

EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO DE CHAMPIÑONES (*Agaricus bisporus*) UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE ATMÓSFERAS MODIFICADAS¹

Mónica Patricia Pava-Ripoll*, José Jaime Castaño-Castrillón**.

RESUMEN

PAVA R., M.P.; CASTAÑO C., J.J. Empaque y almacenamiento de champiñones (*Agaricus bisporus*) utilizando la tecnología de atmósferas modificadas. Cenicafé 49(2): 102-118. 1998.

En Cenicafé se utilizó el empaque de champiñones (*Agaricus bisporus*) de tercera cosecha, utilizando la técnica de atmósfera modificada (AM). El producto provino de un Centro de producción en Manizales, Caldas. Se evaluó la influencia de varias mezclas de gases constituidas por diferentes concentraciones de CO₂, O₂ y N₂ y de tres tipos de empaques de alta barrera preseleccionados (EVOH, Poliéster/Polietileno y Aluminizado) a temperaturas de almacenamiento de 4 y 10°C y a una humedad relativa entre 90 y 95%. Se evaluaron variables físico-químicas, sensoriales y microbiológicas a través del tiempo. La mezcla que más favoreció la conservación de los champiñones estuvo constituida por 5% de O₂, 10% de CO₂ y 85% de N₂, con el empaque Poliéster/Polietileno. En este tratamiento no se desarrollaron patógenos anaerobios como el *Clostridium* sp. durante el almacenamiento, se disminuyó significativamente la actividad microbiana y se mantuvo un efecto benéfico sobre la apariencia y las cualidades físico-químicas del producto. La utilización de la tecnología de empaque bajo AM prolongó hasta en un 100% la vida de anaquel del champiñón almacenado a 4°C.

Palabras claves: Champiñones, conservación, atmósferas modificadas, empaques, gases, almacenamiento.

ABSTRACT

The application of Modified Atmosphere packing technology was studied in mushrooms (*Agaricus campestris*) produced in Manizales (Caldas, Colombia). The influence of several gas mixtures with different CO₂, O₂, and N₂ concentrations, and three types of packages (EVOH, PP, and Aluminized) was evaluated under storage conditions at 4 and 10°C and 90-95% relative humidity. Physicochemical, sensory, and microbiological variables were evaluated during storage time. The best treatment for mushroom preservation was 5% O₂, 10% CO₂, and 85% N₂ with PP package. This treatment inhibits growth of anaerobic pathogens such as *Clostridium* sp., significantly reduced microbial activity, and preserved appearance and physicochemical characteristics of the product. Modified Atmosphere packing extended 100% shelf life of mushrooms stored at 4°C.

Keywords: Mushrooms, conservation, modified atmosphere, storage, packaging, gases.

¹ Fragmento de la Tesis presentada a la Universidad Nacional de Colombia, para optar al título de especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

* Bacterióloga. Becaria Colciencias. Programa de Industrialización. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico II. Programa de Industrialización. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La vida de almacenamiento de las frutas y hortalizas cosechadas está influenciada por su continua respiración y la actividad bioquímica; si se baja la temperatura y se modifica la atmósfera alrededor del producto, se disminuye la respiración y se retarda la senectud, extendiéndose con esto la vida de anaquel de los productos (2).

La preferencia de los consumidores por alimentos libres de residuos químicos, ha generado la posibilidad de modificar la composición de los gases de la atmósfera que rodea el producto y disminuir los daños de origen microbiológico, fisicoquímico y sensorial, de productos como los champiñones empacados y almacenados bajo condiciones adecuadas.

El acondicionamiento de los alimentos con gases consiste en sustituir el aire que rodea el producto que se quiere conservar por un gas o una mezcla de gases que ofrezca mejores condiciones para el mantenimiento de la buena calidad por un período de tiempo mayor (12).

Cuando un alimento se conserva o se empaqueta en una atmósfera normal, el oxígeno presente en la misma puede provocar oxidación de las grasas, reacciones enzimáticas, pérdidas del color típico de cada alimento, y presencia de aromas y sabores desagradables. Además, el aire contiene impurezas que cooperan con la disminución de la calidad del producto. Por el contrario, excesivas concentraciones de dióxido de carbono pueden ocasionar efectos fitotóxicos que determinan la coloración interna y externa del champiñón y fomentan el crecimiento de microorganismos anaerobios (15).

Para un producto costoso y de corta vida como el champiñón, es importante extender la vida de anaquel, mediante la utilización de empaques con atmósferas modificadas (AM). El champiñón fresco es altamente perecedero y debe ser consumido como tal, máximo dentro de un período de cuatro días después de cose-

chado, debido a los cambios bioquímicos que continúan luego de la recolección.

En productos frescos empacados se crea una atmósfera modificada (AM) debida a la actividad respiratoria; las concentraciones de oxígeno y de dióxido de carbono se pueden establecer mediante velocidades de transmisión de gases a través del material de empaque y por la velocidad de respiración del producto. Una atmósfera óptima podría minimizar la velocidad de respiración sin ocasionarle daños metabólicos al alimento.

Los empaques para frutas y hortalizas frescas o preparadas bajo atmósferas modificadas ofrecen amplios beneficios como retraso en las tasas de respiración, por consiguiente un retraso en la maduración y en el ablandamiento; reducción de la degradación de la clorofila, del daño microbiológico y del pardeamiento enzimático y la prevención de desórdenes fisiológicos. Todo lo anterior tiene como efecto final el alargamiento de la vida útil del producto en condiciones óptimas de calidad (14, 16).

La producción nacional de champiñones ha aumentado en los últimos años y actualmente asciende a 1.300 toneladas anuales. En la zona industrial de Juanchito de la ciudad de Manizales, se encuentra la Sociedad Agrícola la Vega, la cual es la segunda empresa productora del país, con una producción mensual de 30 a 35 toneladas, de las cuales el 60% se comercializa fresco en diferentes ciudades y el 40% restante se procesa y se envasa en latas o en frascos.

Es importante resaltar que en Colombia es factible conseguir aumentos en la producción, puesto que es posible obtener gran cantidad de residuos vegetales utilizables para la fabricación de compost, sustrato necesario para el cultivo del champiñón; a la vez que se puede establecer la técnica de empaque en atmósferas modificadas para prolongar el período de vida del hongo almacenado fresco y constituir así un

nuevo renglón exportable, diferente del tradicional usado en la industria de conservas de este producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los champiñones (*Agaricus bisporus*) fueron proporcionados por Agrícola La Vega, una empresa productora ubicada en la zona Industrial Juanchito de la ciudad de Manizales, Caldas. Se utilizaron champiñones de tercera cosecha, lavados con agua de acueducto a temperatura ambiente y escurridos. Posteriormente se transportaron a los laboratorios de Cenicafé, dentro de las cuatro horas siguientes. La unidad experimental estuvo conformada por muestras aleatorias de estos champiñones de 250 +/- 2 g. No se realizó ninguna selección posterior por peso, forma o tamaño, puesto que los champiñones de tercera cosecha son muy irregulares en cuanto a estos parámetros; únicamente se descartaron los que presentaban algún defecto o deterioro mecánico o biológico manifiesto. El experimento se dividió en dos etapas: una de pre-experimentación y otra de experimentación.

