

EFECTO DE DOS ATMÓSFERAS DE EMPAQUE EN HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus* L.) TRATADOS MEDIANTE IMPREGNACIÓN A VACÍO CON UNA SOLUCIÓN CONSERVANTE

EFFECT OF TWO ATMOSPHERES PACKAGING ON EDIBLE MUSHROOMS (*Pleurotus ostreatus* L.) TREATED BY VACUUM IMPREGNATION WITH CONSERVANT SOLUTION

Marilza P. RUIZ R.^{1*}, Misael CORTÉS R.¹, Luis E. HENRÍQUEZ A.¹

Recibido: Agosto 13 de 2009 Aceptado: Noviembre 03 de 2009

RESUMEN

En este trabajo se describe la aplicación de la técnica de impregnación a vacío (IV) sobre hongos enteros comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) usando una disolución conservante (DI) a base de ácido ascórbico, ácido cítrico, sal, pectina de bajo metoxilo y calcio, para desarrollar un producto mínimamente procesado. Se valora la respuesta a la impregnación para determinar la composición de la DI y los cambios en las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de la matriz impregnada durante 12 días de almacenamiento a 4°C en dos atmósferas de envasado. La fracción volumétrica de impregnación en hongos pequeños ($5,5 \pm 1,4$ g) y grandes ($12,2 \pm 2,2$ g) es de $39,7 \pm 8,6\%$ y $31,2 \pm 10,7\%$, respectivamente. Los parámetros fisicoquímicos son afectados por la DI, el tiempo de almacenamiento y la atmósfera de envasado. Los °Brix, % acidez, % cloruros y % humedad disminuyen; el pH aumenta y la a_w se mantiene con el tiempo. La DI permite controlar el pardeamiento, obteniendo un producto de color aceptable hasta el noveno día. La luminosidad (L^*) presenta una tendencia a disminuir con el tiempo (más oscuras), manteniéndose en el plano cromático a^*b^* en las zonas grises. La textura del producto se considera aceptable, con características elásticas, y la DI le confiere duración en el tiempo. Para ambas atmósferas, los parámetros microbiológicos se encuentran dentro de los límites aceptados en la norma colombiana. El proceso IV representa una metodología efectiva que mejora los atributos sensoriales, microbiológicos y de calidad del hongo, alcanzando un incremento de un 12,5% en la vida útil.

Palabras clave: *Pleurotus ostreatus* L., impregnación a vacío, ácido cítrico, ácido ascórbico.

ABSTRACT

In this paper the vacuum impregnation technique (IV) is applied on edible whole mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.) using a conservant solution (CS) containing ascorbic acid, citric acid, salt, low methoxyl pectin and calcium, to develop a minimally processed product. The response to the impregnation is appraised to determine the composition of CS and to evaluate changes in the physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of the impregnated matrix stored at 4°C in two atmospheres during 12 days packaging. The volumetric fraction of impregnation in small (5.5 ± 1.4 g) and big mushrooms (12.2 ± 2.2 g) is respectively of $39.7 \pm 8.6\%$ and $31.2 \pm 10.7\%$. The physicochemical parameters are affected for CS, the time of storage and the packaging atmosphere. The °Brix, % acidity, % chlorides and % humidity decrease, the pH rises and the a_w keeps uniform during that time. CS allows to control the browning, obtaining a product with an acceptable color until the ninth day. The brightness (L^*) shows a tendency to decrease with the time (darker), but keeping it in the chromatic plane a^*b^* in the gray areas. The texture of the product is considered acceptable with elastic characteristic and CS maintains it during the time. For both atmospheres, the microbiological parameters are within the acceptable limits in the Colombian norm. The IV process represents an effective methodology that improves the sensorial, microbiological and quality attributes of the mushroom increasing 12.5% the shelf life.

Keywords: *Pleurotus ostreatus* L., vacuum impregnation, citric acid, ascorbic acid.

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. A.A. 568. Medellín, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: mpruiz@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

El hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L. es uno de los que mayor crecimiento productivo y de consumo ha tenido en los últimos diez años (1). Sus propiedades nutricionales y medicinales han favorecido este crecimiento y, a su vez, han aumentado la necesidad de aplicar técnicas de procesamiento y conservación. Posee un alto contenido de humedad (87-93%) y una elevada actividad de agua (0,980-0,997), que favorecen su rápida descomposición después de ser cosechado. Con el fin de conservar y mejorar sus características nutricionales y funcionales como producto mínimamente procesado, se ha planteado la ingeniería de matrices como herramienta que permite un mayor valor agregado en el producto.

Durante la última década se han desarrollado nuevos productos con valor agregado, a partir de la ingeniería de matrices, utilizando la técnica de impregnación al vacío (IV), como es el caso de los alimentos mínimamente procesados con características funcionales, en manzana (2-11), fresa (4, 12), piña (13), mango (14, 15, 16), cáscaras de frutos cítricos: naranja, mandarina, limón, pomelo (17, 18), papaya, banano, durazno, melón y mamey (15, 16), espinaca (19), orellana (20, 21, 22), berenjena y zanahoria (18, 21, 22), calabacín y champiñón (22), donde se han obtenido buenos resultados con este método. Adicionalmente, la técnica de IV ha sido empleada como mecanismo de impregnación de ácidos orgánicos, para reducir el pH y agentes antimicrobianos y antioxidantes inhibiendo el crecimiento microbiano y la oxidación, en combinación con almacenamiento a bajas temperaturas, lo que puede aumentar significativamente la vida útil del producto (23).

