



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS LIPÍDICAS  
SÓLIDAS Y/O ATMÓSFERA MODIFICADA ACTIVA  
EN SETAS (*PLEUROTUS OSTREATUS*)  
ALMACENADAS EN REFRIGERACIÓN**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A  
EMANUEL ISAI AMEZCUA HERNÁNDEZ.**

**Asesor(es):**

M. en C. Araceli Ulloa Saavedra.

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza.

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, a 05 de Marzo del 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNAH  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Aplicación de nanopartículas lipídicas sólidas y/o atmósfera modificada activa en setas (*Pleurotus ostreatus*) almacenada en refrigeración

Que presenta el pasante: Emanuel Isai Amezcua Hernández

Con número de cuenta: 408096294 para obtener el Título de: Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuatitlán Izcalli, Méx. a 03 de Junio de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

|               | NOMBRE                              | FIRMA |
|---------------|-------------------------------------|-------|
| PRESIDENTE    | IBQ. Norma Beatriz Casas Alencaster |       |
| VOCAL         | IA. Miriam Álvarez Velasco          |       |
| SECRETARIO    | M. en C. Araceli Ulloa Saavedra     |       |
| 1er. SUPLENTE | Dra. María Andrea Trejo Márquez     |       |
| 2do. SUPLENTE | M. en C. Julieta González Sánchez   |       |

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

### AGRADECIMIENTOS

“Ponte frente al sol y las sombras quedarán detrás de ti”.

Proverbio Mahorí.

A diferencia de lo que la mayoría suele poner en este apartado, en realidad yo tengo pocas personas a las que les dedico mi esfuerzo cotidiano, las únicas personas que se merecen mi reconocimiento son aquellas que en las buenas y en especial en las malas permanecen a mi lado hasta este segundo, aquellos que han demostrado lealtad en toda la expresión de la palabra.

No cuento con las palabras necesarias para expresar la gratitud que siento hacia mis padres Emma Hernández y Gerardo Amezcua, al igual que mi hermana Nelly Amezcua, que representan mi vida entera, al apoyo de mis abuelos Tomás Hernández y Rosa Alcaraz, mis tíos paternos y maternos, a mi tía Carmen Amezcua y a mis amigos Alejandro Paladio, Ángel Flores, Ana Laura Rubio, Rogelio Hernández que me llenaron de momentos maravillosos.

Le agradezco al Profesor Alfredo Cárdenas y a la Dra. María de la Luz Zambrano por conducirme y permitirme culminar este proyecto, pero en especial a la M. en C. Araceli Ulloa por ayudarme y estar al pendiente de mi experimentación y trabajo en general.

En estos últimos tiempos, le debo de reconocer el soporte y el amor que Estefanía Sánchez me ha brindado, que nunca me ha negado y que me demuestra en cualquier circunstancia.

“La paciencia es amarga, pero sus frutos son dulces”.

Jean Jacques Rousseau.

## AGRADECIMIENTOS

---

Trabajo realizado gracias al apoyo del proyecto PAPIIME: PE206664: Implementación de técnicas y métodos de enseñanza para la aplicación de nanotecnología en la conservación de alimentos a bajas temperaturas, sometidas a procesos térmicos y de transferencia de masa de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

## ÍNDICE GENERAL

| <i>Contenido</i>   | <i>Página</i> |
|--|---------------|
| <b>RESUMEN.</b>  | <b>I</b>      |
| <b>INTRODUCCIÓN.</b>   | <b>II</b>     |
| <b>I. MARCO TEÓRICO</b>  | <b>1</b>      |
| 1.1 Características y generalidades de las setas ostra.  | 2             |
| 1.1.1 Morfología de las setas ostra.   | 3             |
| a) Sombrero.   | 3             |
| b) Láminas.  | 3             |
| c) Pie.  | 4             |
| d) Espora.   | 4             |
| 1.2 Valor nutritivo.   | 5             |
| 1.1.3 Producción, consumo e importancia comercial de las setas ostra en México.                            | 7             |
| 1.1.4 Mecanismos de deterioro de productos frescos.  | 10            |
| A. Respiración.  | 11            |
| B. Transpiración.  | 16            |
| C. Actividad enzimática y oscurecimiento.  | 18            |
| 1.2 Refrigeración como medio de conservación.  | 21            |
| 1.3 Atmósfera modificada en la conservación de productos frescos.  | 22            |
| 1.3.1 Atmósfera modificada pasiva y activa.  | 23            |
| • Atmósfera modificada activa.   | 24            |
| • Atmósfera modificada pasiva.   | 25            |
| 1.3.2 Características, usos y propiedades de los principales gases utilizados en una atmósfera modificada. | 25            |
| a) Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).  | 25            |
| b) Oxígeno (O <sub>2</sub> ).  | 27            |
| c) Nitrógeno (N <sub>2</sub> ).  | 29            |



