 0,927. El análisis de

regresión lineal múltiple (Cuadro 6) permitió establecer las ecuaciones que representen el comportamiento de la firmeza.

Parentelli y otros (2007) reportaron un efecto significativo, a un nivel de confianza del 95%, del tipo de empaque (película de polipropileno y polietileno) sobre la firmeza en hongos enteros *Shiitake*. Antmann y otros (2008) determinaron un efecto significativo, a un nivel de confianza del 95%, del tipo de empaque (bolsas de polietileno perforada y sin perforar) sobre la firmeza en hongos enteros *Shiitake*.

Las ecuaciones obtenidas para los tratamientos fueron:

$$\begin{aligned} \text{PUV NP: Firmeza} &= 5,51287 - 0,30677t \\ \text{DUV NP: Firmeza} &= 5,80953 - 0,30677t \\ \text{POZ NP: Firmeza} &= 6,52129 - 0,30677t \\ \text{DOZ NP: Firmeza} &= 6,69144 - 0,30677t \\ \text{PUV P: Firmeza} &= 5,93784 - 0,30677t \\ \text{DUV P: Firmeza} &= 6,23449 - 0,30677t \\ \text{POZ P: Firmeza} &= 6,94325 - 0,30677t \\ \text{DOZ P: Firmeza} &= 7,11641 - 0,30677t \end{aligned}$$

Cuadro 5

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA FIRMEZA EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

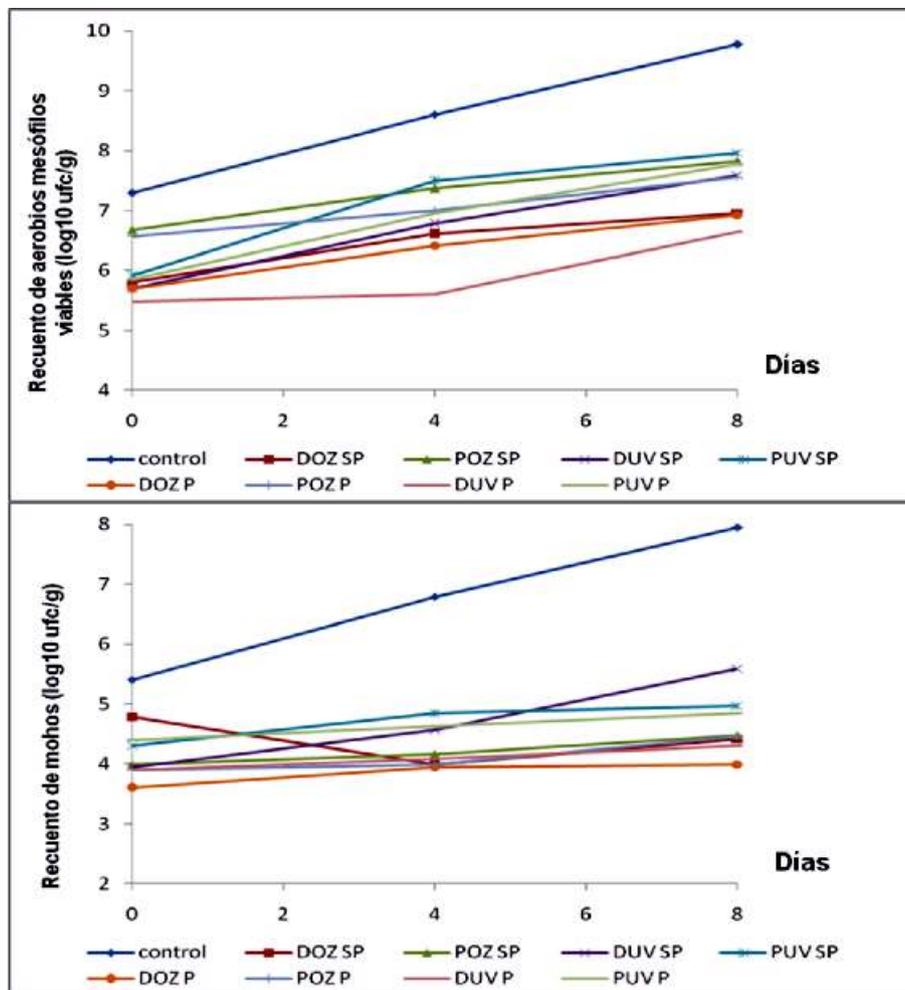
Parámetro	Fuente variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Firmeza	Regresión	82,88	5	16,58	187,55	0,000
	Residual	6,54	74	0,09		
	Total	89,42				

Cuadro 6

REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE FIRMEZA EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetro	Variable ²	β	Error Estándar	t	p
Firmeza	Constante	5,810	0,09	66,06	0,000
	Perforado	0,425	0,07	6,39	0,000
	PUV	-0,297	0,09	-3,16	0,002
	POZ	0,712	0,09	7,57	0,000
	DOZ	0,882	0,09	9,38	0,000
	tiempo	-0,307	0,01	-26,11	0,000

² Referencia: Desinfectante, Dióxido de cloro-luz UV; Envase, no perforado.