En muchos casos se adiciona más de un tipo de aditivos a un mismo producto alimenticio, con frecuencia antioxidantes y conservantes. Los antioxidantes sintéticos son ampliamente usados como aditivos alimenticios para prevenir la rancidez y el pardeamiento, por su alta funcionalidad, bajo costo y amplia disponibilidad (24, 25). El ácido ascórbico se adiciona usualmente a productos alimenticios como acidulante o fortificante, por ejemplo en ensaladas, jugos y purés de vegetales (26, 27). Además, ha sido usado dentro de soluciones de antipardeamiento en frutas y vegetales, con buenos resultados (28, 29). El calcio ha sido frecuentemente utilizado para mejorar la textura de frutas y vegetales (28,

30). Los ácidos orgánicos (acético, láctico, málico y cítrico) también son constituyentes naturales de muchos alimentos, usados como conservantes y desinfectantes de superficie de vegetales y frutas (31). El objetivo de este estudio fue desarrollar un producto mínimamente procesado, a partir del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, tratado por impregnación al vacío con una solución conservante a base de ácido ascórbico, ácido cítrico, sal, pectina de bajo metoxilo y calcio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima: se utilizaron hongos enteros comestibles *Pleurotus ostreatus* L., de origen colombiano (Rionegro-Antioquia), suministrados por la empresa Bioecológicos S.A. Para la disolución de impregnación (DI) se empleó cloruro de sodio (NaCl), pectina de bajo metoxilo, citrato de calcio (23% Ca y 99% pureza), ácido cítrico (98% pureza), ácido ascórbico (99% pureza) (Bell Chem S.A).

Caracterización fisicoquímica: se determinó la acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido cítrico por cada 100 g de producto impregnado, según la norma técnica colombiana NTC 4623/99 (32), porcentaje de cloruros NTC 210/00 (34), humedad en base húmeda (Xbh), AOAC 930.15/90 adaptado (35), pH por medida potenciométrica (Hanna pH 211), contenido de sólidos solubles expresado como °Brix según lectura refractométrica a 20°C indicado en NTC 4624/99 (33), actividad de agua (a_w), con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón serie 3, modelo 3TE). El color se determinó sobre la superficie del sombrero del hongo (cara lisa: CL) y en su envés (cara rugosa: CR), a partir de las coordenadas CIE-L*a*b* (L*: luminosidad, a*: cromaticidad roja/verde y b*: amarillo/azul, utilizando el espectrofotómetro X-RITE, SP64, iluminante D₆₅ y observador de 10°. La textura del producto se determinó en la CL a partir de ensayos de punción utilizando el analizador de textura TA.XT2i, (Stable Micro Systems), émbolo metálico de 2 mm de diámetro y una velocidad de penetración de 4 mm/s hasta una distancia de 5 mm.

Proceso de impregnación al vacío (IV): el proceso IV fue realizado en un sistema diseñado en la Universidad Nacional de Colombia (Centricol Ltda. Medellín, Colombia), el cual consta de una cámara en acero inoxidable, un sistema electromecánico que está acoplado a una balanza de precisión que permite determinar la evolución de la masa del

producto y del líquido de impregnación en cada una de las etapas del proceso, una bomba de vacío para generar presiones subatmosféricas, registradas en un vacuómetro.

Los hongos, seleccionados y clasificados, fueron pesados inicialmente y sumergidos en el recipiente con el líquido de impregnación. El sistema fue sometido a una presión de vacío de 150,4 mm Hg durante 5 minutos, después se restableció la presión atmosférica y se mantuvieron sumergidos por 5 minutos más. Para cada muestra impregnada se determinaron los parámetros de impregnación, fracción y deformación volumétrica al final de la etapa de vacío (X_1 y γ_1) y al final del proceso (X y γ) y la porosidad efectiva (ϵ_e) disponible para el proceso IV, según la metodología descrita por Salvatori *et al* (36), para lo cual se cuantificaron las masas durante la evolución del proceso de impregnación. La determinación de ϵ_e se realizó a partir de X y r (presión atmosférica/presión de vacío) según la ecuación 1 (37).

$$\epsilon_e = (X - \gamma) / (1 - \frac{1}{r}) \quad \text{Ecuación 1.}$$

Disolución de impregnación (DI) con solución conservante: la DI se determinó a partir de los valores preliminares de X , obtenidos con una solución isotónica de NaCl con igual a_w que el hongo fresco, en muestras de 2 tamaños de hongos diferentes ($5,5 \pm 1,4$ y $12,2 \pm 2,2$ g). La concentración de los ácidos ascórbico y cítrico se determinó con el criterio de incorporar 60 mg de ácido ascórbico y 250 mg de ácido cítrico por cada 100 g de producto, a partir de un balance de masa en el sistema hongo – DI (ecuación 2) (38), donde Y_i , X_i^{IV} , x_i^o son las fracciones másicas del componente i en la DI, en la matriz impregnada y en la matriz fresca respectivamente; ρ_{apm} y ρ_{dis} son las densidades aparentes de la matriz fresca y de la disolución isotónica respectivamente.

$$Y_i = \frac{X_i^{IV} (1 + X \frac{\rho_{dis}}{\rho_{apm}}) - x_i^o}{X \frac{\rho_{dis}}{\rho_{apm}}} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Las composiciones de calcio y pectina de bajo metoxilo se determinaron mediante pruebas de ensayo a partir del tiempo de gelificación de la solución isotónica adicionada en las relaciones de 20, 25, 30, 35 y 40 mg Ca^{+2}/g pectina, y con porcentajes de pectina del 0,1 y 0,2%, durante tiempos de control

de 30, 60, 120 y 1440 minutos, por observación visual de formación de gel. El criterio de selección del porcentaje de pectina y la relación mg Ca^{+2}/g pectina, debe satisfacer un tiempo de gelificación mínimo de 60 minutos, para que no desfavorezca el proceso IV.