ETAPA DE PRE-EXPERIMENTACIÓN.

Caracterización física del producto. Se realizó un muestreo aleatorio del total de los champiñones recolectados y se tomó una muestra de 100 champiñones sobre la cual se tomaron medidas de longitud total, diámetro y altura del sombrero, peso, textura y humedad. Para las medidas iniciales de longitud total, diámetro y altura del sombrero se utilizó un calibrador tipo Vernier (Ref. CM 6420); el peso se midió utilizando una balanza analítica Mettler Toledo AB 204. La textura se evaluó por medio de un penetrómetro (Fruit Tester Ref. FT 327) el cual expresa en libras la fuerza ejercida sobre el tejido para romperlo. La humedad se determinó mediante pérdida de peso por secado: en esta

metodología se pesaron 2 gramos de producto fresco en una caja de petri tarada y libre de humedad y se secó en estufa a temperatura de 105°C durante 3 horas; posteriormente se colocaron las cajas en una cámara de desecación por dos horas más y terminado este tiempo se pesaron nuevamente en la misma balanza analítica utilizada inicialmente; el porcentaje de humedad se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Humedad} = P_2 - P_3 / P_2 - P_1 \quad \lll 1 \ggg$$

donde:

- P_1 : peso de la caja de petri sola
- P_2 : peso de la caja de petri con el champiñón húmedo
- P_3 : peso de la caja de petri con el champiñón seco.

Velocidad de respiración. Esta fase inicial se realizó para conocer la tasa de respiración de esta especie de champiñón en tres temperaturas diferentes (4°C, 10°C y 17°C). La estimación de los parámetros de la Intensidad Respiratoria (I.R., % de CO₂ producido) se efectuó por medio de un respirómetro, el cual consta de lo siguiente: una celda de almacenamiento para la fruta, trampas espiriladas para la solución de Ba(OH)₂, una bomba tipo acuario para la inyección de aire, trampas para KOH y mangueras de látex por donde circula el gas. El respirómetro funciona cuando se burbujea el aire (que previamente pasa por otra solución de KOH al 9% para retener las trazas de CO₂ que contenga) a la celda de almacenamiento de la fruta por un tiempo aproximado de 15 minutos; de esta forma, el champiñón toma el O₂ y libera el CO₂, que posteriormente pasa por la trampa que contiene Ba(OH)₂ 0,1 N con el cual reacciona y forma un precipitado que se deposita en un erlenmeyer limpio y se titula rápidamente con una solución de ácido oxálico 0,1 N utilizando fenoftaleína como indicador. La intensidad respiratoria se calcula mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$I.R. = (V_B - V_M) * N * 22 * 60 / t * w \ll 2 \gg$$

donde:

V_B = Volumen de ácido oxálico para titular el blanco (ml)

V_M = Volumen de ácido oxálico para titular la muestra (ml)

N = Normalidad del ácido oxálico

22 = Peso molecular del $CO_2/2$ (g/mol)

60 = Factor de conversión para el tiempo (min/h)

t = Tiempo de barrido

w = Peso de la fruta (kg).

El resultado se expresa en mg de $CO_2/kg \cdot hora$ (9). Para obtener una estadística adecuada de la I.R. se realizó una prueba sobre 10 unidades experimentales. Con esta información se procedió a hacer la estimación media del porcentaje de CO_2 producido para cada una de las temperaturas evaluadas.

La tasa de respiración se midió desde el momento de la recolección hasta un máximo de nueve días para la temperatura de $4^\circ C$ y de cinco y cuatro días para las temperaturas de 10 y $17^\circ C$, respectivamente.

Selección del material de empaque. En esta fase se seleccionaron 3 películas plásticas que fueron utilizadas como empaque flexible. Se tuvieron en cuenta criterios como la permeabilidad de las películas al CO_2 , O_2 y al vapor de agua, es decir, que éstas no actuaran como barreras a los gases utilizados y que al mismo tiempo, presentaran características de semi-permeabilidad para poder conservar así la modificación atmosférica deseada. También se tuvieron en cuenta las características técnicas como grosor, resistencia a la rotura, elasticidad, espesor, brillo y transparencia; la facilidad de sello con aplicación de calor y de consecución de las películas en el mercado nacional (3, 5).

Teniendo en cuenta los criterios anteriores se preseleccionaron 9 películas con las que se realizaron pruebas de permeabilidad al O_2 y al CO_2 con el propósito de observar cuáles de ellas presentaban un mejor comportamiento. Algunas de las características de estas películas plásticas, sus proveedores y precios en el mercado nacional se consignan en la Tabla 1.

La prueba de permeabilidad se realizó inyectando en cada material de empaque una

TABLA 1. Características de los materiales de empaque utilizados para evaluar la conservación de *A. bisporus* en atmósferas controladas.

Material de Empaque	Permeabilidad al O_2	Velocidad de transmisión al vapor de agua	Dimensiones de la bolsa (cm)	Espesor	Precio Unitario
PEBD ¹	6400-8000 cc/m ²	12-24 g/m ²	17,78 x 25,4	0,9μ	\$5,60
PEAD ¹	520-3000 cc/m ² .24	5-10 g/m ²	17,78 x 25,4	0,5μ	\$3,50
Polipropileno ¹	1300-6400 cc/m ² .24	8-14 g/m ²	17,78 x 25,4	1μ	\$5,30
Políéster/Polietileno ²	96,3 cc/m ² .24 h	7,35 g/m ²	19 x 27	-	\$98
EVOH ²	2,3 cc/sg.m	7,8 g/sg.m ²	17,78 x 25,4	3 mlls	\$96
Lafán JP ²	93 cc/m ² .24 h	18 g/m ² 24 h	21 x 33	-	\$225
Bicor ASX-150 ²	3,1cc/100 in ² /24 h	0,22 g/100 in ² /24 h	18 x 25	1,5 mil	-
Poly-Vac	No suministrada	No suministrada	20,32 x 25,4	-	\$94
Aluminizada	No suministrada	No suministrada	17,78 x 25,4	-	\$121,00

¹ Datos obtenidos del libro "Envase y empaque para la conservación de alimentos" Andi.

² Datos suministrados por las compañías.

mezcla de gases constituida por 5% de O₂, 10% de CO₂, complementada con N₂. Los empaques se sellaron y se almacenaron a temperatura ambiente y a 4°C. Se tomaron medidas diarias de la concentración de los gases inyectados en las diferentes películas, por medio del analizador de gases Orsat (1, 13), sin repeticiones.