Peróxido de hidrógeno-luz UV, no perforado (PUV NP); Peróxido de hidrógeno-luz UV, perforado (PUV P); Dióxido de cloro-luz UV, no perforado (DUV NP); Dióxido de cloro-luz UV, perforado (DUV P); Peróxido de hidrógeno-ozono, no perforado (POZ NP); Peróxido de hidrógeno-ozono, perforado (POZ P); Dióxido de cloro-ozono, no perforado (DOZ NP); Dióxido de cloro-ozono, perforado (DOZ P).

Figura 5. Recuento de aerobios mesófilos viables y mohos en hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) con tratamientos desinfectantes y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar.

3.4. Análisis microbiológico

Debido a la importancia que tiene el recuento de microorganismos sobre la inocuidad de los alimentos, se consideró para la parte microbiológica una muestra control, que permitiera comparar la acción combinada de los tratamientos desinfectantes y los tipos de empaçado.

El recuento inicial de microorganismos aerobios mesófilos viables, mohos, levaduras y psicrófilos fue elevado en la muestra control ($1,94 \times 10^7$; $2,6 \times 10^4$; $2,0 \times 10^7$ y $8,0 \times 10^6$ ufc/g, respectivamente). Simón y otros (2005), reportaron recuentos iniciales de $3,2 \times 10^7$ y $1,6 \times 10^7$ ufc/g para aerobios mesófilos viables y

psicrófilos en hongos *Agaricus bisporus* cortados; y Kaoorapati y otros (2004), $1,2 \times 10^7$ y $9,8 \times 10^6$ ufc/g en hongos *Agaricus bisporus*.

En esta investigación, los tratamientos desinfectantes disminuyeron entre 1,5 a 2,0 ciclos logarítmicos el recuento de aerobios mesófilos viables, levaduras y psicrófilos; y entre 1,0 a 1,5 ciclos logarítmicos el recuento de mohos. Cliffe y O'Beirne (2008) reportaron reducciones de 1,0 a 1,2 ciclos logarítmicos en el recuento de aerobios mesófilos viables y psicrófilo, en hongos *Agaricus bisporus* cortados, desinfectados con peróxido de hidrógeno y dióxido de cloro (100 ppm) durante 7 días de almacenamiento a 4 °C.

La actividad microbiana en los hongos aumentó durante los 8 días de almacenamiento en las muestras control (2,5; 3,5; 3,0; y 2,5 ciclos logarítmicos en el recuento de aerobios mesófilos viables, mohos, levaduras y psicrófilos, respectivamente) y con tratamientos desinfectantes empacadas en PVC perforado y sin perforar (1,0-1,5; 0,5-1,0; 1,2-2,0; y 1,5-2,5 ciclos logarítmicos en el recuento de aerobios mesófilos viables, mohos, levaduras y psicrófilos, respectivamente) (Figura 5 y 6). Cliffe y O'Beirne (2008) reportaron incrementos de 1,5 a 2,5 ciclos logarítmicos en el recuento de aerobios mesófilos viables y psicrófilos, en hongos *Agaricus bisporus* cortados, desinfectados con peróxido de hidrógeno y dióxido de cloro (100 ppm) durante 7 días de almacenamiento a 4 °C; González-Fandos y otros (2001), reportaron 1,5 ciclos logarítmicos, en hongos *Agaricus bisporus* enteros, durante 7 días de almacenamiento en atmósferas modificadas a 4 °C.

En esta investigación, los hongos con tratamientos desinfectantes dióxido de cloro-ozono y dióxido de cloro-UV, recubiertos con película PVC perforada presentaron los valores más bajos de desarrollo de microorganismos hasta el día 8 de almacenamiento, con recuentos de $8,5 \times 10^6$; $1,0 \times 10^4$; $1,1 \times 10^7$; $1,28 \times 10^7$; y $4,4 \times 10^6$; $2,0 \times 10^4$; $1,39 \times 10^7$; $3,2 \times 10^7$ ufc/g, para el recuento de aerobios mesófilos viables, mohos, levaduras y psicrófilos, respectivamente. El Real Decreto 3484, 2000 de la ley española, menciona que es permitido, un recuento máximo de $1,0 \times 10^7$ ufc/g en mesófilos aerobios viables en vegetales crudos listos para consumir (Simón y otros, 2005). Los tratamientos desinfectantes dióxido de cloro-ozono y dióxido de cloro-UV, recubiertos con película PVC perforada presentaron recuentos inferiores a lo recomendado por la legislación española referida a mesófilos aerobios viables, lo cual constituye un indicador de calidad en los hongos.