Caracterización sensorial: se realizó de acuerdo con la NTC 5328/04 (39), siendo los descriptores seleccionados el color y olor característico, olor terroso y textura táctil (dureza y humedad). La prueba fue practicada por cinco jueces entrenados pertenecientes al Laboratorio de Análisis Sensorial de la Fundación INTAL, Medellín, por triplicado.

Caracterización microbiológica: se llevó a cabo de acuerdo con el manual para análisis microbiológicos INVIMA, 1998 (40), según recomendaciones para ensaladas, frutas y verduras crudas, en el Laboratorio de Análisis Microbiológico de la Fundación INTAL.

Almacenamiento: se evaluó la evolución de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales para los productos impregnados con la DI conservante, almacenados a una temperatura de 4°C. La determinación de los parámetros se efectuó en los días 0, 3, 6, 9 y 12. Para el almacenamiento de hongos frescos se utilizó el empaque comercial (bandeja de espuma de poliestireno de dimensiones 12 x 20 x 1,5 cm, recubierta con película transparente de cloruro de polivinilo), y para los hongos impregnados, una bandeja de polietilentereftalato/polietileno de baja densidad (PET/LDPE, permeabilidad despreciable), con papel absorbente de algodón (12 x 16 cm) y recubierta con laminado de polipropileno biorientado/polietileno de baja densidad (BOPP/LDPE) de 54 μm espesor, con permeabilidad al vapor de agua: 0,3 $\text{g}/\text{m}^2/24\text{h}/\text{atm}$, $T = 25^\circ\text{C}$; O_2 : 3400 $\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}/\text{atm}$ CO_2 : 12000 $\text{cm}^3/\text{m}^2/24\text{h}/\text{atm}$ y dimensiones 13 x 18 x 4,5 cm (Alico S.A). Las atmósferas de envasado fueron: ambiente (atmósfera 1), y una mezcla de gases (10% O_2 , 10% CO_2 y 80% N_2) (atmósfera 2).

Análisis de datos: los resultados fueron analizados a partir de ANOVA, en un modelo multifactorial completamente aleatorizado de tres factores de efectos fijos: empaque, atmósfera de envasado y tiempo de almacenamiento, utilizando el método LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0,05$). El análisis de varianza se hizo con el paquete estadístico STAT-GRAPHICS PLUS versión 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del hongo fresco: en la figura 1 se pueden observar los valores medios de los parámetros fisicoquímicos en los hongos frescos e impregnados. El ANOVA registró diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para los °Brix debidas al factor tiempo. Para la a_w , se obtuvieron coeficientes de variabilidad muy pequeños, que están dentro del rango de precisión del equipo ($\pm 0,003$). Los cambios de X_{bh} no fueron significativos, asociados a la permeabilidad del empaque que genera una humedad de equilibrio, lo cual es correspondiente con el sostenimiento de la a_w del producto. Se observa un incremento de los °Brix hasta el día 6, y luego disminuyen, lo cual puede atribuirse a los procesos metabólicos del producto, que incluyen una degradación de las macromoléculas tipo carbohidratos, que incluyen hidrolisis de los polisacáridos en monosacáridos y, por ende, un aumento en los sólidos solubles totales. Estos procesos metabólicos se favorecen en las condiciones de acidez encontradas (0,18-0,22) y pH (6,1-6,5), a lo que se suman valores altos de humedad (87,7-92,4). Los resultados obtenidos son similares, para la a_w , pH, X_{bh} y °Brix, a los reportados por otros autores, mientras que para la acidez y los cloruros son inferiores (22, 38, 41). Estas diferencias pueden atribuirse a los sustratos de producción utilizados.

Formulación de la DI conservante: el diseño de la formulación de la DI conservante requiere del conocimiento de los parámetros de impregnación, principalmente del valor de X (cm^3 emulsión/ cm^3 hongo) y ϵ_c (cm^3 gas/ cm^3 hongo) para el proceso IV, de acuerdo con la ecuación 1. La tabla 1 presenta los resultados de la respuesta a la IV, con la solución isotónica de NaCl al 1,6% (solución con igual a_w al hongo fresco 0,994).

Los resultados negativos de X_1 , γ_1 y γ denotan la salida de líquido nativo del interior del hongo y una deformación volumétrica de la muestra en ambas etapas. El valor de ϵ_c por encima del 100%, se atribuye a la cantidad de DI que queda adherida en la CR, la cual durante el almacenamiento, podrá

generar la migración de la DI hacia el interior del empaque. La respuesta a la IV obtenida en el hongo identifica esta estructura como muy favorable a la incorporación de componentes a través de la DI; sin embargo, presenta altos coeficientes de variabilidad según su tamaño. Estos resultados concuerdan con los reportados por Grass *et al* (22), en los cuales se presentó igualmente la salida de líquido nativo, y se considera una estructura apropiada para la fortificación, debido a su alto valor de X (41%). Por otro lado, en otras investigaciones de hongos fortificados con Ca, Se y vitamina C se han encontrado valores de X del orden del 11% (20).