|   |           |
|---|-----------|
| 1.3.3 Consecuencias de la concentración de CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> en la seta ostra. | 30        |
| 1.3.4 Selección, uso y combinación de gases.  | 31        |
| 1.4 Permeabilidad en membranas de polímeros.  | 33        |
| 1.5 Nanotecnología.   | 34        |
| 1.5.1 Nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) definición, importancia y aplicación.            | 35        |
| 1.5.2 Elaboración de NLS.   | 37        |
| 1.6 Estudios previos de conservación de setas ostra.  | 39        |
| 1.7 Relevancia del proyecto.  | 40        |
| <b>II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.</b>   | <b>42</b> |
| 2.1 Planteamiento de objetivos.   | 43        |
| 2.1.1 Objetivo general.   | 43        |
| 2.1.2 Objetivo particular 1.  | 43        |
| 2.1.3 Objetivo particular 2.  | 43        |
| 2.1.4 Objetivo particular 3.  | 44        |
| 2.2 Selección de variables.   | 44        |
| 2.3 Diseño experimental.  | 44        |
| 2.4 Desarrollo experimental.  | 44        |
| 2.4.1 Reactivos.  | 44        |
| 2.4.2 Recepción y control del material biológico.   | 45        |
| 2.4.3 Caracterización de la cámara frigorífica.   | 46        |
| 2.4.4 Preparación de las nanopartículas lipídicas sólidas (NLS).                              | 46        |
| 2.4.5 Tamaño de partícula e índice de polidispersión.   | 47        |
| 2.4.6 Medición de la tasa de respiración.   | 47        |
| 2.4.7 Medición de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de la seta ostra.                   | 48        |
| 2.4.8 Determinación del índice de decaimiento.  | 50        |
| 2.4.9 Determinación de la polifenoloxidasasa (PFO).   | 52        |
| a) Extracción de la polifenoloxidasasa (PFO).   | 53        |
| b) Actividad enzimática.  | 53        |
| 2.4.10 Medición de color como indicador de oscurecimiento enzimático.                         | 54        |
| 2.4.11 Carga térmica a retirar por medio de refrigeración.                                    | 56        |





### ÍNDICE DE CUADROS

| <i>Contenido</i>   | <i>Página</i> |
|--|---------------|
| Cuadro 1. Composición nutricional de las setas ostra, datos aproximados en base seca de acuerdo al tipo de sustrato de cultivo.  | 6             |
| Cuadro 2. Producción de hongos comestibles cultivados en México durante el período 1995-2004, de acuerdo con SIACON (Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta, 2005). | 8             |
| Cuadro 3. Hongos comestibles cultivados en México, en relación con algunos productos agrícolas 1995-2004 de SIACON (Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta, 2005).  | 9             |
| Cuadro 4. Causas del deterioro de frutos y hortalizas.   | 11            |
| Cuadro 5. Clasificación de productos hortícolas acorde a su tasa de respiración.   | 15            |
| Cuadro 6. Composición atmosférica a nivel del mar.   | 24            |
| Cuadro 7. Efectos del aumento de CO <sub>2</sub> de la atmósfera modificada activa para la conservación de frutas y hortalizas.  | 26            |
| Cuadro 8. Efectos del aumento de O <sub>2</sub> en la atmósfera modificada activa (MAP) para la conservación de frutas y hortalizas.   | 28            |
| Cuadro 9. Propiedades físicas, ventajas e inconvenientes de los principales gases utilizados en el envasado en atmósfera protectora.   | 30            |
| Cuadro 10. Clasificación de alimentos según su $a_w$ y los gases adecuados para su envasado.   | 32            |
| Cuadro 11. Etapas de la elaboración de las NLS y las variables que afectan sus características finales.  | 37            |
| Cuadro 12. Índice de decaimiento de la seta ostra.   | 51            |
| Cuadro 13. Tasa de respiración empleando o no NLS en refrigeración o a temperatura ambiente.   | 68            |