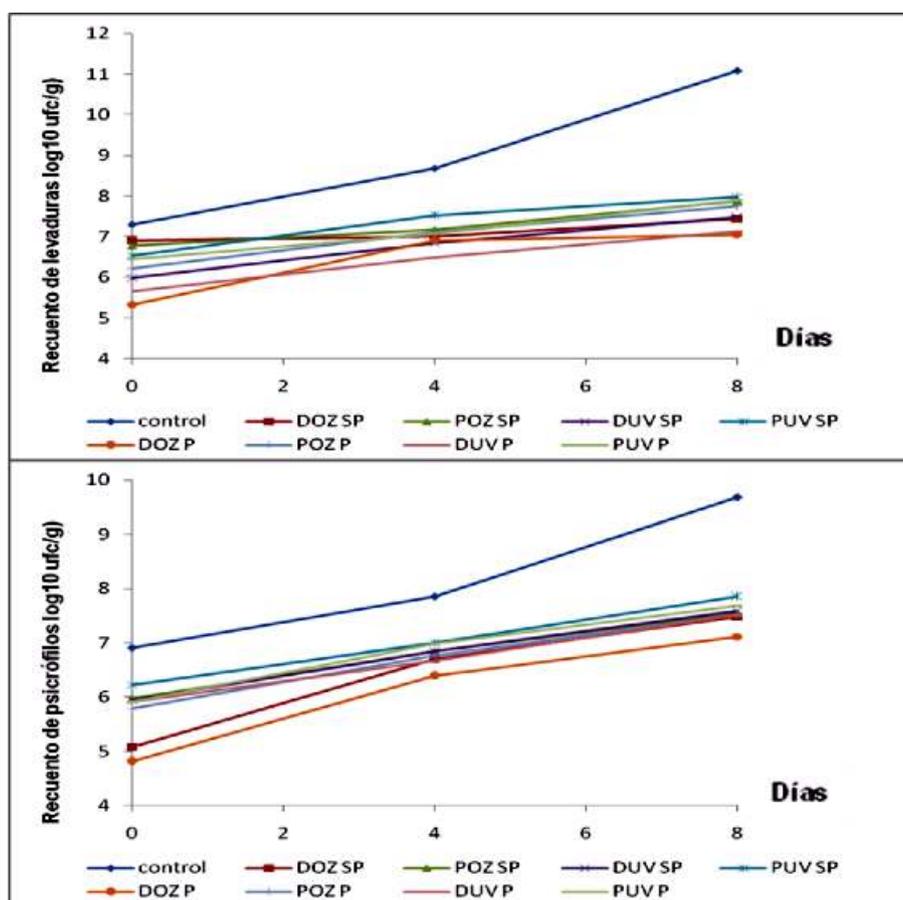


Figura 6. Recuento de levaduras y psicrófilos en hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) con tratamientos desinfectantes y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar.

Cuadro 7
ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL RECUENTO DE
MICROORGANISMOS EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES
(*Suillus luteus*) CON TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y
RECUBIERTOS CON PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetro	Fuente variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p
Recuento mesófilos aerobios	Tratamientos	13,43	8	1,68	17,85	0,000
	Tiempo	10,95	2	5,48	58,24	0,000
	Error	1,50	16	0,09		
	Total	25,89	26			
Recuento mohos	Tratamientos	13,90	8	1,74	6,33	0,000
	Tiempo	3,40	2	1,70	6,19	0,000
	Error	4,39	16	0,27		
	Total	21,69	26			
Recuento levaduras	Tratamientos	10,86	8	1,36	12,30	0,000
	Tiempo	10,18	2	5,09	46,11	0,000
	Error	1,77	16	0,11		
	Total	22,80	26			
Recuento psicrófilos	Tratamientos	7,51	8	0,94	13,04	0,000
	Tiempo	16,89	2	8,44	117,27	0,000
	Error	1,15	16	0,07		
	Total	25,55	26			