Estos resultados justifican la incorporación de los componentes gelificantes utilizados (pectina de bajo metoxilo y calcio) para inducir una gelificación lenta, y como segunda medida, un secado superficial a 4°C después de impregnado. Los resultados subjetivos (no instrumentales) obtenidos de los ensayos de gelificación permitieron seleccionar una relación de 30 mg de calcio/g de pectina y 0,1% de pectina, alcanzando un tiempo de gelificación >60 minutos, suficiente para la realización del proceso IV. La composición final de la DI (basada en el desarrollo de la ecuación 2), expresada en %p/p fue: NaCl (1,600), ácido ascórbico (0,130), ácido cítrico (0,540), pectina de bajo metoxilo (0,100), citrato de calcio (0,013).

Caracterización del hongo impregnado: en la figura 1 se presentan los cambios en los parámetros fisicoquímicos de los productos frescos (Atm 1-F) por efecto de los componentes de la DI. Se observó un incremento de la acidez desde 0,20% hasta 0,59%, con la correspondiente reducción del pH desde 6,5 hasta 4,2; un incremento de los cloruros desde 1,8% hasta 6,2%, mientras que la humedad y la a_w no varían apreciablemente. Es importante tener en cuenta que estos cambios se ven afectados por el balance de ingreso y egreso de fluidos durante la IV, la cual reflejó una salida de líquido nativo en la etapa de vacío desde su interior.

El ANOVA registró diferencias estadísticas significativas en todos los parámetros fisicoquímicos ($P < 0,05$), debido a los factores tiempo de almacenamiento y atmósfera de envasado.

Tabla 1. Respuesta a la IV del hongo con solución isotónica de NaCl (1,6% p/p).

Tamaño (g)	X	X_1	γ_1	γ	ϵ_c
5,5 ± 1,4	39,7 ± 8,6	-20,8 ± 12,3	-18,6 ± 10,7	-86,1 ± 15,5	132,2 ± 19,3
12,2 ± 2,2	31,2 ± 10,7	-14,9 ± 17,5	-13,8 ± 8,9	-50,4 ± 12,6	85,6 ± 19,5

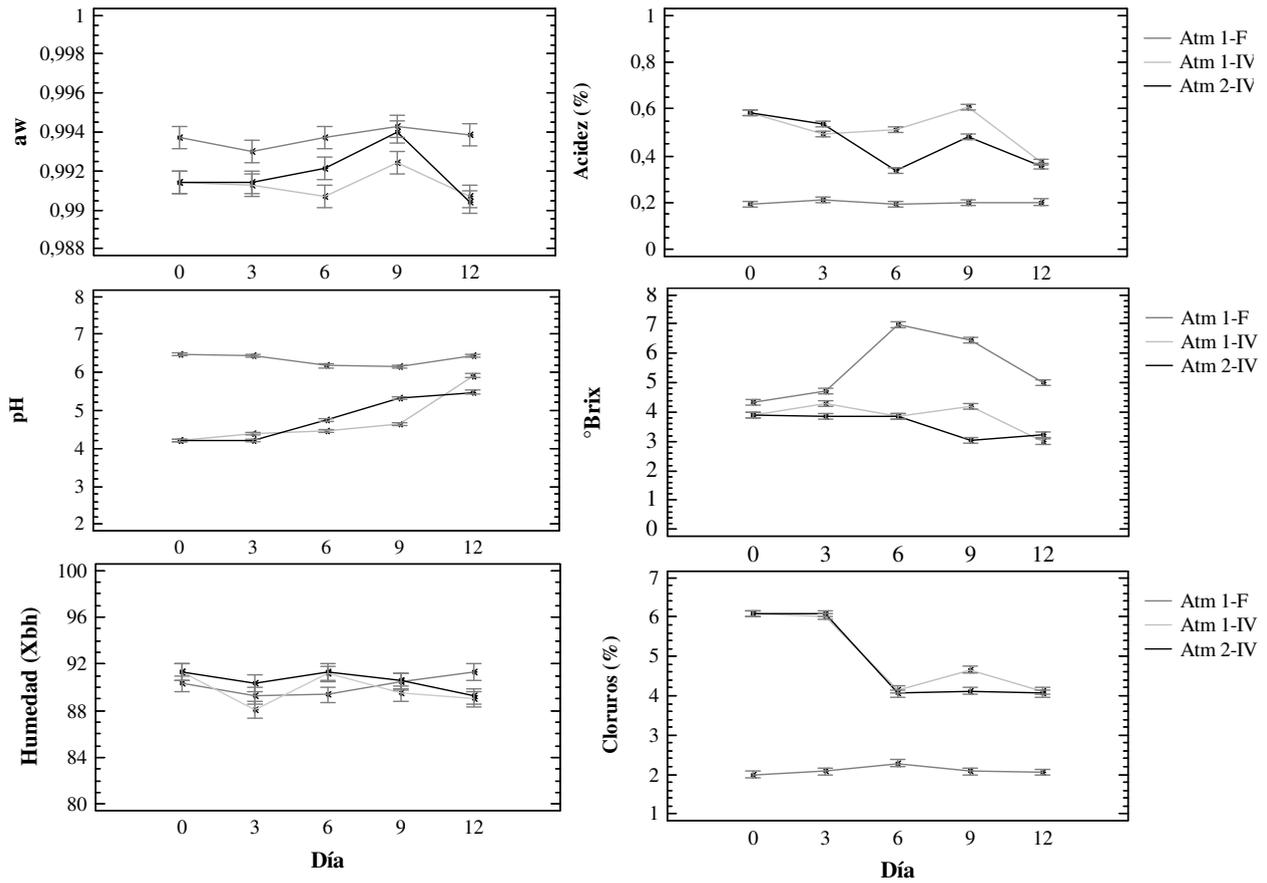


Figura 1. Valores medios con los intervalos LSD (95%) de °Brix, a_w , acidez, cloruros, humedad y pH en hongos frescos (Atm 1-F) e impregnados con la DI en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado (Atm 1-IV y Atm 2-IV).