## ÍNDICE DE CUADROS

---

|   |     |
|---|-----|
| Cuadro 14. Resultados de la WVTR, permeabilidad y WVP total en 57 h de almacenamiento utilizando el método del desecante.   | 71  |
| Cuadro 15. Comparativo de resultados de la determinación de pérdida de peso en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.  | 82  |
| Cuadro 16. Comparativo de resultados de WVTR en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.   | 83  |
| Cuadro 17. Comparativo de resultados de la determinación de permeabilidad en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.  | 84  |
| Cuadro 18. Comparativo de resultados de la determinación de WVP en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.  | 85  |
| Cuadro 19. Comparativo de resultados experimentales y bibliográficos de la tasa respiratoria (TR) de la seta ostra en diferentes condiciones de almacenamiento empleando distintas tecnologías de conservación. | 91  |
| Cuadro 20. Valores de $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E$ e IO promedio durante el almacenamiento usando MAP en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).   | 95  |
| Cuadro 21. Valores de $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E$ e IO promedio durante el almacenamiento usando NLS en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).   | 96  |
| Cuadro 22. Valores de $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E$ e IO promedio durante el almacenamiento usando MAP-NLS en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).   | 97  |
| Cuadro 23. Valores de $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , $\Delta E$ e IO promedio para la corrida blanco (CB) sin tecnología coadyuvante de conservación en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).                     | 98  |
| Cuadro 24. Actividad de la PFO en cada tecnología de conservación.  | 101 |
| Cuadro 25. Comparativo de permeabilidades al $\text{CO}_2$ , $\text{O}_2$ y WVTR del envase empleado durante la experimentación, los envases propuestos y resultados experimentales de la seta.                 | 108 |
| Cuadro 26. Deterioro de la seta ostra durante el almacenamiento como consecuencia de un envase incorrecto.  | 110 |
| Cuadro 27. Propiedades y especificaciones del material de   |     |

## ÍNDICE DE CUADROS

---

|  |     |
|--|-----|
| envasado (datos proporcionados por el proveedor).  | 112 |
| Cuadro 28. Propiedades y especificaciones de la propuesta de material de envasado CRYOVAC PD-960 Film. | 113 |
| Cuadro 29. Propiedades y especificaciones de la propuesta de material de envasado EDV PACKAGING.       | 114 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <i>Contenido</i>  | <i>Página</i> |
|---|---------------|
| Figura 1. Sombrero de las setas ostra.  | 3             |
| Figura 2. Laminillas de las setas ostra.  | 4             |
| Figura 3. Crecimiento natural de las setas ostra.   | 4             |
| Figura 4. Producción de setas ostra.  | 5             |
| Figura 5. Esquema de respiración aerobia.   | 12            |
| Figura 6. Esquema de respiración anaerobia.   | 13            |
| Figura 7. Diagrama tridimensional del espacio de color ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ).                                 | 20            |
| Figura 8a y 8b. Recepción de las setas ostra.   | 45            |
| Figura 9a y 9b. Setas ostras con presencia de mosquito del género <i>Heteropeza</i> .                             | 45            |
| Figura 10. Presencia de paja empleada como sustrato de cultivo.   | 46            |
| Figura 11. Dispositivo Rotor-Estator de alta velocidad.   | 46            |
| Figura 12a y 12b. Preparación del método estático para la determinación de la tasa de respiración.                | 48            |
| Figura 13. Analizador de gases modelo 902D Dual Trak.   | 48            |
| Figura 14. Medición de WVP.   | 49            |
| Figura 15. Índice de decaimiento 1.   | 51            |
| Figura 16. Índice de decaimiento 2.   | 51            |
| Figura 17. Índice de decaimiento 3.   | 51            |
| Figura 18. Índice de decaimiento 4.   | 52            |
| Figura 19. Índice de decaimiento 5.   | 52            |
| Figura 20. Espectrofotómetro 105-UV-V15 Thermo Scientific.  | 53            |
| Figura 21. Degradación de la mezcla de buffer citrato-fosfato, buffer fosfato y catecol como sustrato enzimático. | 54            |
| Figura 22. Cámara negra.  | 56            |
| Figura 23. Fotografía de la seta en cámara negra.   | 56            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