La actividad microbiana es la principal causa de deterioro de muchos alimentos y, en la mayoría de los casos, es responsable de la pérdida de calidad y seguridad. Generalmente, se acepta que a medida que los vegetales maduran, la contaminación se incrementa, mayormente, por hongos, levaduras y especies bacterianas ácido-lácticas (Martínez-Romero y otros, 2007). Se ha encontrado que el daño mecánico en las hifas de los hongos silvestres permite un rápido desarrollo de los microorganismos debido al exudado rico en nutrientes que se forma por el rompimiento de las hifas. Sin embargo, el tratamiento con desinfectantes provoca un aumento del tiempo de vida y reduce la cantidad de microorganismos. La aplicación de dióxido de cloro como agente desinfectante, cuyo principio germicida se fundamenta en el poder oxidante que destruye la pared celular de los microorganismos, ha demostrado efectividad en la reducción de ciclos logarítmicos de microorganismos. El peróxido de hidrógeno es un desinfectante que actúa contra un amplio rango de microorganismos de bacterias, mohos y levaduras, su mecanismo de

desinfección se basa en la liberación de radicales de oxígeno libre, que actúan como oxidantes contra los microorganismos y como agentes antiparadeamiento en el hongo silvestre (Cliffe y O'Beirne, 2008). El ozono destruye a los microorganismos por oxidación progresiva de sus componentes celulares, su mecanismo de acción actúa oxidando los grupos sulfhidrilo y las enzimas que afectan a los aminoácidos. El ozono degrada también las células a nivel de los lípidos no saturados debido a sus dobles enlaces provocando un rompimiento y posteriormente fuga del contenido celular (Zeynep y otros, 2004). La luz UV de onda corta ha sido reportada como un método efectivo de desinfección debido a que provoca la inactivación de microorganismos que contaminan la superficie de los vegetales; actúa originando un cambio en los electrones y rompiendo enlaces en el ácido desoxirribonucleico (ADN), evitando su reproducción (Rico y otros, 2007). En esta investigación encontramos que la aplicación combinada de dióxido de cloro-ozono y dióxido de cloro-UV; presentaron el mejor efecto combinado, denotando recuentos microbianos más bajos.

Cuadro 8
 PRUEBA DE DUNNET PARA EL RECuento DE
 MICROORGANISMOS EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES
 (*Suillus luteus*) CON TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y
 RECUBIERTOS CON PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetros	Tratamiento	Diferencia con testigo	Error Estándar	p
Mesófilos aerobios	dióxido ozono perforado	-2,21	0,25	0,00
	dióxido ozono sin perforar	-2,09	0,25	0,00
	peróxido ozono perforado	-1,51	0,25	0,00
	peróxido ozono sin perforar	-1,27	0,25	0,00
	dióxido UV perforado	-2,65	0,25	0,00
	dióxido UV sin perforar	-1,86	0,25	0,00
	peróxido UV perforado	-1,69	0,25	0,00
	peróxido UV sin perforar	-1,43	0,25	0,00
Mohos	dióxido ozono perforado	-2,54	0,43	0,00
	dióxido ozono sin perforar	-2,32	0,43	0,00
	peróxido ozono perforado	-2,27	0,43	0,00
	peróxido ozono sin perforar	-2,17	0,43	0,00
	dióxido UV perforado	-2,29	0,43	0,00
	dióxido UV sin perforar	-2,02	0,43	0,00
	peróxido UV perforado	-1,77	0,43	0,00
	peróxido UV sin perforar	-1,68	0,43	0,00
Levaduras	dióxido ozono perforado	-2,26	0,27	0,00
	dióxido ozono sin perforar	-1,58	0,27	0,00
	peróxido ozono perforado	-1,66	0,27	0,00
	peróxido ozono sin perforar	-1,42	0,27	0,00
	dióxido UV perforado	-2,26	0,27	0,00
	dióxido UV sin perforar	-1,92	0,27	0,00
	peróxido UV perforado	-1,55	0,27	0,00
	peróxido UV sin perforar	-1,34	0,27	0,00
Psicrófilos	dióxido ozono perforado	-2,04	0,22	0,00
	dióxido ozono sin perforar	-1,72	0,22	0,00
	peróxido ozono perforado	-1,45	0,22	0,00
	peróxido ozono sin perforar	-1,35	0,22	0,00
	dióxido UV perforado	-1,44	0,22	0,00
	dióxido UV sin perforar	-1,34	0,22	0,00
	peróxido UV perforado	-1,27	0,22	0,00
	peróxido UV sin perforar	-1,12	0,22	0,00

Un comportamiento similar fue observado en el recuento de mesófilos aerobios, psicrófilos y *Pseudomonas*, en hongos *Agaricus bisporus* cortados empacados en bolsas PA-190, durante 7 días a 4 y 8 °C, desinfectados con dióxido de cloro y peróxido de hidrógeno (10-100 ppm), a diferente tiempos de contacto (Clieffe y O'Beirne, 2008). En el recuento de mesófilos aerobios, psicrófilos, *Pseudomonas* y mohos y levaduras, en hongos *Shiitake*, cortados y empacados en películas de PVC perforadas, durante 15 días a 7, 10 y 15 °C (Castro y otros, 2008). En el recuento de mesófilos aerobios, psicrófilos y *Pseudomonas*, en hongos *Agaricus bisporus* cortados y empacados en películas de PVC perforadas y sin perforar, y polipropileno microperforado, durante 13 días a 2 °C (Simón y otros, 2005).

