

## FORTIFICACIÓN DE HONGOS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*) CON CALCIO, SELENIO Y VITAMINA C

### FORTIFICATION OF EDIBLE MUSHROOMS (*Pleurotus ostreatus*) WITH CALCIUM, SELENIUM AND VITAMIN C

Misael CORTÉS R.<sup>1\*</sup>, Andrea GARCÍA S.<sup>2</sup> y Héctor SUÁREZ M.<sup>1</sup>

Recibido: Enero 22 de 2007 Aceptado: Marzo 27 de 2007

### RESUMEN

La ingeniería de matrices es una metodología de obtención de alimentos funcionales que utiliza la técnica de impregnación al vacío para incorporar componentes con actividad fisiológica en la estructura de los alimentos porosos. El objetivo de este estudio es desarrollar un producto mínimamente procesado con características funcionales a partir de la fortificación del hongo *Pleurotus ostreatus*, con calcio, selenio y vitamina C. Los resultados de la fortificación presentaron niveles de Ca y Se de 7.3 y 42.3% de la ingesta diaria recomendada IDR/100 g de hongos frescos, respectivamente. La Vitamina C al inicio del almacenamiento (4°C, 83% humedad relativa), presentó un 40% IDR/100 g de hongos frescos, y durante el almacenamiento la cinética de degradación se ajustó a una ecuación de orden cero. Los productos fortificados registraron pardeamiento (menor luminosidad (L\*), más rojizas (>a\*)), con mayor intensidad en la cara lisa (CL) que en la corrugada (CC) del hongo. La textura del producto fortificado no se vió influenciada por la disolución de impregnación, pero con el tiempo las muestras presentaron endurecimiento.

**Palabras clave:** Alimentos funcionales, hongos, *Pleurotus ostreatus*, calcio, selenio, Vitamina C.

### ABSTRACT

Matrix engineering is a methodology to obtain functional foods that applies the vacuum impregnation technique in order to incorporate physiologically active components into the food porous structure. The objective of this study was to develop a minimally processed product with functional characteristics by means of fortification of the mushroom *Pleurotus ostreatus* with calcium, selenium and vitamin C. Fortification levels for Ca and Se of 7,3 and 42,3% of the Daily Recommended Intake (DRI)/100 g of fresh mushroom, respectively, were obtained. At the beginning of the storage (4° C, 83% relative moisture), the vitamin C contents was 40% of the DRI/100g of fresh mushroom, and during storage, zero-order degradation kinetics was adjusted. The soft face of fortified mushrooms showed more browning than the rugged one (lesser luminosity values - L\*), and more red (a\* bigger value). Texture of the fortified product was not influenced by the impregnation dissolution but, with time, samples became harder.

**Keywords:** Functional foods, mushrooms, *Pleurotus ostreatus*, calcium, selenium and vitamin C.

---

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

2 Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. A.A. 34185. Bogotá, Colombia.

\* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: mcortesro@unalmed.edu.co

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años, la sociedad ha mostrado una preocupación cada vez más acentuada por las posibles relaciones entre la alimentación y la salud. La necesidad que el ser humano tiene de alimentarse, junto a la relevancia alcanzada por los temas relacionados con la salud, han llevado a un primer plano el interés por los efectos saludables de los alimentos; es decir, el consumidor manifiesta claras preferencias por aquellos alimentos que considera beneficiosos para su salud y en general por los productos naturales.

Estudios de mercado recientes en el mundo avalan un incremento acelerado de hongos comestibles en los últimos años (1). La fortificación combinada de los hongos comestibles con componentes fisiológicamente activos (CFA), como antioxidantes (Vitaminas C, E, provitamina A, etc.) y minerales (Se, Ca, Mg o Zn, etc.), puede potenciar las características antioxidantes del producto final, y si la fortificación alcanza niveles apreciables en la ingesta diaria recomendada (IDR), cumple mejor con combatir deficiencias y/o evitar algunas enfermedades, contribuyendo a un mejor estado en la salud de la población.

Alimento funcional (AF) ha sido definido como “cualquier alimento o ingrediente que proporcione beneficios para la salud, fuera de los nutrientes que contenga tradicionalmente” (2). Este concepto incluye los alimentos que al adicionar CFA elevan el potencial de los beneficios para mantener la salud y la prevención de enfermedades. Estos pueden ser: microorganismos benéficos, antioxidantes, vitaminas, etc. Los AF tienen la misma apariencia de los alimentos tradicionales y son consumidos en la dieta normal (2, 3, 4, 5).

La ingeniería de matrices (IM) es una herramienta de la ingeniería de alimentos, que utiliza los conocimientos sobre composición, estructura y propiedades de la matriz estructural de un alimento para producir y controlar cambios que mejoren sus propiedades funcionales y/o sensoriales (6). El desarrollo de nuevos productos a partir de la IM, como los alimentos mínimamente procesados con características funcionales, ha sido estudiado en algunas matrices alimentarias durante la última década (7, 8, 9, 10, 11, 12).