Se realizó además una serie fotográfica a cada empaque con la unidad experimental dentro, (250 +/- 2 g). De esta forma se logró registrar visualmente la conservación del producto con las diferentes películas.

Selección de la atmósfera de gases. En esta fase se buscó conocer, para cada temperatura (4°C, 10°C y 17°C), las tres mejores mezclas de gases que conservaran en mejores condiciones la vida de anaquel del champiñón (*A. bisporus*). Para este propósito se utilizaron los empaques seleccionados en la fase anterior y se realizaron varios ensayos con diferentes concentraciones de oxígeno (O₂), de dióxido de carbono (CO₂) y de nitrógeno (N₂) (Tabla 2), con el objeto de seleccionar las atmósferas por utilizar en la etapa experimental (7, 8, 10).

En la realización de esta fase, se colocó la unidad experimental dentro de los empaques escogidos, se inyectó la mezcla de gases (pro-

porcionadas y certificadas por la empresa Agafano de la ciudad de Manizales, Caldas) mediante una empacadora al vacío (Minipack-torre Ref. MVS 45) y se sellaron.

Las bolsas selladas se almacenaron en el cuarto frío donde las condiciones de temperatura (4°C, 10°C y 17°C) y de humedad relativa (85-95%) fueron estables a través del tiempo. Para cada temperatura se estableció previamente un tiempo de almacenamiento de ocho días. Terminado éste, se realizaron a cada unidad experimental, análisis físico-químicos de peso, textura, humedad y microbiológicos para detectar la presencia de *Clostridium* sp y *Pseudomonas* (Tablas 3 y 4).

TABLA 2. Mezclas de gases, utilizadas en la selección de la atmósfera.

Mezclas de gases	% de O ₂	% de CO ₂	% de N ₂
1	0	0	100
2	3	0	97
3	10	0	90
4	2	5	93
5	5	10	85
6	12	9	79
7	10	15	75
8	0	20	80

TABLA 3. Análisis físico-químico realizado en la selección de la atmósfera de gases para evaluar la conservación de *A. bisporus*.

ANALISIS	METODO	EQUIPO	REFERENCIA
Peso	Pesaje	Balanza Analítica	Mettler Toledo AB 204
Textura	Penetrómetro	Fruit Tester	FT 327
Humedad	Pérdida de Peso (Secado)	Estufa	Memert W 854

TABLA 4. Análisis microbiológicos realizados en la selección de la atmósfera de gases.

ANALISIS	METODO	EQUIPO
<i>Clostridium</i> sp.	Recuento de U.F.C.	Laboratorio Microbiológico
<i>Pseudomonas</i> sp.	Ausencia/Presencia de colonias	Laboratorio Microbiológico

El recuento de *Clostridium* sp. se realizó en Agar SPS (Sulfito de Sodio-Polimixina sin adición de complemento - BBL), y la determinación de *Pseudomonas* sp. sobre Agar base *Pseudomonas* CM 559 con 1% de glicerina (Oxoid). El procedimiento consistió en mezclar 10 g de champiñones de cada tratamiento con 90 ml de agua peptonada 0,1%, previamente esterilizada. De la disolución inicial se realizó dilución seriada hasta una disolución 10^{-3} . Se colocó en cada caja de petri 1 ml y se le adicionó el medio correspondiente. Las muestras se incubaron a temperatura de 37°C en campana de anaerobiosis, con indicador durante 48 horas para la determinación de *Clostridium* sp. También a temperatura de laboratorio (21-24°C) durante 24 horas, para la determinación de *Pseudomonas* sp. Estas últimas se leyeron posteriormente con una lámpara de luz UV para confirmar la formación del pigmento fluorescente por parte de las *Pseudomonas*. Los resultados microbiológicos del primer parámetro se expresaron como UFC/g (unidades formadoras de colonias por gramo de producto), mientras los resultados de *Pseudomonas* sp. fueron calificados como ausente o presente.

Por cada temperatura se evaluó el efecto de la interacción empaque y mezcla de gases, a través de un modelo de análisis para el diseño completamente aleatorio en arreglo factorial 8 x 3 (8 mezclas de gases y 3 empaques), seleccionando aquellos tratamientos que presentaron el menor promedio en el recuento de *Clostridium* sp. y *Pseudomonas* sp., y aquellos que en el 90% o más de las unidades experimentales presentarían una textura firme, según la prueba de Duncan.

ETAPA DE EXPERIMENTACIÓN

Esta etapa permitió establecer en condiciones dadas de temperatura y humedad relativa, la mejor combinación empaque-mezcla de gases que prolongara por un período de tiempo

mayor la vida de anaquel de los champiñones y los conservara en óptimas condiciones.

Para este propósito se utilizaron las tres mezclas de gases que presentaron un mejor comportamiento en la fase anterior y una cuarta mezcla, la atmósfera ambiente. Además, se usaron los tres empaques seleccionados con los que se trabajó en las fases anteriores y un cuarto empaque, denominado envoltorio, constituido básicamente por polietileno de baja densidad, empaque en el cual se mercadean corrientemente los champiñones.

El efecto de la interacción mezcla de gases y empaque, se evaluó para cada temperatura bajo un modelo de análisis para el diseño completamente aleatorio con arreglo factorial 4 x 3 (4 mezclas de gases y 3 empaques) + 1 testigo, sobre la variable de respuesta tiempo de anaquel, considerando que al evaluar las características sensoriales, fisico-químicas, microbiológicas y la composición atmosférica, no se encontrara alteración del producto.

La unidad experimental fue la descrita inicialmente, empacada en las bolsas elaboradas con los materiales seleccionados con dimensiones conocidas. En las bolsas se inyectó la atmósfera de gases escogida, almacenándolas a temperaturas de 4 y 10°C y humedad relativa controlada.

Determinación de la población bacteriana.

En este experimento se evaluaron los efectos de la AM sobre la población bacteriana. El recuento microbiano consideraba el total de microorganismos mesófilos aerobios (agar peptona de caseína-glucosa extracto de levadura de Merck), mohos y levaduras (agar maltosa-saboreaud de Oxoid), determinación de *Clostridium* sp. (agar SPS sulfito de sodio-polimixina sin adición de complemento - BBL); la de *Pseudomonas* sp. realizada sobre agar base *Pseudomonas* CM 559 (Oxoid) con 1% de glicerina. Los resultados microbiológicos de

los tres primeros parámetros se expresaron como UFC/g, y los resultados de *Pseudomonas* se calificaron como ausente o presente.