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0,05$) de los tratamientos desinfectantes, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre el recuento de mesófilos aerobios, mohos, levaduras y psicrófilos (Cuadro 7).

Clieffe y O'Beirne (2008) reportaron en hongos *Agaricus bisporus* cortados empacados en bolsa PA-190 durante 7 días a 4 y 8 °C, desinfectados con dióxido de cloro y peróxido de hidrógeno (10-100 ppm), un efecto significativo, a un nivel de confianza del 95%, del tipo de desinfectante sobre el recuento de aerobios mesófilos viables y psicrófilos, que presentaron al final del almacenamiento, $3,2 \times 10^5$ y $6,3 \times 10^7$ ufc/g, respectivamente. Castro y otros (2008) mostraron un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% de la temperatura (7, 10 y 15 °C) sobre el recuento de microorganismos en hongos *Shiitake* cortados, con valores de $1,0 \times 10^7$; $5,0 \times 10^6$ y $6,3 \times 10^4$ ufc/g, en los aerobios mesófilos viables, psicrófilos, mohos y levaduras en hongos, respectivamente, a los 15 días de almacenamiento a 7 °C. Simón y otros (2005) determinaron un efecto significativo a un nivel de confianza del 95% del tipo de película (PVC perforadas, PVC no perforadas y polipropileno microperforado) en el recuento microbiano de hongos *Agaricus bisporus* cortados, presentando recuentos de aerobios mesófilos viables y psicrófilos de $6,3 \times 10^9$ y $3,1 \times 10^9$ ufc/g, respectivamente, a los 12 días de almacenamiento a 4 °C.

La prueba Dunnett compara las medias de los grupos, es decir se utiliza para realizar comparaciones de los tratamientos con el testigo. Se utiliza comúnmente después del análisis de varianza (Montgomery, 2002). En el Cuadro 8 se identifica que las interacciones de

tratamientos desinfectantes y el tipo de empaque produjeron un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el recuento de mesófilos aerobios, mohos, levaduras y psicrófilos comparados con la muestra control.

La prueba de Duncan se usa para comparar cada promedio de tratamiento con cada uno de los otros promedios, es una prueba de rango múltiple. En el Cuadro 9, la prueba Duncan para el recuento microbiano en hongos demostró que existió efecto significativo en mesófilos aerobios, mohos, levaduras y psicrófilos, denotado por la formación de subgrupos. En todos los recuentos de microorganismos, se puede observar en el subgrupo 1 que el mejor tratamiento fue dióxido de cloro-ozono recubierto con película PVC perforada, debido a que reportó el menor recuento de mesófilos aerobios, mohos, levaduras y psicrófilos hasta el día 8 de almacenamiento.

3.5. Análisis sensorial

La evaluación sensorial de los hongos fue desarrollada para los cuatro mejores tratamientos obtenidos en la evaluación de las características físicas, con la finalidad de no fomentar confusión en los panelistas debido a un exceso de números de muestras por evaluar.

En el Cuadro 10, se presenta la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que equivale a una forma de análisis de varianza (Montgomery, 2002). Se observó que en los días 0 y 4 no existió diferencia significativa ($p > 0,05$) de la combinación tratamiento desinfectante y tipo de empaque en la evaluación sensorial de los hongos. En el día 8, el valor $p < 0,05$; evidenció el efecto significativo de las variables independientes sobre la apariencia general de los hongos.

El promedio más alto a los 8 días de almacenamiento fue obtenido por el tratamiento dióxido de cloro-ozono recubierto con película PVC perforada, con un valor de 7, que correspondió a la percepción positiva de "me gusta mucho" en la escala hedónica de nueve puntos. El mismo tratamiento registró el mayor valor de rango medio 55, relacionado al nivel de aceptación de las muestras. Las imágenes que exhiben lo manifestado se presentan en la Figura 9.