Los cambios de a_w , no fueron apreciables, al coincidir con el rango de precisión del equipo (± 0.003). La X_{bh} tiende a permanecer estable durante el tiempo de almacenamiento, relacionado con los valores de a_w , lo que indica una deshidratación mínima del hongo durante la refrigeración, debida a diferencias en el potencial químico del agua ($\Delta\mu_{\text{agua}}$) entre el ambiente interno y el producto; la influencia del tipo de envasado en la X_{bh} sólo se observó en el 6° día de control, lo cual no es concluyente si se tiene en cuenta la tendencia observada durante todo el almacenamiento. En cuanto a los °Brix, la acidez y los cloruros, para el producto impregnado tienden a disminuir con el tiempo, posiblemente por la salida de DI desde el interior durante el relajamiento estructural que sufre el producto en el almacenamiento. Además, existen procesos naturales de degradación de carbohidratos y procesos metabólicos de respiración en el producto. A todo lo anterior se debe sumar el efecto de la alta variabilidad de esta matriz al

proceso IV, lo cual influye en los cambios observados de los parámetros fisicoquímicos. En general, no se consideró muy influyente la atmósfera de envasado sobre las propiedades fisicoquímicas del producto impregnado.

Los valores obtenidos de propiedades fisicoquímicas en cuanto a a_w , X_{bh} son similares a los reportados en hongos fortificados con Ca, Se y vitamina C, mientras que la acidez y el pH son inferiores y los °Brix y cloruros son superiores (20, 41); estas diferencias se asumen debido a la composición de cada DI utilizada.

Evolución del color durante el almacenamiento: los cambios en los parámetros de color de los productos frescos (Atm 1-F-CL y Atm 1-F-CR) con respecto a los impregnados son muy significativos por efecto de la DI incorporada por el proceso IV, que oscurece las muestras ($<L^*$) en ambas caras, y con una disminución de a^* y b^* , pero estos cambios son poco relevantes en el plano cromático a^*b^* (zona gris). Los menores valores

de L^* en las muestras IV guardan correspondencia con la transferencia en la superficie de la energía lumínica en otro tipo de energía al absorberse más luz por la presencia del líquido de impregnación ubicado en los poros del producto (23). Estudios efectuados en diferentes estructuras vegetales, como la manzana, la fresa y la papaya, demuestran que una de las propiedades físicas más afectadas por el IV es el color (18).

En la figura 2 se presentan los valores medios de L^* , a^* y b^* obtenidos en hongos frescos e impregnados durante el almacenamiento. El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas ($P < 0,001$) en todos los parámetros con respecto a los factores tiempo de almacenamiento, el tipo de cara y el proceso IV con respecto al producto fresco, pero no se presentaron diferencias en los hongos con DI por el tipo de atmósfera empleada.

El parámetro L^* tiene un comportamiento muy similar en ambas caras y tendencia a un ligero oscurecimiento durante el almacenamiento, debido principalmente a las reacciones de pardeamiento enzimático natural por la polifenol oxidasa presen-

te, aun bajo la acción del ácido ascórbico (41). Para el producto IV, la CL fue más oscura que la CR ($L^* <$), por la presencia del aire en los intersticios de la superficie irregular de la CR, que hace menos homogéneo el índice de refracción del tejido y disminuye el grado de absorción de la luz en esta zona, permitiendo ver la CR más clara que la CL. Los comportamientos de a^* y b^* fueron similares para el producto IV, que los ubica en el plano cromático a^*b^* en la zona de escala de grises, sin cambios apreciables durante el almacenamiento y tipo de envasado. El hongo fresco presenta valores más altos en a^* y b^* , reflejando una combinación hacia tonos marrones, pero dentro de la escala de grises, lo que demuestra un pardeamiento más acentuado en el producto fresco durante el almacenamiento.

Comportamiento textural del producto: en la figura 3 pueden observarse los valores medios con intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación (gf) en hongos comestibles impregnados con la DI, en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.

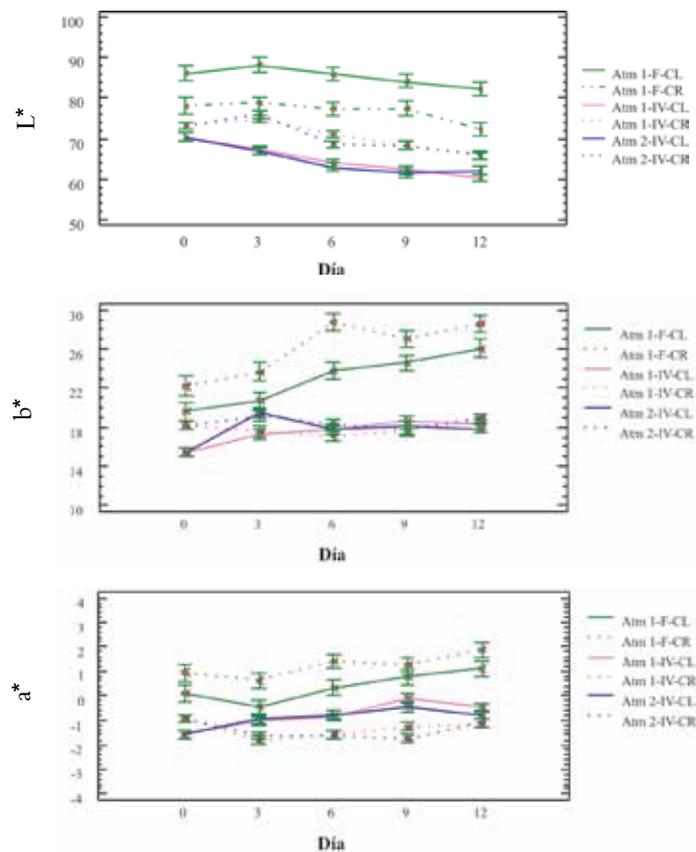


Figura 2. Valores medios con los intervalos LSD (95%) de L^* , a^* y b^* en la CL (línea continua) y CR (línea discontinua) de hongos frescos (Atm 1-F) e impregnados con la DI (Atm 1-IV y Atm 2-IV) en función del tiempo de almacenamiento.