El procedimiento seguido fue el mismo que se describió para la selección de la atmósfera de gases; las cajas para el recuento de mesófilos se sometieron a incubación a 37°C durante 48 horas, y para el recuento de mohos y levaduras a temperatura de laboratorio (21 - 24°C) durante 5 días. A 4°C las evaluaciones de los tratamientos se realizaron en los días 3, 6 y 10 y a temperatura de 10°C en los días 3, 6 y 8.

Análisis físico-químico. Se tomaron tres unidades experimentales por tratamiento, y en intervalos de tres días se realizaron análisis de

peso, % de CO₂, % de O₂, textura, pH y humedad (Tabla 5).

Análisis sensorial. El Panel de Catación de Cenicafé fue debidamente entrenado para este propósito. Los parámetros evaluados fueron color, apariencia, olor, textura, sabor e impresión global (6). Se utilizó una escala de evaluación de 1 a 9 la cual se interpretó de la siguiente manera: 9, 8, 7: aceptable, 6, 5, 4: tolerable y 3, 2, 1: de total rechazo.

Para la evaluación del parámetro color se elaboró una escala según el grado de pardeamiento desarrollado por los champiñones durante el tiempo de almacenamiento (Figura 1). Las muestras se evaluaron con intervalos de dos días (11).

TABLA 5. Análisis físico-químicos realizados en la etapa de experimentación.

ANÁLISIS	METODO	EQUIPO	REFERENCIA
Peso	Pesaje	Balanza Analítica	Mettler Toledo AB 204
% de CO ₂	Absorción	Analizador de gases Orsat	
% de O ₂	Absorción	Analizador de gases Orsat	
Textura	Penetrómetro	Fruit Tester	FT 327
pH	Potenciometría	Potenciómetro con electrodo en punta	Schott CG 837
Humedad	Pérdida de Peso (secado)	Estufa	Memert W 854



Figura 1. Escala de Color de champiñones (*Agaricus bisporus*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física del producto. Se realizó un análisis de estadística descriptiva de las 100 muestras evaluadas. Los resultados de la caracterización física se presentan en la Tabla 6 y los parámetros de peso, textura y humedad se ilustran en las Figuras 1 a 3.

Medida de la intensidad respiratoria. Los datos obtenidos de esta fase del experimento se presentan en la Tabla 7 y las curvas resultantes para cada una de las tres temperaturas en la Figura 4.

Como lo expresan Halachmy y Nichols(2) y Hammond y Manheim (4), se observó que la velocidad de respiración del champiñón fue alta inmediatamente después de la recolección, luego descendió durante las primeras 24 horas y posterior a esta disminución inicial, se mostró un incremento en la velocidad de producción de CO₂ hasta alcanzar un máximo. El tiempo requerido para alcanzar este máximo varía con el estado de desarrollo del champiñón y con la temperatura de almacenamiento (Figura 4).

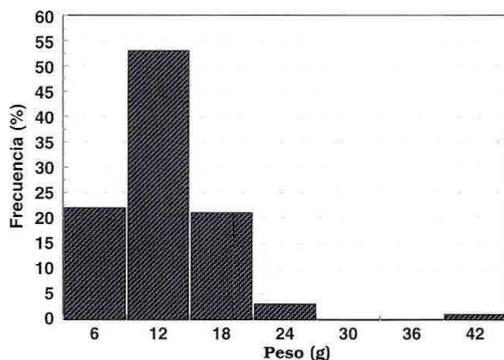


Figura 1. Distribución de frecuencia del peso (g) del champiñón recibido.

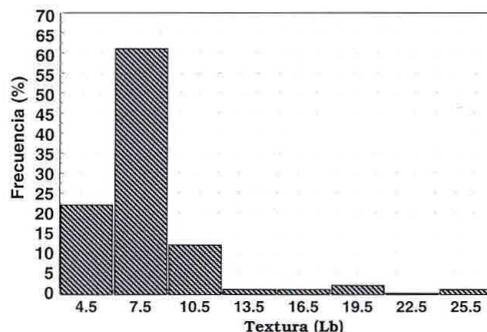


Figura 2. Distribución de frecuencia de la Textura (Lb) del champiñón recibido

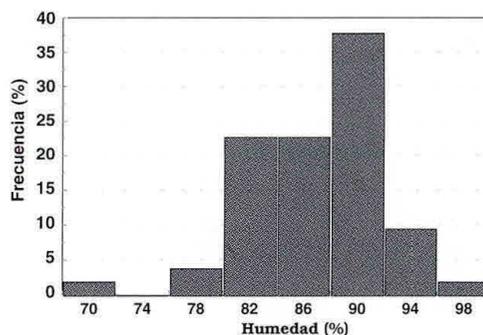


Figura 3. Caracterización de la humedad del champiñón. (%).

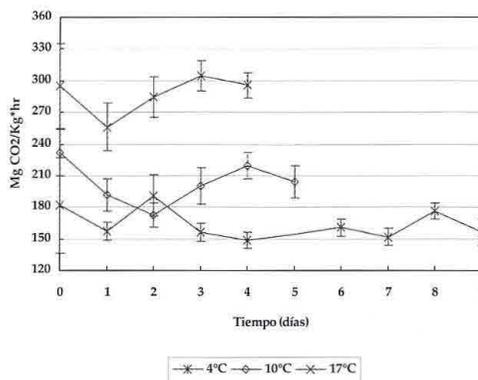


Figura 4. Curva de respiración de champiñones (*Agaricus bisporus*) a tres temperaturas diferentes (4, 10 y 17°C).

TABLA 6. Caracterización física de champiñones (*A. bisporus*) de tercera cosecha cultivados en Agrícola La Vega – Manizales.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar
Diámetro del sombrero (mm)	18,0	55,5	30,5	6,4
Altura del sombrero (mm)	11,4	30,0	19,6	3,8
Longitud del tallo (mm)	0,0	19,4	6,6	3,8
Longitud total (mm)	13,0	42,5	26,2	5,7
Peso (g)	1,8	39,2	9,8	5,2
Textura (lb)	3,0	24,0	6,5	3,2
Humedad (%)	66,9	96,0	84,9	4,8

TABLA 7. Promedio de la intensidad respiratoria de champiñones (*A. bisporus*) a temperaturas de 4, 10 y 17°C

Días	I.R. (mg de CO ₂ /kg*H)					
	4°C		10°C		17°C	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
0	182,04	45,42	231,89	21,60	294,94	40,36
1	157,30	8,65	191,39	15,16	255,98	22,29
2	191,14	19,75	172,59	11,80	284,29	18,98
3	155,93	8,59	200,60	17,19	304,93	14,31
4	148,38	7,63	219,50	12,73	295,64	12,03
5	-	-	204,19	15,28		
6	160,88	8,22				
7	151,73	8,27				
8	176,14	7,73				
9	156,42	12,42				

Selección del material de empaque. De acuerdo a los resultados del análisis con el equipo Orsat se concluyó que tanto a temperatura ambiente (21-24°C) como a 4°C, los empaques de polipropileno y polietileno de baja y alta densidad presentaban una permeabilidad muy alta de entrada para el oxígeno y de salida para el dióxido de carbono, pues en los primeros dos días la mezcla de gases en el interior del empaque igualó la atmósfera ambiente (Figuras 5 y 6). Un comportamiento similar se encontró en el empaque Bicolor ASX-150, donde la mezcla ini-

cial de gases no se mantuvo constante. Las bolsas Poly.vac, Lafán JP, Aluminizada, Poliéster/ Polietileno y EVOH presentaron una buena barrera para la entrada de O₂ y la salida de CO₂, tanto a 4°C como a temperatura ambiente.