|   |    |
|---|----|
| Figura 24. Envasadora Multivac <sup>®</sup> .   | 57 |
| Figura 25. Mezclador de gases Dansensor <sup>®</sup> .  | 57 |
| Figura 26. Dimensiones del envase.  | 58 |
| Figura 27. Dimensiones del sobre con carbón activo utilizado como absorbedor de CO <sub>2</sub> .   | 58 |
| Figura 28. Contenedor de carbón activo previo al envasado.  | 59 |
| Figura 29. Contenedor de carbón activo posterior al envasado.   | 59 |
| Figura 30. Metodología de envasado en MAP.  | 60 |
| Figura 31. Metodología de envasado empleando NLS como recubrimiento.  | 61 |
| Figura 32. Metodología de envasado empleado NLS como recubrimiento y envasado en MAP.   | 62 |
| Figura 33. Metodología de envasado de la corrida blanco (CB).   | 63 |
| Figura 34. Concentración de O <sub>2</sub> en función del tiempo, empleando o no NLS para condiciones de almacenamiento ambiental y en refrigeración. | 66 |
| Figura 35. Concentración de CO <sub>2</sub> en función del tiempo, empleando o no NLS en condiciones de almacenamiento ambiental y en refrigeración.  | 67 |
| Figura 36. Cambios en concentración de gas en función de la temperatura y recubrimiento. (a) Oxígeno y (b) dióxido de carbono.                        | 68 |
| Figura 37. Coeficiente respiratorio en función al tiempo, empleando o no NLS en almacenamiento ambiental (T=29°C) y en refrigeración (T=4.0°C).       | 69 |
| Figura 38. Estado de la seta al finalizar la determinación de respiración a) en temperatura ambiente y b) refrigeración sin NLS.                      | 70 |
| Figura 39. Comparativo de pérdida de peso de la seta con y sin NLS en función al tiempo y en relación a las condiciones de almacenamiento.            | 72 |
| Figura 40. Cambios en WVTR de la seta envasada en MAP con dos formulaciones de NLS en refrigeración (4±1°C).  | 73 |
| Figura 41. Comparativo de permeabilidad de la seta envasada en  |    |

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

|  |     |
|--|-----|
| MAP con dos formulaciones de NLS y MAP en refrigeración ( $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ).  | 74  |
| Figura 42. Cambios en WVP de la seta envasada en MAP con dos formulaciones de NLS y MAP en refrigeración.  | 75  |
| Figura 43. Peso perdido en ambas formulaciones de NLS + MAP y MAP.   | 75  |
| Figura 44. $\text{O}_2$ absorbido en NLS con goma xantana + MAP, NLS sin goma xantana + MAP y MAP en refrigeración.  | 76  |
| Figura 45. $\text{CO}_2$ producido por NLS con goma xantana, + MAP, NLS sin goma xantana + MAP y MAP en refrigeración.   | 77  |
| Figura 46. Tasa de respiración del oxígeno ( $\text{TRO}_2$ ) correspondiente a cada formulación de NLS + MAP y MAP.   | 77  |
| Figura 47. Tasa de respiración del dióxido de carbono ( $\text{TRCO}_2$ ) correspondiente a cada formulación de NLS + MAP y MAP.   | 78  |
| Figura 48. Coeficiente respiratorio (QR) correspondiente a cada formulación de NLS + MAP y MAP.  | 78  |
| Figura 49. Peso perdido por la seta en las tres condiciones de envasado y la corrida blanco en refrigeración.  | 80  |
| Figura 50. Concentración de $\text{O}_2$ absorbido por la seta en cada tecnología de envasado en refrigeración ( $4^{\circ}\text{C}$ ).  | 87  |
| Figura 51. Concentración de $\text{CO}_2$ producido por la seta en cada tecnología de envasado en refrigeración ( $4^{\circ}\text{C}$ ).   | 88  |
| Figura 52. Tasa respiratoria de $\text{O}_2$ ( $\text{TR O}_2$ ) en mL por cantidad en kg de seta en 10 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración ( $T=4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ). | 89  |
| Figura 53. Tasa respiratoria de $\text{CO}_2$ ( $\text{TR CO}_2$ ) en mL por cada kg de seta en 10 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración ( $T=4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ).      | 89  |
| Figura 54. Coeficiente respiratorio de la seta empleando cada tecnología de conservación en condiciones de refrigeración ( $T=4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ).   | 92  |
| Figura 55. Comportamiento del índice de oscurecimiento para cada tecnología de conservación (MAP, NLS, MAP-NLS y CB) en refrigeración ( $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ).                              | 100 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