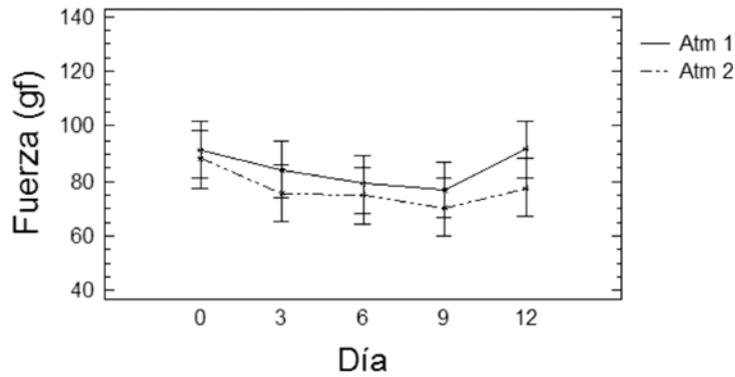


Figura 3. Valores medios con los intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima de deformación (gf) en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.), impregnados con una solución conservante, en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.

No se apreciaron diferencias estadísticas significativas por efecto del tiempo de almacenamiento y la atmósfera de envasado ($P > 0,05$); se observan unos coeficientes de variabilidad altos, por la complejidad estructural del hongo en ambas caras. La interacción del Ca^{+2} y la pectina de bajo metoxilo incorporadas en los espacios intercelulares ayudó a la permanencia de los valores iniciales, aumentando al final del tiempo de almacenamiento debido a las características de la pectina. No se observó influencia debida a los procesos respiratorios normales del producto durante el almacenamiento. Sería conveniente un secado superficial posterior a la IV, para ayudar a eliminar el líquido adherido a la superficie y contribuir a darle una mayor dureza.

Análisis microbiológico: los valores iniciales de carga microbiana para el hongo fresco concuerdan con los obtenidos para el producto recién impregnado (32 UFC/g de aerobios mesófilos, 125 y 360 UFC/g para mohos y levadura, respectivamente); y durante el tiempo de almacenamiento presenta un aumento rápido en el crecimiento de mohos y levaduras, el cual se hizo apreciable sobre el alimento para la evaluación sensorial y de rutina físico-química al 6º día. Para el día 9, el alimento presentaba tales características de grave contaminación que despertaba rechazo en el consumidor. No se realizó identificación de los mohos y levaduras.

Los resultados de los parámetros microbiológicos durante los controles de 0 a 12 días permitieron identificar para el producto IV envasado en la atmósfera 1, un incremento en el recuento de mohos de 130 → 340 UFC/g, de levaduras de 1000 → 3200 UFC/g y una disminución de los aerobios mesófilos de 3500 → 2500 UFC/g. Esta situación

estaría asociada a las condiciones fisicoquímicas de pH, acidez y de a_w del producto y a la disminución de las reservas de oxígeno en el empaque.

En las muestras envasadas en la atmósfera 2 se observa una disminución en el recuento de mohos de 260 → 150 UFC/g, de levaduras de 1600 → 100 UFC/g, y de aerobios mesófilos de 5000 → 1000 UFC/g. Estos resultados identifican el efecto antibacteriano que le confiere la atmósfera de envasado, principalmente por los niveles de CO_2 , lo cual potencia el mayor efecto de inhibición al crecimiento por el mayor nivel de N_2 y el bajo contenido de O_2 . Para ambas atmósferas, los controles de coliformes totales, fecales y salmonella estuvieron dentro de los parámetros permitidos por la normatividad (40). En general, los recuentos de mohos, levaduras y aerobios mesófilos, que no son obligatorios para las ensaladas crudas en la norma colombiana, denotan una mejor calidad microbiológica en los hongos envasados en la atmósfera 2.

Evaluación sensorial: en la figura 4 se presentan los valores medios de las calificaciones de los atributos sensoriales en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con la DI. Una valoración preliminar a la respuesta de los panelistas, se efectuó con las muestras recién impregnadas (día 0), utilizando 2 lotes independientes con 3 repeticiones/lote (atm 1 día 0 y atm 2 día 0), encontrándose un nivel de reproducibilidad aceptable, con ligera desviación en los descriptores de olor, atribuida principalmente a la variabilidad que presenta la respuesta a la impregnación (X), que define una mayor o menor percepción del olor natural del hongo. El panel sensorial no detectó diferencias significativas por efecto del tipo de envasado. El cambio más

crítico con respecto al tiempo de almacenamiento se encontró en el color, con un aumento de la intensidad aproximadamente del 20%. Esta situación está acorde con los resultados obtenidos mediante las pruebas instrumentales en cuanto a la disminución del parámetro L^* ($72 \rightarrow 62$), que representa

un cambio del 14%, correspondiente a un oscurecimiento observado en el día 12 de almacenamiento. La valoración subjetiva confirma la susceptibilidad del hongo al pardeamiento enzimático y permitió fijar el color aceptable hasta el día 9, independientemente de la atmósfera de envasado.