La impregnación a vacío (IV) es la técnica aplicada por la IM, que utiliza frutas, hortalizas o tubérculos (estructuras porosas) y presenta las siguientes ventajas: Cinética de transferencia de

masa rápida, mayor ganancia de solutos en tiempos cortos, mejor conservación del color y mejora del mismo en algunos productos y conservación del sabor y aroma del producto fresco; al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes del tiempo de proceso (6, 12, 13, 14). Estas ventajas aseguran una mejor estabilidad del producto (disminución del pH y  $a_w$ ) la incorporación de agentes antimicrobianos o antipardeantes (6, 15, 16, 17), y la mejora de algunos atributos de calidad (8, 9, 11, 12). Los productos desarrollados a partir de la IM pueden ser comercializados como AF mínimamente procesados, AF deshidratados con mayor estabilidad (12), o como materias primas para otros sectores de la industria de alimentos. El proceso de IV ha sido descrito utilizando la acción del mecanismo hidrodinámico (HDM) como proceso de transporte de materia en un sistema sólido poroso-líquido (18, 19). La actuación acoplada del HDM y el mecanismo de deformación-relajación (DRP), está muy afectada por la microestructura y las propiedades mecánicas del sólido, así como por la viscosidad de la solución externa (20, 6). La respuesta a la IV de manzana, fresa, kiwi, mango, pera y otras ha sido estudiada con disoluciones isotónicas y se ha determinado la porosidad efectiva a la impregnación ( $\epsilon_{IV}$ ) en cada caso (21, 22). La respuesta a la IV está afectada principalmente por factores como la composición y estructura del tejido, el tamaño y forma de la muestra, el tiempo de relajación de la matriz sólida, y de la viscosidad de la disolución (6, 8).

El Ca es un CFA de gran interés. Es muy requerido en la dieta diaria y presenta interacciones con las pectinas y con otros componentes de las paredes celulares de los sistemas biológicos (23). La función principal del Ca es estructural, ya que hace parte de los huesos y de los dientes; además juega un papel importante en la mayoría de los procesos metabólicos. En caso de que los niveles de Ca en la sangre sean bajos, el organismo lo obtiene de los huesos; por tal motivo es importante consumir suficiente Ca para mantener los niveles adecuados en la sangre y los huesos (24). El Se, otro CFA de gran importancia, actúa como protector frente a trastornos diversos como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y degenerativas. Se cree que su deficiencia está implicada en la enfermedad de Keshan, también conocida como miopatía cardíaca. Los niveles bajos de Se pueden ser la causa o la consecuencia de enfermedades como artritis, fibrosis quística o enfermedad celíaca (25).

Los antioxidantes representan un *boom* en la actualidad, porque interrumpen las reacciones en cadena que producen los radicales libres, neutralizándolos por donación de sus hidrógenos fenólicos (7). Los radicales libres son especies muy inestables con un electrón desapareado que puede reaccionar con cualquier otra molécula, como ácidos grasos de las membranas de las células, grasas que circulan por la sangre, proteínas, vitaminas, ácidos nucleicos de los genes, etc. (26). Los antioxidantes más utilizados en la industria de alimentos son las vitaminas E, C, la provitamina A y algunos componentes fenólicos.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un producto mínimamente procesado, con características funcionales, a partir del hongo *Pleurotus ostreatus*, utilizando la técnica IV como mecanismo de incorporación de Ca, Se y Vitamina C en su estructura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Se utilizaron hongos enteros comestibles de la variedad *Pleurotus ostreatus* con un peso aproximado entre  $10 \pm 1$  gramos, de orígenes colombianos, adquiridos en un supermercado de la ciudad de Bogotá y almacenados a 4°C. La disolución de impregnación se diseñó a partir de ácido ascórbico en polvo (99%); CaCl<sub>2</sub> granulado (96%); NaCl; Selenio en la forma de suplemento diario Sel-Plex® (Alltech Inc.) en forma de tabletas (50 µg de Se / tableta).

### Caracterización bromatológica, física y fisicoquímica

Se realizaron pruebas de acidez por titulación con NaOH 0.1N utilizando indicador de fenoltaleína; los cloruros se determinaron por el método de Mohr (27); el contenido de proteínas por el método de Kjeldahl (28) y las cenizas por el método oficial 923.03 (AOAC, 1980) (29). El contenido de humedad se determinó según la norma oficial AOAC 7.003/84 y 930.15 / 90 adaptado, el pH con un titulador automático marca Schott modelo CG842, la actividad de agua ( $a_w$ ) con un higrómetro de punto de rocío a 25°C (Aqualab Decagón serie 3, modelo 3TE con control de temperatura), los sólidos solubles se midieron a partir de los índices de refracción en un refractómetro a 20 °C, la densidad aparente de los hongos ( $\rho_{apm}$ ) se determinó a partir de la relación de la masa de la muestra y el volumen desplazado

por la muestra en una probeta, y la densidad de la disolución de impregnación ( $\rho_{dis}$ ) se determinó por el método del picnómetro a 20°C, método oficial 945.06 (AOAC, 1990).

El color se determinó utilizando el espectrocolorímetro X-RITE, modelo SP60. Se realizaron lecturas de las coordenadas de color L\* (luminosidad), a\* (cromaticidad verde (-) a rojo (+)) y b\* (cromaticidad azul (-) a amarillo (+)). Las medidas fueron realizadas sobre las caras lisas (CL) y corrugadas (CC) y las lecturas en cada muestra se realizaron en 3 puntos correspondientes a 60° de cada cara. La textura se determinó a partir de ensayos de punción con una prensa universal, analizador de textura TA.XT2, de la firma Stable Micro Systems (SMS). Se utilizó un embolo metálico de 2 mm de diámetro, a una velocidad de penetración de 4 mm/s hasta una distancia de 5 mm. En todos los casos se registró la curva de fuerza (F) - distancia (D).