Los resultados de estos experimentos demostraron que estas últimas cinco películas fueron inicialmente aptas para el empaque de champiñones ya que presentaron comportamientos similares en cuanto a permeabilidad para los gases de interés.

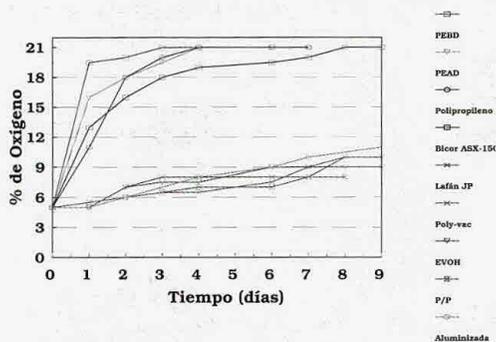


Figura 5. Concentración de O₂ (%) de las 9 películas plásticas preseleccionadas almacenadas a 4°C.

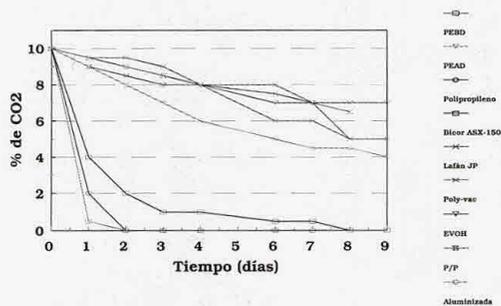


Figura 6. Concentración de CO₂ (%) de las 9 películas plásticas preseleccionadas almacenadas a 4°C.

Otros factores que influyeron en la selección del empaque. La serie fotográfica realizada (Figura 2) a cada material de empaque, donde se encontró que de los cinco empaques inicialmente pre-seleccionados, los tres últimos (Aluminizada, PP, EVOH) mostraban al cabo de un tiempo de almacenamiento de nueve días un producto en mejores condiciones (evaluando características físicas como color) que los dos primeros empaques, (Poly-vac, Lafán JP) en donde se observaba un producto de un color amarilloso o crema.

El alto costo y la poca transparencia de la película Lafán JP.

La dificultad de sellado con calor de la película Bicolor ASX-150.

Lo anterior conllevó a seleccionar los siguientes empaques: Aluminizado, EVOH, Poliéster/Polietileno. Todos en bolsas de dimensiones 16 x 24 cm.

Selección de la atmósfera de gases. Los ensayos realizados a las tres temperaturas con las diferentes mezclas de gases, originaron las Figuras 7 y 8; los resultados se derivan del promedio de los valores calculados en las tres repeticiones. A temperatura de 4°C, en las mezclas 1, 2, 7 y 8 se observó crecimiento de *Clostridium* sp., y en las mezclas 3, 4, 5 y 6 estaba ausente al cabo de ocho días de almace-

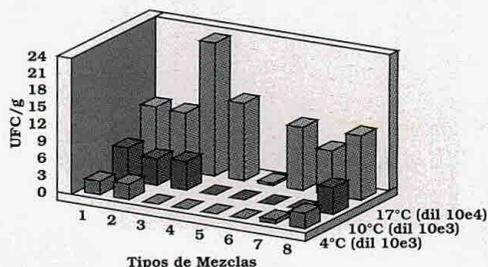


Figura 7. Recuento de *Clostridium* sp. en los champiñones luego de ocho días almacenados a tres temperaturas diferentes (4, 10 y 17°C), con las ocho mezclas de gases seleccionadas

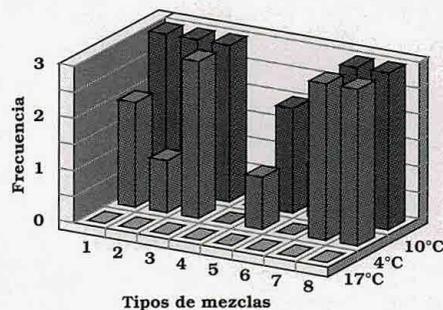


Figura 8. Recuento de *Pseudomonas* sp. en los champiñones luego de ocho días almacenados a tres temperaturas diferentes (4, 10 y 17°C), con las ocho mezclas de gases seleccionadas



a.



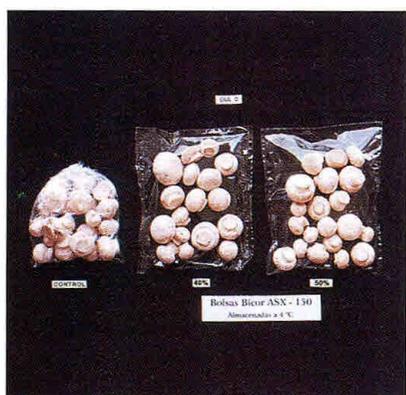
b.



c.



d.



e.



f.

Figura 2. Serie fotográfica realizada en la selección del material de empaque. En la Figura se observan algunas de las bolsas utilizadas : (a) Polietileno de baja densidad, (b) Poliester/Polietileno, (c) Aluminizada, (d) Poly-vac, (e) Bicolor ASX-150 y (f) EVOH.

namiento. A temperatura de 10°C se encontró presente en las mezclas 1, 2, 3 y 8, y estuvo ausente en las mezclas 4, 5, 6 y 7 en dilución 10³. A temperatura de 17°C se observó abundante crecimiento en todas las muestras, en dilución 10⁴; las de menor crecimiento fueron las mezclas 5 y 7 (Figura 7).

De igual forma se mostró que para el análisis microbiológico de *Pseudomonas* sp. a temperatura de 4°C se encontró ausente en las mezclas 1, 2, 4, 5 y 6. Se puede notar que a temperatura de 10°C no se encontró crecimiento en las mezclas 4, 5 y 6, mientras a temperatura de 17°C no se observó crecimiento en ninguna de las mezclas, esto debido posiblemente al gran aumento de CO₂ que generó condiciones adversas para el crecimiento de esta bacteria (Figura 8).