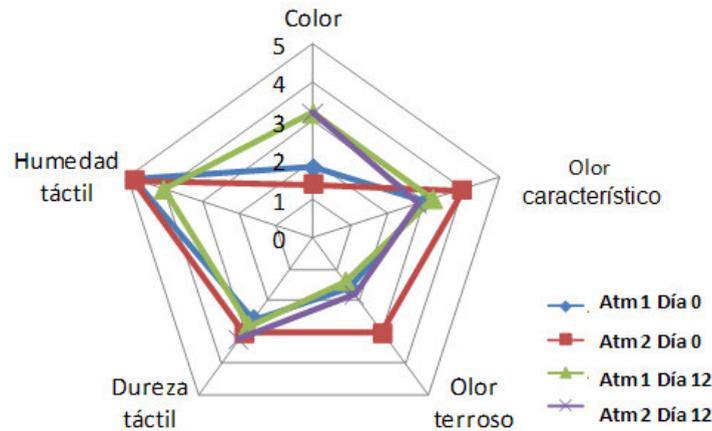


Figura 4. Valores medios de las calificaciones de los atributos sensoriales en los hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* L.) impregnados con DI, en función del tiempo de almacenamiento y atmósferas de envasado.

CONCLUSIONES

El proceso IV aparece como una metodología efectiva de incorporación de componentes conservantes en la estructura del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* L., que mejoran atributos de calidad, sensoriales y microbiológicos.

La respuesta a la IV identifica al hongo como una estructura compleja, por la variabilidad microestructural de sus caras, que la hace dependiente del tamaño de la muestra y del grado de retención de DI en la CR. Los niveles de impregnación obtenidos de X ($\text{cm}^3 \text{DI} / \text{cm}^3 \text{hongo}$) en hongos pequeños ($5,5 \pm 1,4 \text{ g}$) y grandes ($12,2 \pm 2,2 \text{ g}$) fueron de $39,7 \pm 8,6\%$ y $31,2 \pm 10,7\%$, respectivamente. El grado de retención se aumenta cuando la DI contiene componentes que gelifiquen lentamente.

Los parámetros fisicoquímicos se ven afectados por la DI de acuerdo a la figura 1, por el tiempo de almacenamiento y por la atmósfera de envasado. La tendencia fue a disminuir los °Brix, % acidez, % cloruros y % humedad y aumentar el pH. La a_w no presentó variación.

La influencia de la DI permitió controlar el pardeamiento enzimático y no enzimático, obteniendo un producto de color aceptable hasta el día 12. La

luminosidad (L^*) mostró tendencia a disminuir con el tiempo (muestras menos claras), y las cromaticidades a^* y b^* (plano a^*b^*) se sostienen en las tonalidades grises.

La textura elástica del producto se consideró aceptable y la DI le confirió duración en el tiempo de almacenamiento.

De acuerdo con las valoraciones objetivas y subjetivas de los atributos de calidad, se fijó un tiempo de vida útil de 9 días en ambas atmósferas, lo que permite concluir que el tratamiento aplicado de la DI aumenta el tiempo en anaquel en un 12,5% con respecto a lo establecido en hongos frescos *Pleurotus ostreatus* L. (8 días a 4°C en empaque comercial). Por costos, se hace más viable el envasado en atmósfera ambiente.

Se recomienda, antes de envasar el producto impregnado, un secado superficial a 4°C , durante 3 horas aproximadamente, para minimizar la salida de líquido nativo del interior de la estructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Manzi P, Aguzi A, Pizzoferrato L. Nutritional value of mushroom widely consumed in Italy. *Food Chem.* 2001; 73 (3): 321-325.
- Atarés L, Chiralt A, González-Martínez C. Effect of the impregnated solute on air drying and rehydration of apple slices (ct. *Granny smith*). *J Food Eng.* 2009; 91 (2): 305-310.