### Proceso de impregnación

El sistema de impregnación utilizado consistió en un desecador que actúa como cámara de impregnación, conectado a una bomba de vacío a través de un sistema condensador. La composición de la disolución de impregnación se determinó a partir de un balance de materia en el sistema de impregnación (7, 30) bajo las siguientes consideraciones: Los niveles de los CFA en el hongo fresco son despreciables, no existe degradación de los CFA durante el proceso de IV, la masa del sistema hongo - disolución no cambia durante el proceso IV y la composición de los CFA en la disolución de impregnación y sus características fisicoquímicas se mantienen constantes.

Las ecuaciones 1 y 2 permiten determinar la fracción másica para cualquier CFA ( $Y^{CFA}$ ) en la disolución de impregnación ( $kg_{CFA} / kg_{dis}$ ), donde X es la fracción volumétrica de impregnación ( $m^3_{dis} / m^3_{hongo\ fresco}$ ),  $X_{CFA}^{IV}$  es la fracción másica del CFA en el hongo impregnado ( $kg_{CFA} / kg_{hongo\ impregnado}$ ) y %IDR<sub>objetivo</sub> es el % de IDR que se desea incorporar. Los criterios de fortificación en 100 g de hongo fresco fueron fijados para Ca, Se y Vitamina C del orden de 20% de IDR (160 mg de Ca / 100 g hongo fresco), 20% de IDR (0.012 mg de Se / 100 g hongo fresco) y de 50% de IDR (30 mg de Vitamina C / 100 g hongo fresco) respectivamente.

$$Y^{CFA} = \frac{X_{CFA}^{IV} (\rho_{apm} + X\rho_{dis})}{X\rho_{dis}} \quad (1)$$

$$X_{CFA}^{IV} = \frac{\% IDR_{\text{objetivo}}}{(100 + 100 X \frac{\rho_{\text{dis}}}{\rho_{\text{apm}}})} \quad (2)$$

La respuesta a la IV se cuantificó en términos de  $X$  y  $X_{HDM}$  ( $\text{kg}_{\text{dis}} / \text{kg}_{\text{hongo impregnado}}$ ) mediante las ecuaciones 3 y 4 respectivamente. La porosidad eficaz,  $\epsilon_{IV}$  ( $\text{m}^3_{\text{gas}} / \text{m}^3_{\text{muestra}}$ ) se determinó a partir de la ecuación 5 considerando que en el proceso de IV la deformación en la etapa de vacío es despreciable y que no hay deformación en la etapa de presión atmosférica (7,19).  $M_i$  y  $M_f$  son las masas antes y después de la impregnación,  $V_i$  el volumen del hongo fresco y  $r$  la relación de compresión ( $r = P_{\text{atm}} / P_{\text{vacío}}$ ). La disolución de impregnación fue isotónica (NaCl de 1% p/p) con el hongo (igual  $a_w$  que el hongo). Las muestras fueron sumergidas en la disolución y sometidas a presión de vacío ( $10^{-2}$  Hg) durante 10 min y se mantuvieron sumergidas a presión atmosférica durante 10 min más.

$$X = \frac{(M_f - M_i) / \rho_{\text{dis}}}{V_i} \quad (3)$$

$$X_{HDM} = \frac{M_f - M_i}{M_f} \quad (4)$$

$$\epsilon_{IV} = \frac{X}{(1 - 1/r)} \quad (5)$$

### Determinación analítica de CFA

La Vitamina C se determinó por el método volumétrico yodimétrico (31), el Ca por absorción atómica con llama (método de la AOAC 985.35) y el Se por absorción atómica por horno de grafito.

### Almacenamiento

Las muestras fortificadas se almacenaron bajo refrigeración a una temperatura de 4°C y una humedad relativa de 83% aproximadamente. Se analizaron la evolución de los cambios de color y textura, y la cinética de degradación de la Vitamina C durante el periodo de almacenamiento (0, 3, 6, 9 y 12 días). Las muestras fueron envasadas a presión atmosférica en bandejas de icopor cubiertas en papel vinipel.

### Análisis de datos

Los parámetros fueron analizados a partir de ANOVAS, utilizando LSD (mínimas diferencias significativas) como método de comparaciones múltiples, con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0.05$ ). El análisis de varianza se realizó con el paquete estadístico STATGRAPHICS plus versión 5.1

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diseño de las disoluciones de impregnación

La composición teórica de Ca, Se y Vitamina C en la disolución de impregnación ( $Y^{Ca}$ ,  $Y^{Se}$ , y  $Y^{Vit.C}$  respectivamente) se determinó a partir de un  $X$  preliminar, correspondiente a la impregnación con la disolución isotónica de NaCl al 1% p/p. Los valores preliminares de  $X$  y  $X_{HDM}$ , calculados a partir de las ecuaciones 3 y 4, fueron  $0.101 \text{ m}^3_{\text{dis}} / \text{m}^3_{\text{hongo fresco}}$  y  $0.112 \text{ kg}_{\text{dis}} / \text{kg}_{\text{hongo impregnado}}$  respectivamente. El cálculo de  $X_{Ca}^{IV}$ ,  $X_{Se}^{IV}$  y  $X_{vit.C}^{IV}$ , según las formas químicas y purezas utilizadas y según el criterio de fortificación, permitió determinar la formulación de la disolución de impregnación (tabla 1).