Los hongos *Shiitake* empacados durante 18 días, a 5 °C, en bolsas de polietileno perforadas, presentaron la más baja velocidad de deterioro manteniendo la apariencia general relacionada al cambio de los atributos físicos en el tiempo. Sin embargo, mostraron los porcentajes más altos de pérdida de peso. Esto se puede

Cuadro 9
 PRUEBA DE DUNCAN PARA EL RECUENTO DE MICROORGANISMOS EN
 HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON
 TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON PELÍCULA
 PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Parámetros	Tratamiento	Subgrupo				
		1	2	3	4	5
Mesófilos aerobios (log ₁₀ ufc/g)	dióxido ozono-perforado	5,908				
	dióxido UV perforado	6,348	6,348			
	dióxido ozono sin perforar	6,462	6,462			
	dióxido UV sin perforar		6,689	6,689		
	peróxido UV perforado		6,859	6,859	6,859	
	peróxido ozono perforado			7,042	7,042	
	peróxido UV sin perforar			7,122	7,122	
	peróxido ozono sin perforar				7,288	
	control					8,553
Mohos (log ₁₀ ufc/g)	dióxido ozono perforado	3,852				
	dióxido ozono sin perforar	4,068				
	dióxido UV perforado	4,094				
	peróxido ozono perforado	4,119				
	peróxido ozono sin perforar	4,218				
	dióxido UV sin perforar	4,367				
	peróxido UV perforado	4,621				
	peróxido UV sin perforar	4,707				
	Control		6,3872			
Levaduras (log ₁₀ ufc/g)	dióxido ozono perforado	6,429				
	dióxido UV perforado	6,436				
	dióxido UV sin perforar	6,776	6,776			
	peróxido ozono perforado	7,037	7,037			
	dióxido ozono sin perforar		7,117			
	peróxido UV perforado		7,143			
	peróxido ozono sin perforar		7,278			
	peróxido UV sin perforar		7,350			
	Control			8,693		
Psicrófilos (log ₁₀ ufc/g)	dióxido ozono perforado	6,100				
	dióxido ozono sin perforar	6,422	6,422			
	peróxido ozono perforado		6,690	6,690		
	dióxido UV perforado		6,703	6,703		
	peróxido ozono sin perforar		6,792	6,792		
	dióxido UV sin perforar		6,799	6,799		
	peróxido UV perforado		6,870	6,870		
	peróxido UV sin perforar			7,028		
	control					8,143

explicar, debido a que una deshidratación poco pronunciada o controlada reduce los procesos de deterioro relacionado a la disponibilidad del agua (Antmann y otros, 2008). Un comportamiento similar fue observado en los resultados de nuestra investigación.

En el Cuadro 11 la prueba de Mann-Whitney indicó que a los 8 días de almacenamiento, el tratamiento dióxido de cloro-ozono recubierto con película de PVC perforada presentó diferencias significativas con los demás tratamientos, a excepción de peróxido de hidrógeno-ozono sin perforar. Por lo que se puede considerar que el tratamiento dióxido de cloro-ozono recubierto con película de PVC perforada fue el mejor, en cuanto, a la percepción de apariencia general, pues obtuvo el mayor valor promedio de aceptación al final del almacenamiento.

4. CONCLUSIONES

- Existió un efecto significativo del desinfectante, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso, color y firmeza; del hongo silvestre comestible *Suillus luteus*.

- El efecto del desinfectante, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento fue significativo sobre el recuento de mesófilos aerobios viables, mohos, levaduras y psicrófilos; del hongo silvestre comestible *Suillus luteus*.
- El tratamiento desinfectante y tipo de empaque mostraron diferencia significativa sobre la apariencia general del hongo silvestre comestible *Suillus luteus*, en el día 8 de almacenamiento a 4 °C.
- La combinación del tratamiento desinfectante dióxido de cloro-ozono recubierto con película PVC no perforada presentó la menor pérdida de peso en el hongo silvestre comestible *Suillus luteus*, durante 8 días de almacenamiento a 4 °C.
- La interacción del tratamiento desinfectante dióxido de cloro-ozono y recubrimiento con película PVC perforada produjo los mejores parámetros de color L^* , a^* y b^* ; mayor retención de la firmeza, menores recuentos de mesófilos aerobios viables, mohos, levaduras y psicrófilos; y mejor apariencia general en el hongo silvestre comestible *Suillus luteus*, durante 8 días de almacenamiento a 4 °C.