Esta etapa pre-experimental también se complementó con una serie de observaciones sobre el comportamiento de los empaques con cada una de las mezclas de gases luego de ocho días de almacenamiento a cada temperatura. De estas observaciones se pudo concluir que los empaques que contenían las mezclas 1 y 2 se inflaron, en las tres temperaturas e incluso a

17°C se presentó rompimiento que conllevó a una oxidación acelerada del producto. Las demás mezclas de gases mostraron un buen comportamiento a 4°C y a 10°C pero no ocurrió lo mismo con la temperatura de 17°C donde se observó daño del producto en todas las mezclas de gases; lo anterior sumado al crecimiento de *Clostridium* sp. observado a esta temperatura llevó a concluir que 17°C no es una temperatura óptima para el almacenamiento de champiñones bajo la tecnología de AM.

Los análisis de textura y humedad mostraron que no existen diferencias significativas entre las tres temperaturas, por lo cual no se tomaron como criterio para la selección de las mezclas. Después de realizar los análisis anteriores evaluando cada uno de los parámetros y considerando las gráficas correspondientes se concluyó que las mezclas que mostraron mejor comportamiento fueron: 2% O₂ - 5% CO₂ - 93% Nitrógeno (4), 5% O₂ - 10% CO₂ - 85% Nitrógeno (5), 12% O₂ - 9% CO₂ - 79% Nitrógeno (6).

Los tres empaques, las tres atmósferas y las dos temperaturas seleccionados, originaron los 26 tratamientos que se evaluaron en la etapa experimental (Tabla 8), donde se utilizó ade-

TABLA 8. Tratamientos utilizados para la conservación de champiñones *A. bisporus*, resultantes en la etapa de experimentación.

4°C			10°C		
T	ATMÓSFERA	EMPAQUE	T	ATMÓSFERA	EMPAQUE
1		EVOH	14		EVOH
2	2% O ₂ - 5% CO ₂ - 93% N ₂	P/P	15	2% O ₂ - 5% CO ₂ - 93% N ₂	P/P
3		Aluminizada	16		Aluminizada
4		EVOH	17		EVOH
5	5% O ₂ - 10% CO ₂ - 85% N ₂	P/P	18	5% O ₂ - 10% CO ₂ - 85% N ₂	P/P
6		Aluminizada	19		Aluminizada
7		EVOH	20		EVOH
8	12% O ₂ - 9% CO ₂ - 79% N ₂	P/P	21	12% O ₂ - 9% CO ₂ - 79% N ₂	P/P
9		Aluminizada	22		Aluminizada
10		EVOH	23		EVOH
11	Ambiente	P/P	24	Ambiente	P/P
12		Aluminizada	25		Aluminizada
13		Envoltorio	26		Envoltorio

T: Tratamiento

más un cuarto empaque constituido por un envoltorio y una cuarta mezcla que era la atmósfera ambiente.

ETAPA DE EXPERIMENTACIÓN

Condiciones de almacenamiento. Los champiñones empacados fueron almacenados por un tiempo máximo de 13 días en condiciones de temperatura promedio de 4,33°C +/- 0,49 y por un tiempo máximo de 10 días a temperatura promedio de 10,6°C +/- 0,86. No se realizó un control constante de la humedad relativa, pero ésta se mantuvo para 4°C en un rango de 94 y 99% con un promedio de 98,5% y para 10°C entre 92 y 99,9%, con promedio de 99%.

El análisis estadístico de la etapa de experimentación se realizó utilizando el procedimiento ANOVA del lenguaje SAS versión 6.08 corrido en computadora IBM 9678. Cuando se encontraron diferencias significativas sobre cada variable dependiente se utilizó la prueba de Duncan para determinar cuál de las muestras difería significativamente de las otras. Se utilizó un nivel de confianza del 95%.

Análisis microbiológico. Se realizó un análisis estadístico a los resultados microbiológicos

obtenidos con el propósito de identificar aquellos tratamientos que no presentaron crecimiento de *Clostridium* sp. durante todo el tiempo de almacenamiento en ambas temperaturas. La Tabla 9 presenta los tratamientos que hasta el día 12 de almacenamiento a temperatura de 4°C y hasta el día 6 de almacenamiento en la temperatura de 10°C no presentaron crecimiento de este patógeno.

Como se puede observar en la Tabla 9, la combinación atmósfera de gases - empaque que conservó los champiñones aptos para el consumo (sin crecimiento de *Clostridium* sp) a temperaturas de 4 y 10°C y por tiempos máximos de 12 y 6 días respectivamente fue la combinación 5%O₂ - 10%CO₂ - 85% N₂ con el empaque Poliéster/Polietileno. A 4°C (Figura 9) no se observó crecimiento de este microorganismo hasta el noveno día cuando el producto empacado en la bolsa aluminizada comenzó a mostrar un ligero aumento en el recuento; los demás empaques garantizaron la seguridad del producto hasta el día 12 de almacenamiento. A temperatura de 10°C el incremento de *Clostridium* sp se observó desde el cuarto día de almacenamiento en el producto empacado con las bolsas EVOH (Figura 10). El producto empacado en las demás bolsas no mostró crecimiento de este microorganismo durante todo el tiempo de almacenamiento.

TABLA 9. Tratamientos que no presentaron crecimiento de *Clostridium* sp. durante todo el almacenamiento bajo temperaturas de 4 y 10°C.

Temperatura	Tratamiento	Atmósfera de gases	Empaque
4°C	4	5%O ₂ - 10%CO ₂ - 85% N ₂	EVOH
	5		Poliéster/Polietileno
	10	Ambiente	EVOH
	13		Envoltorio
10°C	18	5%O ₂ - 10%CO ₂ - 85% N ₂	Poliéster/Polietileno
	19		Aluminizado
	22	12%O ₂ - 9%CO ₂ - 79% N ₂	Aluminizado
	26	Ambiente	Envoltorio

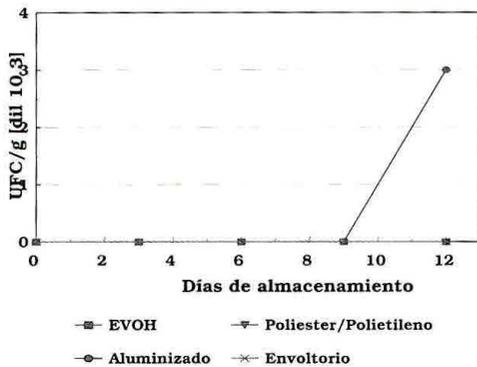


Figura 9. Recuento de Unidades Formadoras de Colonias de *Clostridium* sp en champiñones almacenados a 4°C con la mezcla de gases 5% O₂ - 10% CO₂ - 85% N₂ y con cada uno de los empaques preseleccionados (EVOH, Poliéster/Polietileno y Aluminizado).