**Tabla 1.** Formulación de la disolución de impregnación para un lote de 1000 g.

Ingredientes	Peso (g)	%
Disolución de NaCl al 1 %	997.114	99.711
Sel-Plex®	0.411	0.041
Ácido ascórbico (99%)	0.151	0.015
CaCl <sub>2</sub> (96%)	2.324	0.232

### Caracterización del hongo *Pleurotus ostreatus* y la disolución de IV

La tabla 2 presenta los valores promedios y sus desviaciones estándar de los parámetros bromatológicos del hongo en su estado fresco e impregnado. El ANOVA registró diferencias significativas por efecto de la disolución de impregnación en los 4 parámetros. Estos cambios son atribuibles en parte a la misma variabilidad de lote a lote en el producto fresco; además, en la acidez y los cloruros existe una incorporación de ácido cítrico, NaCl y CaCl<sub>2</sub> desde la disolución. Para las proteínas y cenizas, los

cambios detectados no son muy importantes y, en general, las diferencias encontradas se consideraron aceptables.

**Tabla 2.** Parámetros bromatológicos del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Parámetro	Hongo fresco	Hongo impregnado
Acidez g ácido cítrico /100 g hongo	1,95 ± 0,01	1,82 ± 0,01
Cloruros (%)	2,63 ± 0,06	9,97 ± 0,25
Cenizas (%)	6,93 ± 0,59	11,56 ± 0,15
Proteínas (%)	23,05 ± 0,33	25,42 ± 0,09

La tabla 3 presenta los valores promedios y sus desviaciones estándar de los parámetros fisicoquímicos del hongo en su estado fresco, impregnado y durante el tiempo (t) de almacenamiento (días).

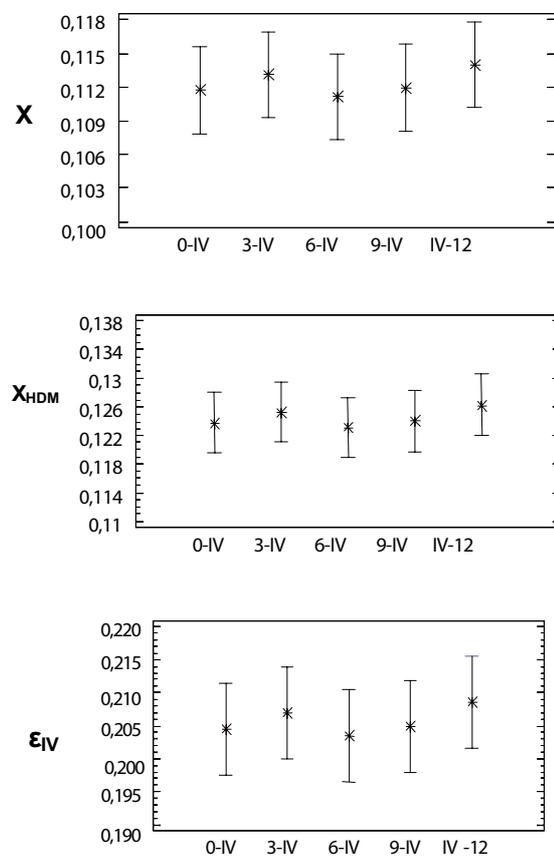
**Tabla 3.** Caracterización fisicoquímica del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Alimento	$a_w$	°Brix	Humedad	pH	
Hongo fresco	0,998 ± 0,001	4,5 ± 0,5	90,8 ± 0,2	6,11 ± 0,01	
Hongo impregnado	t = 0	0,998 ± 0,001	2,1 ± 0,2	91,5 ± 0,5	5,89 ± 0,03
	t = 3	0,998 ± 0,001	1,9 ± 0,1	91,7 ± 0,1	5,94 ± 0,03
	t = 6	0,998 ± 0,001	2,0 ± 0,1	91,8 ± 0,1	5,90 ± 0,01
	t = 9	0,998 ± 0,001	2,5 ± 0,1	91,9 ± 0,3	6,00 ± 0,00
	t = 12	0,998 ± 0,001	2,9 ± 0,1	92,4 ± 0,3	6,28 ± 0,03

El ANOVA no presentó diferencias significativas en la  $a_w$ , lo cual es coherente con el criterio de impregnación con una solución isotónica de NaCl, y esto permite concluir que los niveles de CaCl<sub>2</sub>, Sel-Plex® y ácido ascórbico, no afectaron su valor en la disolución ni en el producto impregnado. Los °Brix y el contenido de humedad registraron diferencias significativas debido a la IV y al tiempo de almacenamiento, lo cual es atribuible principalmente a la alta composición del agua en la disolución de impregnación ( $\approx 98\%$  p/p); además, durante el almacenamiento ambos parámetros presentaron dos grupos homogéneos: t = (0, 3, 6 y 9) días y t = 12 días, lo cual se atribuyó a la misma variabilidad de los lotes de las muestras comentada anteriormente. Esto último también se atribuye a los cambios observados del pH.

Otros parámetros fisicoquímicos, como la  $\rho_{apm}$  y la  $\rho_{dis}$ , reportaron valores promedios y desviaciones estándar correspondientes a  $0.914 \pm 0.062$  g/ml y  $1.035 \pm 0.004$  g/ml respectivamente.

La caracterización de la respuesta a la IV involucra el mecanismo HDM y los valores de X como resultado del HDM que están afectados por la viscosidad de la disolución, la cual determina la caída de presión durante el ingreso de ésta en los poros. La figura 1 presenta los valores medios con los intervalos LSD (95%) de los parámetros de impregnación X,  $X_{HDM}$  y  $\epsilon_{IV}$ , en cada uno de los lotes de hongos frescos utilizados en cada tiempo de almacenamiento.