|   |     |
|---|-----|
| Figura 56. Actividad de la PFO con cada tecnología de almacenamiento en refrigeración.  | 102 |
| Figura 57. Comparativo de calor vital a retirar por refrigeración a $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ empleando cada tecnología de conservación. | 103 |
| Figura 58. Envase inflado por efecto del $\text{CO}_2$ y de subproductos de fermentación.   | 111 |
| Figura 59. Modificación textural de la seta por consecuencia del etanol (ablandamiento y oscurecimiento).                               | 111 |
| Figura 60. Condensado dentro del envase por mal control de HR y baja permeabilidad al WVTR por parte del envase.                        | 111 |

### NOMENCLATURA

MAP: Modified atmosphere packing.

MA: Modified atmosphere.

EAC: Envasado en atmósfera controlada.

NLS: Nanopartículas lipídicas sólidas.

CB: Corrida blanco.

nm: Nanómetros.

cm: Centímetros.

HR: Humedad relativa.

O<sub>2</sub>: Oxígeno.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono.

H<sub>2</sub>O: Agua.

QR: Coeficiente respiratorio.

TR: Tasa respiratoria.

PFO: Polifenoloxidasas.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Peróxido.

N<sub>2</sub>: Nitrógeno.

°C: Grados celsius.

CIE: Comisión internacional de iluminación.

$a_w$ : Actividad de agua.

pH: Potencial hidrógeno.

L\*: Coordenada de color referente a la luminosidad.

a\*: Coordenada cromática en el eje de las abscisas a\* = (+) verde, a\* = (-) verde

b\*: Coordenada cromática en el eje de las ordenadas b\* = (+) amarillo, b\* = (-)

azul

$\Delta E$ : Diferencia de color.

LLDPE: Polipropileno linealizado de baja densidad.

PVA: Polivinilalcohol.

## NOMENCLATURA

---

PVC: Cloruro de polivinilo.

g: Gramos.

mg: Miligramos

hr: Horas

ml: Mililitros

Kg: Kilogramos.

% PP: Porcentaje de pérdida de peso.

Pi: Peso inicial de la muestra (g).

Pf: Peso final de la muestra (g).

WVTR: Índice de Permeabilidad al Vapor de Agua ( $\text{g/m}^2 \text{ hrs}$ ).

dm/dt: Diferencial de peso de la muestra con respecto al tiempo (g).

A: área de la muestra ( $\text{m}^2$ ).

PA2: Presión parcial del medio de contacto con la seta (KPa).

PA1: Presión parcial ejercida por la sílica gel (KPa).

rpm: Revoluciones por minuto.

U: Unidades de actividad.

IO: Índice de Oscurecimiento

X: Factor

Kcal: Kilocalorías.

Tr: Toneladas de refrigeración

L: Litros.

WVTR: Velocidad de transmisión de vapor de agua.

WVP: Permeabilidad al vapor de agua.

T: Temperatura.

Mpa: Megapascales.

KN: Kilonewton.

Cc: Centímetros cúbicos.

in= Pulgadas.

C.O.F.: Coeficiente de fricción.

Pp= Presión parcial (Kpa).