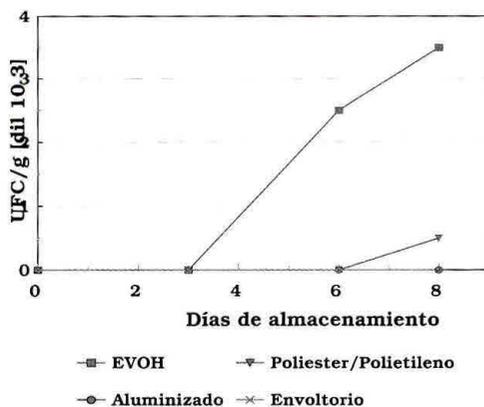


Figura 10. Recuento de *Clostridium* sp de los champiñones almacenados a 10°C con la mezcla de gases 5% O₂ - 10% CO₂ - 85% N₂ y con cada uno de los empaques preseleccionados (EVOH, Poliéster/Polietileno y Aluminizado).

En las Tablas 10 y 11 se presentan los resultados de los análisis estadísticos realizados a los diferentes ensayos microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales realizados con los tratamientos enunciados en la Tabla 9.

Análisis fisicoquímicos. El análisis estadístico de esta etapa se realizó utilizando el proce-

dimiento de análisis de varianza del programa SAS (Tabla 10). Cuando se mostraban diferencias significativas sobre cada variable dependiente se utilizó la prueba de Duncan para determinar cuál de los tratamientos difería significativamente del otro. Se utilizó un nivel de confianza del 95%.

Concentraciones de CO₂ y de O₂. En todos los tratamientos se observó un incremento rápido en la producción de CO₂ y una reducción en las cantidades iniciales de O₂ dentro de cada material de empaque. El proceso de incremento de CO₂ y disminución de O₂ se presentó debido a que los champiñones tomaron todo el oxígeno presente en el interior de los empaques para su proceso respiratorio. La naturaleza del material de empaque no mostró diferencias significativas (11), pero se observó que su permeabilidad favoreció la conservación del producto en buenas condiciones, debido a que permitió la entrada paulatina de oxígeno del ambiente lo cual generaba procesos respiratorios más lentos que conllevaron a retardar la senectud del producto. A temperatura de 10°C se notó un mayor incremento en el % de CO₂ en todos los empaques que a temperatura de 4°C (Tabla 10).

Determinación del peso. Los análisis estadísticos realizados en esta fase del experimento para los tratamientos seleccionados, no mostraron diferencias significativas entre los champiñones empacados bajo la tecnología de AM y los champiñones almacenados con el envoltorio y a atmósfera ambiente (Tabla 10). Entre las dos temperaturas no se observaron diferencias marcadas en la pérdida de peso.

Humedad, Textura y pH. Para los tratamientos seleccionados inicialmente, las evaluaciones de humedad, textura y pH que se realizaron durante todo el tiempo de almacenamiento no presentaron diferencias significativas marcadas entre los tratamientos con AM y el envoltorio (Tabla 10). El parámetro de textura evaluado instrumentalmente en el laboratorio por

TABLA 10. Resultados estadísticos de los análisis físico-químicos realizados en el día 12 de almacenamiento a temperatura de 4°C y en el día 6 de almacenamiento a temperatura de 10°C a los tratamientos que no presentaron crecimiento de *Clostridium* sp.

Tto	T	Día	% CO ₂		% O ₂		Peso		Humedad		Textura		pH	
			N	0	N	0	N	0	N	0	N	0	N	0
4	4	12	3	43,3 a	3	0,5 a	3	250,2 ab	3	92,7 a	3	6,8 a	3	6,5 b
5	4	12	3	37,3 a	3	0,5 a	3	249,6 ab	3	91,6 a	3	7,7 a	3	6,4 b
10	4	12	2	42,5 a	2	0,5 a	5	250,7 a	2	91,9 a	2	19,7 a	2	6,7 ab
13	4	12	-	-	-	-	8	248,8 b	5	93,6 a	5	14,5 a	5	6,9 a
18	10	6	3	37,3 c	3	1,0 a	3	249,6 a	3	93,0 a	3	14,0 a	3	6,7 a
19	10	6	3	39,3 b	3	1,0 a	3	249,6 a	3	93,3 a	3	9,3 a	3	6,0 b
22	10	6	3	40,3 a	3	1,0 a	3	250,0 a	3	92,6 a	3	13,0 a	3	6,3b
26	10	6	-	-	-	-	9	249,2 a	9	93,9 a	9	10,6 a	9	6,9a

* Promedios seguidos por letras diferentes presentan diferencia estadística. Duncan al 5%.

TABLA 11. Resultados estadísticos de los análisis sensoriales y microbiológicos realizados en el día 12 de almacenamiento a temperatura de 4°C y en el día 6 de almacenamiento a temperatura de 10°C a los tratamientos que no presentaron crecimiento de *Clostridium* sp. Duncan 5%.

Tto	T	Día	Análisis Sensorial				Análisis Microbiológico			
			Textura		Impresión Global		Rcto de Mesófilos		Rcto de Hongos y Levaduras	
			N	0	N	0	N	0	N	0
4	4	12	2	5,4 b	4	5,3 a	2	0,0 b	2	93,5 b
5	4	12	2	4,8 c	4	4,5 a	2	3,5 b	2	29,5 c
10	4	12	2	5,9 a	4	5,0 a	1	3,0 b	1	65,0 b c
13	4	12	2	1,5 d	4	1,3 b	2	310,0 a	2	465,0 a
18	10	6	2	4,0 ab	3	4,3 a	2	77,0 b	2	1,5 b
19	10	6	3	4,3 ab	3	4,7 a	2	41,0 b	2	7,5 b
22	10	6	1	5,0 a	3	5,3 a	2	76,5 b	2	29,0 b
26	10	6	2	3,3 b	8	1,5 b	6	346,7 a	6	180,5 a

* Promedios seguidos por letras diferentes presentan diferencia estadística. Duncan al 5%.

medio del penetrómetro, no concuerda con los análisis sensoriales realizados por el panel de catación de Cenicafé, pues como se puede observar en la Tabla 11, la textura de los tratamientos almacenados a 4°C evaluada sensorialmente presenta diferencias significativas entre sí y con el envoltorio, mientras en los análisis fisico-químicos no se muestran estas diferencias (Tabla 10). Lo anterior nos indica la gran variación que puede existir entre la textura instrumental y la textura sensorial.

Análisis sensorial. A los parámetros evaluados por el panel de catación de Cenicafé (color, apariencia, olor, sabor, textura e impresión global) se les realizó un análisis de varianza para cada temperatura. En la Tabla 11 se muestran los resultados de los tratamientos seleccionados en los últimos días de almacenamiento (día 12 a 4°C y día 6 a 10°C) para las variables Impresión Global y Textura. Se puede observar que los empaques EVOH, Poliéster/Polietileno y Aluminizado no presentan diferencias significativas entre sí, pero éstos sí son significativamente diferentes con el Envoltorio (Duncan 5%).