**Figura 1.** Valores medios con los intervalos LSD (95%) de los parámetros de impregnación X,  $X_{HDM}$  y  $\epsilon_{IV}$  en diferentes lotes de hongos frescos.

Los parámetros de impregnación X,  $X_{HDM}$  y  $\epsilon_{IV}$ , a partir de la disolución de impregnación con cada uno de los lotes de hongos frescos ensayados en cada tiempo de almacenamiento, fueron muy homogéneos, y los valores promedios, más sus desviaciones estándar, fueron  $0.111 \pm 0.009$  m<sup>3</sup><sub>dis</sub> / m<sup>3</sup><sub>hongo fresco</sub>,

$0.123 \pm 0.010 \text{ kg}_{\text{dis}} / \text{kg}_{\text{hongo impregnado}}$  y  $0.207 \pm 0.014 \text{ m}^3_{\text{aire}} / \text{m}^3_{\text{hongo fresco}}$  respectivamente. Contrario a lo que se esperaba, debido a las interacciones del componente péctico de las paredes celulares con los iones Ca (32), los parámetros globales de impregnación obtenidos con la disolución real, resultaron ser ligeramente superiores a los promedios de los valores preliminares de X ( $0.101 \text{ m}^3_{\text{dis}} / \text{m}^3_{\text{hongo fresco}}$ ) y de  $X_{\text{HDM}}$  ( $0.112 \text{ kg}_{\text{dis}} / \text{kg}_{\text{hongo impregnado}}$ ), utilizados para el diseño de las disoluciones. Este comportamiento influyó en que los niveles finales de los CFA en la matriz a fortificar fueran diferentes a los objetivos de fortificación.

**Almacenamiento**

*Niveles de fortificación de los CFA:* Las tablas 4 y 5 presentan los valores promedios con sus desviaciones estándar, obtenidos para la Vitamina C y para el Ca y Se respectivamente. Los resultados muestran niveles de Ca y Vitamina C menores a los fijados según el criterio de fortificación descrito en el apartado Diseño de las disoluciones de impregnación. Este comportamiento es atribuible al bloqueo que se presenta por la misma interacción del Ca con el material péctico del tejido del hongo como sistema gelificante. Los mayores valores obtenidos para el Se se pueden atribuir a que en el estado fresco para la variedad nativa de estudio existen cantidades apreciables que no se tuvieron en cuenta para los cálculos teóricos de la composición del Se en la disolución. Por otro lado se considera que la misma diferencia en la microestructura de las dos caras del hongo impide una incorporación homogénea de cada uno de los CFA.

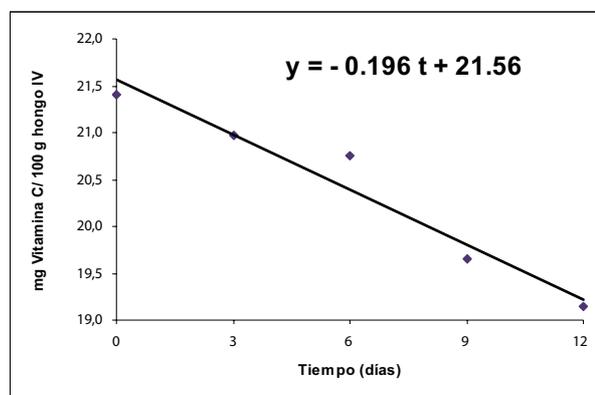
**Tabla 4.** Niveles de fortificación de Vitamina C.

Hongo	mg de Vit. C / 100 g Hongo impregnado	mg de Vit. C /100 g Hongo fresco	% IDR / 100 g Hongo fresco
Fresco	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.10
0 – IV	21.4 ± 0.1	24.1 ± 0.1	40.2
3 – IV	21.0 ± 0.1	23.6 ± 0.1	39.4
6 – IV	20.8 ± 0.1	23.4 ± 0.1	38.9
9 – IV	19.7 ± 0.1	22.1 ± 0.1	36.9
IV – 12	19.1 ± 0.2	21.5 ± 0.2	35.9
Promedio	20.4	22.9	38.2

**Tabla 5.** Niveles de fortificación de Ca y Se.

CFA	mg de CFA / 100 g Hongo impregnado	mg de CFA / 100 g Hongo fresco	% IDR / 100 g Hongo fresco
Ca	52.3 ± 0.6	58.9 ± 0.6	7.3
Se	0.0226 ± 0.0001	0.0254 ± 0.0001	42.3

La cinética de degradación de la Vitamina C, a 4°C, presentó un ajuste de regresión aceptable ( $R^2 = 0.95$ ) para una ecuación de orden de reacción cero. La figura 2 ilustra el comportamiento lineal de la degradación de Vitamina C, a 4°C, expresada en términos de mg de Vitamina C/ 100 g de hongo impregnado frente al tiempo.