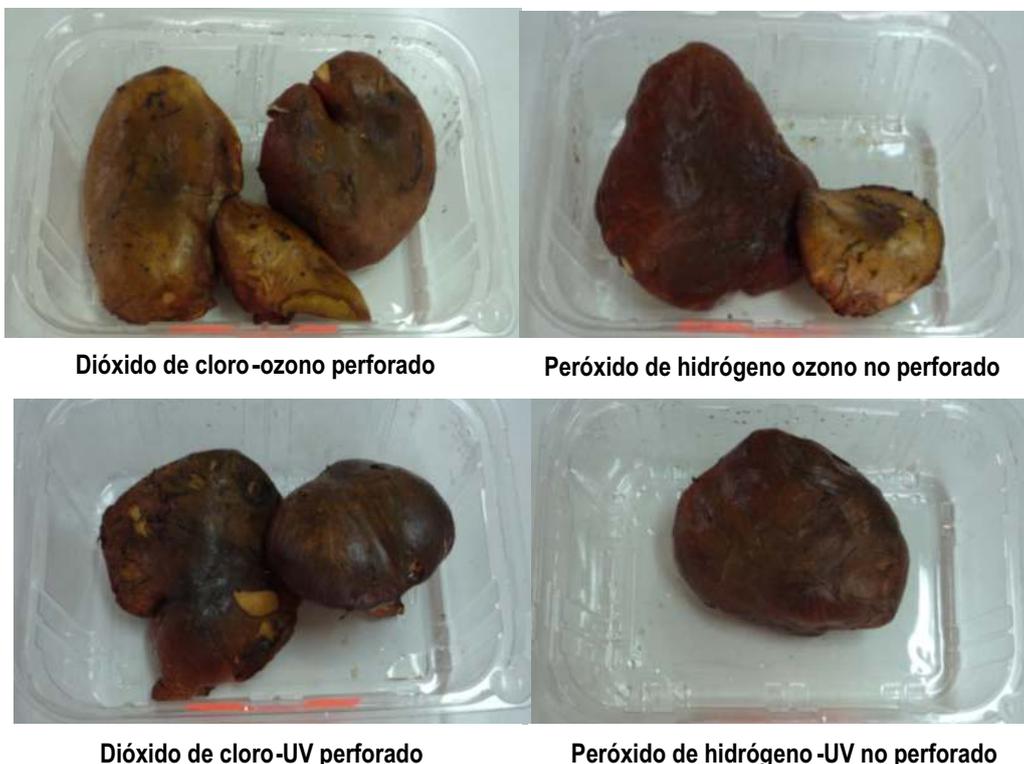


Figura 9. Hongos silvestres comestibles (*Suillus luteus*) con mejores tratamientos desinfectantes y recubiertos con película PVC perforada y sin perforar al día 8 de almacenamiento.

Cuadro 10
PRUEBA DE KRUSKAL WALLIS PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL
EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON
TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON
PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Días	Tratamiento	Moda	Media	Rango promedio	Chi-cuadrado	p
0	dióxido UV perforado	7	8	39,75	0,199	0,978
	dióxido ozono perforado	8	8	42,30		
	peróxido ozono sin perforar	8	8	40,45		
	peróxido UV sin perforar	7	8	39,50		
4	dióxido UV perforado	8	7	42,95	7,430	0,059
	dióxido ozono perforado	8	7	50,60		
	peróxido ozono sin perforar	7	7	34,85		
	peróxido UV sin perforar	7	7	33,60		
8	dióxido UV perforado	6	6	36,08	11,149	0,011
	dióxido ozono perforado	8	7	55,00		
	peróxido ozono sin perforar	6	6	36,08		
	peróxido UV sin perforar	6	6	34,85		

Cuadro 11
PRUEBA DE MANN-WHITNEY PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL
EN HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES (*Suillus luteus*) CON
TRATAMIENTOS DESINFECTANTES Y RECUBIERTOS CON
PELÍCULA PVC PERFORADA Y SIN PERFORAR

Tratamientos		día 8	
	dióxido de cloro-ozono perforado	U de Mann-Whitney	104,500
		Z	-2,650
		p	0,008
dióxido de cloro-UV perforado	peróxido de hidrógeno-ozono sin perforar	U de Mann-Whitney	200,000
		Z	0,000
		p	1,000
	peróxido de hidrógeno-UV sin perforar	U de Mann-Whitney	193,000
		Z	-0,199
		p	0,842
dióxido de cloro-ozono perforado	peróxido de hidrógeno-ozono sin perforar	U de Mann-Whitney	104,500
		Z	-2,650
		p	0,008
	peróxido de hidrógeno-UV sin perforar	U de Mann-Whitney	101,000
		Z	-2,747
		p	0,006
peróxido de hidrógeno-ozono sin perforar	peróxido de hidrógeno-UV sin perforar	U de Mann-Whitney	193,000
		Z	-0,199
		p	0,842