En la Figura 11 se observan los resultados obtenidos de evaluar el parámetro Impresión Global para los champiñones que se empacaron con la tecnología de AM (atmósfera 5% O₂ - 10% CO₂ - 85% N₂ con los empaques preseleccionados) y los empacados sin esta tecnología (atmósfera ambiente - envoltorio = Testigo), los cuales se almacenaron a temperatura de 4°C. El testigo sostuvo durante todo el tiempo de almacenamiento, una calificación inferior en todas los parámetros y resultó notorio que desde el octavo día se encontraba con una calificación de 3 (rechazo), mientras el producto almacenado con la tecnología de AM se conservó dentro del rango de aceptabilidad hasta el día 12 de almacenamiento, fecha en que aún es factible presentarle al consumidor un producto en buenas condiciones. Con estas gráficas se puede observar que la utilización de

la técnica de empaque con AM prolonga hasta un 100% la vida de anaquel del champiñón almacenado a esta temperatura.

Sin embargo no se presenta el mismo comportamiento a temperatura de 10°C donde el producto tuvo una menor duración (Figura 12) pues en el octavo día de almacenamiento tanto los tratamientos empacados con AM como el testigo tenían una calificación de 1 (total rechazo y no apto para el consumo). En el sexto día de almacenamiento fue posible observar que el producto empacado con AM se encontró dentro

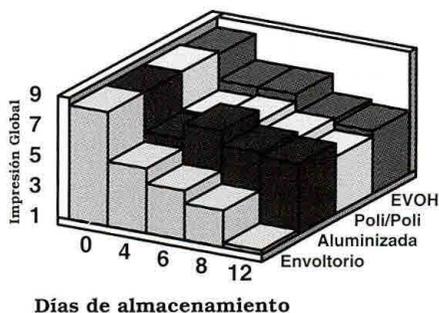


Figura 11. Análisis sensorial (Valor Promedio de la Impresión Global) para todas las mezclas de gases, almacenadas a temperatura de 4°C.

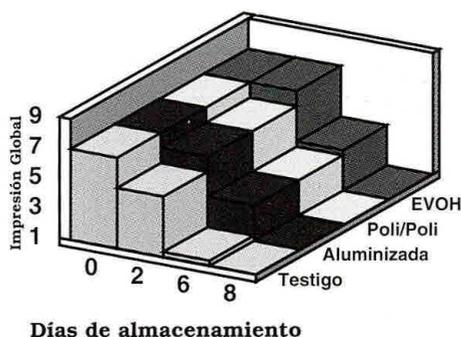


Figura 12. Análisis sensorial (Promedio de valores de Impresión Global) para todas las mezclas de gases, almacenadas a temperatura de 10°C.

del rango aceptable, mientras el testigo se encontró en las escalas mínimas de calificación (< 3).

Lo resultados anteriores mostraron como los champiñones almacenados bajo la tecnología de AM, (utilizando la atmósfera 5% de O₂, 10% de CO₂ y 85% N₂ combinada con el empaque Poliéster/Polietileno, la cual no presentó crecimiento de patógenos anaerobios como el *Clostridium* sp.) conservó en muy buenas condiciones el producto y fue posible duplicar su tiempo de almacenamiento e inclusive, fue capaz de resistir cambios de temperatura que oscilaron entre 4 y 10°C presentados muchas veces durante el transporte (11).

LITERATURA CITADA

1. BERMEJO, F. Química analítica general, cuantitativa e instrumental. Vol. I2. 6. ed. Madrid, Editorial Paraninfo S.A., 1991. 1647 p.
2. HALACHMY, B.; MANNHEIM, C.H. Is modified atmosphere packaging beneficial for fresh mushrooms?. *Lebensmittel- Wissenschaft und Technologie* 25(5): 426-432. 1992.
3. HALACHMY, B.; MANNHEIM, C.H. Modified atmosphere packaging of fresh mushrooms. *Packaging Technology and Science* 4: 279-286. 1991.
4. HAMMOND, J.B.; NICHOLS, R. Changes in respiration and soluble carbohydrates during the post-harvest storage of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Science of the Food and Agriculture* 26: 835-842. 1975.
5. HOTCHKISS, J.H. Experimental approaches to determining the safety of food packaged in modified atmospheres. *Food Technology* 42(9): 55-64. 1988.
6. JORGE, N.; CHAVEZ, J.B.P. Sensory evaluation of dried mushrooms (*Agaricus bisporus*) prepared under various drying and storage conditions. *Alimentos e Nutricao* 4: 65-78. 1992.
7. KUYPER, L.; WEINERT, I.A.G.; MCGILL, A.E.J. The effect of modified atmosphere packaging and addition of calcium hypochlorite on the atmosphere composition, colour and microbial quality of mushrooms. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 26(1):14-20. 1993.
8. LOPEZ B., G.; VAROQUAX, P. ; BUREAU, G. Modified atmosphere packaging of common mushrooms. *International Journal of Food Science and Technology* 28(1): 57-68. 1993.
9. MENDOZA, M.A. Indices de madurez y conservación de mango mediante el uso de atmósferas modificadas (*Mangifera indica* var. *Tommy Atkins*). Santafé de Bogotá, Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería de Alimentos, 1994. 122 p. (Tesis: Ingeniería de Alimentos).
10. NICHOLS, R. ; HAMMOND, J.B. Storage of mushrooms in pre-packs: The effect of changes in carbon dioxide and oxygen on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 24: 1371-1381. 1973.
11. PAVA R., M.P. Empaque y almacenamiento de champiñones (*Agaricus bisporus*) bajo la tecnología de atmósferas modificadas. Manizales, Universidad Nacional de Colombia, 1996. 100 p. (Tesis: Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos).
12. RODRIGUEZ, M. Envasado bajo atmósfera protectora. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 3(1): 43-49. 1994.
13. SCOTT, W.W. Standard methods of chemical analysis. Vol 2. 5. ed. New York, Van Nostrand, 1939. p. 2349-2351.
14. SELMAN, J.D. Practical experencies of sensory investigations into de packaging of vegetables. *Packaging Technology and Science* 6: 183-193. 1993.
15. YAHIA, E. Uso de atmósferas modificadas y controladas como medio de conservación de calidad de frutas y hortalizas. In: SIMPOSIO Internacional de Manejo Postcosecha y Perspectivas de Comercialización de frutas y Hortalizas. Santafé de Bogotá, Universidad Nacional, 1.995. p.v.
16. ZAGORY, D.; KADER, A. Modified atmosphere packaging of fresh products. *Food Technology* 42 (9): 70-77. 1988.