**Figura 2.** Representación lineal de la degradación de la Vitamina C a 4°C frente al tiempo de almacenamiento.

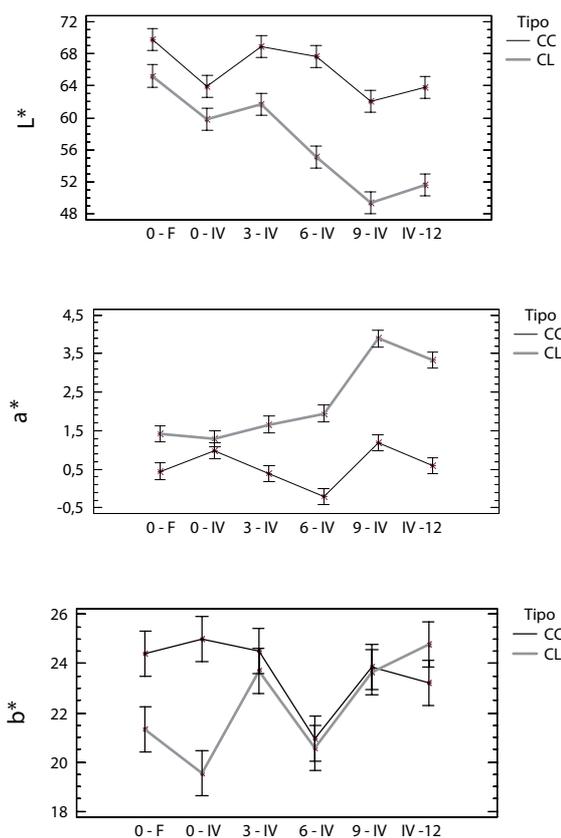
*Evolución del color:* El hongo *Pleurotus ostreatus* es una estructura alimentaria que presenta oscurecimiento debido principalmente a la reacción de pardeamiento no enzimático que ocurre durante el almacenamiento y está asociada a la reacción de azúcares reductores, como la glucosa, con los aminoácidos, principalmente la lisina (33); además, otras reacciones como la degradación oxidativa del ácido ascórbico y/o la conversión de polifenoles en policarbonilos (33, 34) pueden contribuir igualmente al oscurecimiento. La figura 3 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de la Luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad  $a^*$  (verde (-) y rojo (+)) y cromaticidad  $b^*$  (amarillo (+) y azul (-)) en las caras lisa (CL) y corrugada (CC) de los hongos frescos y en los impregnados durante el almacenamiento. En general, el ANOVA registró diferencias significativas en los parámetros de color por efectos de la cara lisa (CL) y la cara corrugada (CC) del hongo

comestible, por la disolución de impregnación y por el tiempo de almacenamiento. Para el hongo fresco, los valores de  $L^*$  son mayores en las muestras de CC que en las de CL, debido a la presencia de aire en los intersticios de esta área, que contribuye a la falta de homogeneidad en el índice de refracción del tejido, disminuyendo el grado de absorción de la luz en la zona superficial, lo que da como resultado que las muestras se vean más claras. Este mismo fenómeno hace que la cromaticidad  $b^*$  (amarillo (+) y azul (-)) en las muestras CC acentúen más los tonos amarillos, y las CL los tonos azules. En el hongo fresco, la mayor saturación de color rojo ( $> a^*$ ) en las muestras CL, se debe a su mayor translucidez por la presencia de la disolución, mientras que en la CC la presencia de aire enmascara esta translucidez.

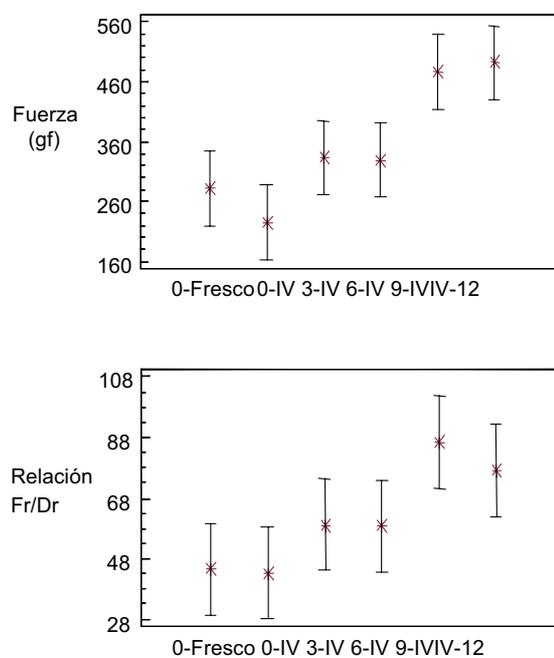
El efecto de la disolución de impregnación en los espacios intercelulares del tejido produce una caída brusca en  $L^*$  debido a la mayor homogeneidad en el índice de refracción, y los niveles de absorción se hacen mayores, lo que permite ver las muestras menos claras (más oscuras). El efecto de la disolución en la cromaticidad  $a^*$  no es muy apreciable en las muestras de CL, pero en la CC se observa un ligero incremento que podría considerarse debido a la misma variabilidad de las muestras. La cromaticidad  $b^*$  no se consideró significativa en ninguna de las caras del hongo comestible.

El efecto del tiempo de almacenamiento en  $L^*$  es significativo y similar en ambas caras: a mayor tiempo, menor  $L^*$ , lo que hace ver las muestras más oscuras, principalmente en la CL. Los valores de  $a^*$  siguen siendo mayores en la CL que la CC y esta tendencia acentúa más los tonos rojizos, en la CL en la medida que se incrementa el tiempo, mientras que en la CC no es muy significativo. El efecto del tiempo de almacenamiento en  $b^*$  no se consideró significativo y se debe más a la misma variabilidad de las muestras.

*Evolución de la textura:* Los ensayos de punción se realizaron en la CL para cuantificar el comportamiento textural del hongo fresco, la influencia de la disolución de impregnación y el efecto del tiempo de almacenamiento en el hongo impregnado. La figura 4 presenta los valores medios con intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima (F) y de la relación fuerza máxima / distancia (F/D) de los hongos frescos y los hongos impregnados durante el almacenamiento a 4°C.