3. Atarés L, Chiralt A, González-Martínez C. Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinders (ct. Granny Smith). *J Food Eng.* 2008; 89 (1): 49-56.
4. Contreras C, Martín-Esparza ME, Chiralt A, Martínez-Navarrete N. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *J Food Eng.* 2008; 88 (1): 55-64.
5. González-Fesler M, Salvatori D, Gómez P, Alzamora SM. Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. *J Food Eng.* 2008; 87 (3): 323-332.
6. Guillemín A, Degraeve P, Noel C, Saurel R. Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. *Granny smith*). *J Food Eng.* 2008; 86 (4): 475-483.
7. Barrera C, Betoret N, Heredia A, Fito P. Application of SAFES (systematic approach to food engineering systems) methodology to apple candying. *J Food Eng.* 2007; 83 (2): 193-200.
8. Anino S, Salvatori M, Alzamora S. Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Res Int.* 2006; 39 (2): 154-164.
9. Martín-Esparza ME, Martínez-Navarrete N, Chiralt A, Fito P. Dielectric behavior of apple (var. *Granny smith*) at different moisture contents: Effect of vacuum impregnation. *J Food Eng.* 2006; 77 (1): 51-56.
10. Betoret N, Puentes L, Díaz MJ, Pagán MJ, García MJ, Grass ML, et al. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *J Food Eng.* 2003; 56 (2): 273-277.
11. Martínez-Monzó J, Barat JM, González-Martínez C, Chiralt A, Fito P. Changes in thermal properties of apple due to vacuum impregnation. *J Food Eng.* 2000; 43 (4): 213-218.
12. Castello ML, Fito PJ, Chiralt A. Effect of osmotic dehydration and vacuum impregnation on respiration rate of cut strawberries. *LWT.* 2006; 39 (10): 1171-1179.
13. Lombard GE, Oliveira JC, Fito P, Andrés A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. *J Food Eng.* 2008; 85 (2): 277-284.
14. Giraldo G, Vázquez R, Martín-Esparza ME, Charal A. Rehydration kinetics and soluble solids lixiviation of candied mango fruit as affected by sucrose concentration. *J Food Eng.* 2006; 77 (4): 825-834.
15. Mujica-Paz H, Valdez-Fragoso A, López-Malo A, Palou E, Welti-Chanes J. Impregnation properties at vacuum pressure. *J Food Eng.* 2003; 56 (4): 307-314.
16. Mujica-Paz H, Valdez-Fragoso A, López-Malo A, Palou E, Welti-Chanes J. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *J Food Eng.* 2003; 57 (4): 305-314.
17. Cháfer M, Martínez-González C, Chiralt A, Fito P. Microstructure and vacuum impregnation response of citrus peels. *Food Res Int.* 2003; 36 (1): 35-41.
18. Fito P, Chiralt A, Betoret N, Grass M, Cháfer M, Martínez-Monzó J, et al. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. *J Food Eng.* 2001; 49 (2): 175-183.
19. Phoon P, Gómez F, Vicente A, Dejmeck P. Pulsed electric field in combination with vacuum impregnation with trehalose improves the freezing tolerance of spinach leaves. *J Food Eng.* 2008; 88 (1): 144-148.
20. Cortés M, García A, Suárez H. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) con calcio, selenio y vitamina C. *Vitac.* 2007; 14 (1): 16-24.
21. Grass M, Vidal-Brotons D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. Calcium Fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *J Food Eng.* 2003; 56 (2): 279-284.
22. Grass M, Vidal-Brotons D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. The response of some vegetables to vacuum impregnation. *Innov Food Sci Emerg.* 2002; 3 (3): 263-269.
23. Zhao Y, Xie J. Firmness of fresh cut apples (*Royal gala*) subjected to VI treatment under different conditions (HFCS, high fructose corn syrup; GC, Gluconalw Cal; ZL, zinc lactate). *Food Sci Technol.* 2004; 15 (2): 434-451.
24. Xiu-Qin L, Chao J, Yan-Yan S, Min-Li Y, Xiao-Gang C. Analysis of synthetic antioxidants and preservatives in edible vegetable oil by HPLC/TOF-MS. *Food Chem.* 2009; 113 (2): 692-700.
25. Tian F, Li B, Ji B, Yang J, Zhang G, Chen Y, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of consecutive extracts from *Galla chinensis*: The polarity affects the bioactivities. *Food Chem.* 2009; 113 (1): 173-179.
26. Choi MH, Kim GH, Lee HS. Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Res Int.* 2002; 35 (8): 753-759.
27. Kebede E, Mannheim C, Miltz J. Ascorbic acid retention in a model food packed in barrier plastic trays and in cans. *LWT.* 1998; 31 (1): 33-37.
28. Bai J, Wu P, Manthey J, Goodner K, Baldwin E. Effect of harvest maturity on quality of fresh-cut pear salad. *Postharv Bio Technol.* 2009; 51 (2): 250-256.
29. Gliemmo MF, Latorre ME, Gerschenson LN, Campos CA. Color stability of pumpkin (*Cucurbita moschata*, *Duchesne ex Poiret*) puree during storage at room temperature: Effect of pH, potassium sorbate, ascorbic acid and packaging material. *LWT.* 2009; 42 (1): 196-201.
30. Sham PY, Scaman TD, Durance TD. Texture of vacuum microwave dehydrated apple chips as affected by calcium pre-treatment, vacuum level, and apple variety. *J Food Sci.* 2001; 66 (9): 1341-1347.
31. Samelis J, Sofos JN. Organic acids. En: Roller S. (Ed.). *Natural antimicrobials for the minimal processing of foods.* Cambridge: Woodhead; 2003. pp. 98-120.
32. Colombia. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC 4623. Productos de frutas y verduras. Determinación de la acidez titulable. Bogotá: ICONTEC; 1999.
33. Colombia. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC 4624. Jugos de frutas y hortalizas. Determinación del contenido de sólidos solubles. Método refractométrico. Bogotá: ICONTEC; 1999.
34. Colombia. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC 210. Abonos fertilizantes. Método cuantitativo para la determinación de cloruros solubles en agua. Bogotá: ICONTEC; 2000.
35. AOAC International. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 15th ed. Arlington, VA-New York: Kenneth Elrich; 1990.
36. Salvatori D, Andrés A, Chiralt A, Fito P. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *J Food Eng.* 1998; 21 (4): 59-73.
37. Martínez-Monzó J. Cambios físico-químicos en manzanas Granny Smith asociados a la impregnación a vacío. Aplicaciones en congelación. [Tesis Doctoral]. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia; 1998.
38. Cortés M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. [Tesis Doctoral]. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia; 2004.
39. Colombia. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana. NTC 5328. Análisis sensorial. Directrices para el uso de escalas de respuestas cuantitativas. Bogotá: ICONTEC; 2004.
40. Colombia. Ministerio de la Protección Social. INVIMA. Instituto de Vigilancia y Control de Alimentos y Medicamentos. Manual de análisis microbiológico. Bogotá: INVIMA; 1998.
41. García A. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) con calcio, selenio y vitamina C. [Tesis de grado], Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano; 2007.