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andina agencia peruana de noticias, 2010. Disponible en: <http://www.agrorural.gob.pe/index.php/difusion/noticias/1245-comunidad-de-incahuasi-exporto-ochotoneladas-de-hongos-comestibles-a-europa.html> Fecha de acceso 20 de octubre del 2010.
- Allende A, Tomás-Barberan F, Gil M. 2006. Minimal processing for healthy traditional food. *Trend in food science and technology*. 17: 513-519.
- Antmann G, Ares G, Lema P, Lareo C. 2008. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of Shiitake mushroom. *Postharvest Biology and Technology*. 49: 164-170.
- Castro C, Dantas M, Megumi M. 2008. Microbial growth and colour of minimally processed shiitake mushroom stored at different temperatures. *International Journal of Food Science and Technology*. 43: 1281-1285.
- CCI. 2003. Inteligencia de Mercados: Setas y Hongos. Perfil de Producto N° 21. Bogotá – Colombia. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/200511314480_perfil_producto_setas.pdf. Fecha de acceso, 2009, 18 de agosto.
- Cisterna C. 2007. *Explotación de hongos silvestres en Chile*. Servicios de Capacitación y asesoría en el cultivo de hongos comestibles. Disponible en: <http://www.micotec.cl/silvestres1.html> Fecha de acceso, 2010, 18 de octubre.
- Cliffe-Byrnes V, O'Beirne D. 2008. Effects of washing treatment on microbial and sensory quality of modified atmosphere (MA) packaged fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*. 48: 283-294.
- Deschamps J. 2002. Hongos silvestres comestibles del Mercosur con valor gastronómico. Documento de Trabajo N° 86, Universidad de Belgrano. Disponible en: http://www.ub.edu.ar/investigaciones/dt_nuevos/86_deschamps.pdf. Fecha de acceso: 2008, 5 de setiembre.
- Garmendia G, Vero S. 2006. Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Distribución y Alimentación*. 197: 18-28.
- González-Fandos E, Giménez M, Olarte C, Sanz S, Simón A. 2000. Effect of packaging conditions on the growth of microorganisms and the quality characteristics of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored at inadequate temperatures. *Journal of Applied Microbiology*. 89: 624-632.
- Kim K, Ko J, Lee J, Park H, Hanna M. 2006. Effect of modified atmosphere packaging on the shelf life of coated whole and slice mushroom. *LWT*. 39:364-371.
- FAO. 2004. Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población. Por Eric Boa. Roma. 107 págs.
- Martín-Diana A, Rico D, Frías J, Barat J, Henehan G, Barry-Ryan C. 2007. Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables. *Trend in food science and technology*. 18: 210-218.
- Martínez-Romero D, Albuquerque N, Valverde J, Guillén F, Castillo S, Valero D, Serrano M. 2006. Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe Vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology* 39: 93-100.
- Moda E, Spoto M, Horii J, Zocchi S. 2005. Uso de peróxido de hidrógeno e ácido cítrico na conservação de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* in natura. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos, Campinas*. 25: 291-296.
- Montgomery, D. y Runger, G. 2006. *Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería*. 2da Ed. Editorial Limusa S.A., México.
- Parentelli C, Ares G, Corona M, Lareo C, Gámbaro A, Soubes M, Lema P. 2007. Sensory and microbiological quality of shiitake mushrooms in modified-atmosphere packages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 1645-1652.
- Rico D, Martín-Diana A, Barat J, Barry-Ryan C. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables. *Trend in food science and technology*. xx: 1-15.
- Ruíz M, Cortés M, Henríquez L. 2010. Efecto de dos atmósferas de empaque en hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* tratados mediante impregnación a vacío con una solución conservante. *Revista de la facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Antioquía, Medellín-Colombia*. 17: 11-19.
- Sapata M, Ramos A, Ferreira A, Andrada L, Candeias M. 2009. Quality maintenance improvement of *pleurotus ostreatus* mushrooms by modified atmosphere packaging. *Technologia Alimentaria*. 8: 53-60.
- Simón A, González-Fando E, Tobar V. 2005. The sensory and microbiological quality of fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus* L.) packaged in modified atmospheres. *International Journal of Food Science and Technology*. 40: 943-952.
- Sociedad Micológica Errotari. 2009. (Base de datos). Disponible en: <http://www.errotari.com>. Fecha de acceso: 2009, 11 de julio.
- Xu L. 2008. Uso de ozono para mejorar la seguridad de frutas y vegetales frescos. *Mundo Alimentario* Noviembre/ Diciembre: 7-13.
- Zeynep B, Greene A, Seydim A. 2004. Use of ozone in the food industry. *LWT*. 37: 453-460.