**Figura 3.** Valores medios con intervalos LSD (95%) de la luminosidad ( $L^*$ ), y las cromaticidades  $a^*$  y  $b^*$  en el hongo fresco y en los impregnados durante el almacenamiento a 4°C.



**Figura 4.** Valores medios e intervalos LSD (95%) de la fuerza máxima (F), la distancia (D) y la relación Fuerza / distancia (F/D) (gf / mm) de los hongos frescos e impregnados durante el almacenamiento a 4°C.

Los resultados del ANOVA muestran que no existen diferencias significativas por el efecto de la disolución de impregnación, pero la respuesta de F y de la relación F/D con respecto al tiempo de almacenamiento presenta diferencias altamente significativas. El incremento del comportamiento textural se reflejó en un endurecimiento de las muestras, que es atribuible a dos fenómenos:

- La fuerza motriz, debida a la diferencia entre la  $a_w$  del aire refrigerado (0.830) y la del hongo impregnado (0.998), produce una transferencia de masa de agua desde el hongo al aire contribuyendo a la deshidratación de las muestras y, por ende, una mayor dureza.
- Las interacciones del componente péctico de las paredes celulares con los iones Ca de la disolución, presentan un bajo nivel en la fuerza de gelificación en el momento de la impregnación, pero en la medida que el tiempo se aumenta, la fuerza de gel incrementa, lo que hace que las muestras tengan mayor dureza, principalmente a partir del sexto día.

## CONCLUSIONES

El proceso de IV es una técnica adecuada que garantiza la incorporación en forma conjunta de los CFA (Ca, Se y Vitamina C). La respuesta a la IV se consideró afectada principalmente por la microestructura diferente de las dos caras del hongo comestible, que no permitió una incorporación homogénea de cada uno de los CFA de acuerdo a los niveles de impregnación teóricos calculados. Otro factor importante podría ser el efecto del Ca de la disolución de impregnación, ya que interactúa con el mismo material péctico del tejido, influyendo distintamente en cada una de las caras. La evaluación objetiva del color permitió evidenciar pardeamiento no enzimático en el hongo y con diferentes intensidades respecto a cada una de las caras (CL y CC); además, se da una influencia por efecto de la disolución de impregnación y con el tiempo de almacenamiento que hace las muestras menos luminosas (más oscuras) y más rojizas, principalmente en la CL. La textura del producto fortificado no se vio afectada por la disolución de impregnación, pero durante el almacenamiento experimentó endurecimiento, debido en parte al efecto gelificante del Ca con el material péctico del tejido del hongo, y por otro lado, a la deshidratación causada por las condiciones ambientales. Se considera que estos cambios texturales favorecen el producto final.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chavarrías M. La recolección segura de setas. Sociedad y Consumo. Consuma seguridad; 2005. [www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad\\_y\\_consumo/2005/09/29/20286.php](http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2005/09/29/20286.php). Consultado: 15 de julio de 2006.
2. Mazza G. Alimentos funcionales: Aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza: Acribia; 1998.
3. Pszcola DE. Designer Foods: an Evolving Concept. Food Technology 1993; 43(5): 92.
4. Fuller GW. New Food Product Development: From Concept to Marketplace. Boca Raton, FL: CRC Press; 1994.
5. Mital BK, Garg SK. Anticarcinogenic Hypocholesterolemic and Antagonistic Activities of *Lactobacillus acidophilus*. Crit Rev Microbiol 1995; 21(3): 175-214.
6. Chiralt A, Fito P, Andrés A, Barat JM, Martínez-Monzó J, Martínez-Navarrete N. Vacuum Impregnation: A Tool in Minimally Processing of Foods. En: Oliveira FAR, Oliveira JC. Processing of Foods: Quality Optimization and Process Assessment. CRC Press, Boca Raton; 1999. p.341-356.
7. Cortés M. Desarrollo de productos de manzana deshidratados enriquecidos con vitamina E. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia, España; 2004.
8. Betoret N, Puentes L, Díaz MJ, Pagán M.J, García M.J, Grass ML, et al. Development of Probiotic-enriched Dried Fruits by Vacuum Impregnation. J Food Eng 2003; 2-3; 56: 273-277.
9. 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; (2-3); 56:279-284.
10. Grass M, Vidal-Brotons D, Betoret N, Chiralt A, Fito P. The Response of some Vegetables to Vacuum Impregnation. Innovat Food Sci Emerg Tech 2002; 3: 263-269.
11. 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 (2-3): 175-183.
12. Fito P, Chiralt A, Barat JM, Andrés A, Martínez-Monzó J, Martínez-Navarrete N. Vacuum Impregnation for Development of New Dehydrated Products. J Food Eng 2001; 49 (4): 297-302.
13. Martínez-Monzó J. Cambios físico-químicos en manzanas Granny Smith asociados a la impregnación a vacío. Aplicaciones en congelación. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia, España; 1998.
14. Fito P, Chiralt A. Vacuum Impregnation of Plant Tissues. En: Alzamora SM, Tapia MS, López-Malo A. Design of Minimal Processing Technologies for Fruits and Vegetables. Maryland: Aspen; 2000. pp. 189-204.
15. Tapia MS, López-Malo A, Consuegra R, Corte P, Welti-Chanes J. Minimally Processed Papaya by Vacuum Osmotic Dehydration (VOD) Techniques. Food Sci Technol Int 1999; 5 (1): 43-52.
16. Muntada V, Gerschenson LN, Alzamora SM, Castro MA. Solute Infusion Effects on Texture of Minimally Processed Kiwifruit. J Food Sci 1998; 63 (4):616-620.
17. Carroll DE, Tarrington JB. Vacuum Infiltration Process for Long Term Preservation of Refrigerated Apple Slices. Presented at the IFT'97 Annual Meeting, Orlando, 1997; June, 14-18.
18. Fito P. Modelling of Vacuum Osmotic Dehydration of Foods. J Food Eng 1994; 22 (1-4): 313-328.
19. Fito P, Pastor R. Non-Diffusional Mechanism occurring Vacuum Osmotic Dehydration (VOD). J Food Eng 1994; 21 (4): 513-519.
20. Fito P, Andrés A, Chiralt A, Pardo P. Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxation Phenomena during Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. J Food Eng 1996; 27 (3): 229-240.
21. Andrés A, Salvatori D, Albor A, Chiralt A, Fito P. (2001). Vacuum Impregnation Viability of some Fruits and Vegetables. En: Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation. Applications in Food

- Industries. Fito P, Chiralt A, Barat JM, Spiess WEL, Behsnilian D, eds. Pennsylvania: Technomic. Lancaster; 2001. p. 53-60.
22. Salvatori D, Andrés A, Chiralt A, Fito P. The Response of some Properties of Fruits to Vacuum Impregnation. *J Food Proc Eng* 1998; 21 (1): 59-73.
  23. Brett C, Waldron K. *Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls*. Londres: Chapman & Hill; 1996.
  24. Ireland P, Fordtran JS. Effects of Dietary Calcium and Age on Jejunal Calcium Absorption in Human Studies by Intestinal Perfusion. *J Clin Investig* 52: 2672-2681.
  25. Fernández, M. Las ventajas del selenio para el sistema inmunitario. *Sociedad y Consumo. Consuma Seguridad*; 2004. [www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2004/08/25/13995.php](http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2004/08/25/13995.php). Consultado: julio 15 de 2006.
  26. Curtay JP, Lyon J. *La Enciclopedia Práctica de las Vitaminas, las Sales Minerales y los Oligoelementos*. s.l.: Salvat; 2000. pp.127-136.
  27. Determinación de Cloruros. [http://www.utadeo.edu.co/comunidades/estudiantes/ciencias\\_basicas/quimica\\_analitica/guia\\_4\\_1.pdf](http://www.utadeo.edu.co/comunidades/estudiantes/ciencias_basicas/quimica_analitica/guia_4_1.pdf). Consultado: 5 de Noviembre de 2005
  28. Determinación contenido de proteínas por el método de Kjeldahl. [http://www.utadeo.edu.co/comunidades/estudiantes/ciencias\\_basicas/bioquimica/guia\\_3\\_1.pdf](http://www.utadeo.edu.co/comunidades/estudiantes/ciencias_basicas/bioquimica/guia_3_1.pdf). Consultado: 5 de Noviembre de 2005.
  29. Horwitz W. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC)*. Washington: AOAC; 1980.
  30. García A. Desarrollo de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) mínimamente procesados fortificados con calcio, selenio y vitamina C por aplicación de la técnica de impregnación al vacío. [Tesis de Pregrado]; Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano; 2006.
  31. Determinación de vitamina C por el método volumétrico yodimétrico. [http://www.utadeo.edu.co/comunidades/estudiantes/ciencias\\_basicas/quimica\\_analitica/guia\\_5\\_1.pdf](http://www.utadeo.edu.co/comunidades/estudiantes/ciencias_basicas/quimica_analitica/guia_5_1.pdf). Consultado: 5 de Noviembre de 2005.
  32. Imeson A. *Thickening and Gelling Agents for Food*, 2ª ed. Londres, Weinheim, Nueva York, Melbourne, Madras: Blackie Academic & Professional; 1997. pp. 24-44, 230-261.
  33. Fayle SE, Gerrard JA. *La reacción de Maillard*. Zaragoza-España: Acirbia; 2005.
  34. Bolin HR, Steele RJ. Nonenzymatic Browning in Dried Apples during Storage. *J Food Sci* 1987; 52 (6): 1654-1657.

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS SENSORIAL DE ALIMENTOS**

**Laboratorio Acreditado** por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), por 5 años, según Resolución 12822 de junio 8 de 2005 para control de calidad sensorial de alimentos y bebidas para consumo humano.

Reacreditado por la SIC

**Pruebas Acreditadas:**

Prueba Triangular según NTC2681, para alimentos y bebidas para consumo humano

Perfil de Sabor según NTC3929, para alimentos y bebidas para consumo humano

**Otros Servicios que ofrece el Laboratorio:**

Pruebas discriminativas: Dúo Trío, Comparación Pareada, Ordenación.

Pruebas con Consumidores: Aceptación, Par preferencia y Ordenación Preferencia.

Pruebas Descriptivas: Perfil de Textura.

Elaboración de Ficha Técnica Sensorial.

Asesorías para organización de panel en Industrias.

Capacitación en formación de jueces para el análisis sensorial.

Cursos de Análisis Sensorial.

**Carrera 75 No. 65-87 Bloque 44-209  
Teléfono: 4259233 Fax 2305007  
Medellín-Colombia  
[extfacqf@farmacia.udea.edu.co](mailto:extfacqf@farmacia.udea.edu.co)**