### RESUMEN

El objetivo de éste trabajo fue establecer las condiciones de envasado que prolonguen la vida útil seta ostra (*Pleurotus ostreatus*) mediante la evaluación del efecto de la aplicación de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) y atmósfera modificada activa (MAP), midiendo los cambios de transpiración, respiración y polifenoloxidasas de la seta ostra. La preparación de las NLS se efectuó por el método de homogenización a alta velocidad de corte en caliente. Como actividades preliminares se caracterizó la cámara frigorífica, estabilizando la HR en  $90 \pm 5 \%$  y la temperatura a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ , así mismo se midió el tamaño de partícula e índice de polidispersión de las NLS preparadas. Posteriormente se caracterizó la materia prima (setas), en la que se estudiaron la tasa de pérdida de peso a través de la medición de la permeabilidad al vapor de agua (WVP), la determinación del índice de oscurecimiento y la medición de la tasa de respiración por método estático, misma prueba que llevó a concluir en empleo de un absorbedor de  $\text{CO}_2$ , para este propósito se usó carbón activo distribuido en sobres en el interior del envase. Se envasó en tres condiciones diferentes: 1.- Con el uso de MAP, 2.- Usando NLS y 3.- En combinación de MAP y NLS, se realizó un control envasado únicamente con película plástica y en condiciones de refrigeración, para posteriormente ser almacenados durante 12 días y muestreando en intervalos de tiempo definidos. A éstos envasados se les volvió a medir el WVP, la tasa de respiración y se les determinó el índice de oscurecimiento. Adicionalmente se determinó la concentración de polifenoloxidasas, se midió el color que interesa como indicador de oscurecimiento enzimático y se calculó la carga térmica a retirar por refrigeración en cada condición de envasado. Una vez obtenidos estos valores se procedió a compararlos entre sí empleando gráficos y cuadros para especificar la tecnología de envasado óptima para las setas ostra la cual nos sugirió que la MAP aporta mayores beneficios que las NLS.

## INTRODUCCIÓN

A pesar de la gran importancia social, económica e incluso ecológica, el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles silvestres y/o cultivados representa todavía una de las actividades más herméticas y poco conocidas del sector primario nacional. En México la producción de hongos está siendo amenazada por el alto grado de competitividad generado por la globalización (Martínez-Carrera et al 2007). El nombre de “setas” corresponde comúnmente a todos los hongos macroscópicos comestibles o no comestibles, la seta *Pleurotus ostreatus* o seta ostra como se le llama comúnmente, es uno de los hongos más codiciados en la cocina *gourmet*, cuyo valor nutricional es notable, ya que constituyen una magnífica fuente de proteínas por contener hasta 35% en base seca. Este dato es significativo si se compara con el 13.2% del trigo y 25.2% de la leche, además, contienen vitaminas como la B1, B2, B12, niacina y ácido pantoténico, así como ácidos grasos insaturados y un bajo contenido calórico (SAGARPA, 2012).

La producción de la seta ostra ha crecido enormemente en los últimos años hasta convertirse en la segunda especie más cultivada en el mundo, con una producción estimada de 900,000 toneladas anuales (Granados, 2011); es un producto altamente perecedero y si no se pone cuidado en la cosecha, manipulación y transporte, rápidamente avanzará el índice de decaimiento y dejará de ser adecuado para el consumo humano (University of Maryland, 2002).

La refrigeración como método de conservación elimina el calor sensible con el objetivo de disminuir la actividad enzimática, química y metabólica propia de la naturaleza orgánica del producto (*Geankoplis, 1998*). Otro método de conservación empleado para el envasado y almacenamiento de alimentos

## INTRODUCCIÓN

---

frescos son las atmósferas modificadas (MAP por sus siglas en inglés, *Modified Atmosphere Packaging*), así como el uso reciente de las nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) que contribuyen a preservar los atributos de frescura de una gran variedad de alimentos listos para el consumo.

La incorporación de la nanotecnología a la conservación de setas ostra aún no ha sido objeto de estudio, así que los resultados obtenidos podrán servir de antecedente para una amplia gama de productos. Entre los recubrimientos comestibles que se apoyan de la nanotecnología se encuentran las nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) que son dispersiones de lípidos sólidos de forma esférica, con un diámetro entre 50-500nm dispersas en un medio acuoso (Guerrero, 2011).

Debido a las características de la seta ostra y al no poseer cutícula, se convierte en un producto desprotegido ante ataques microbiológicos y a la pérdida de agua (Martínez-Carrera et al 2007), lo cual reduce su tiempo de vida de anaquel de 3 a 4 días en temperatura ambiente y de 6 a 8 días en refrigeración (Tao, 2005) limitando su comercialización.

Por tal motivo se ha orientado este trabajo a la combinación de la acción del frío con el empleo de MAP y NLS permitiendo ampliar la vida útil de la seta para poder acceder a mercados más distantes y exigentes, retrasando los procesos de maduración y de senescencia tales como: oscurecimiento enzimático, reacciones químicas, respiración, transpiración, pérdida de azúcares, disminución de los síntomas de daño por frío que ocasionan pérdidas en parámetros de calidad, además del CO<sub>2</sub> producido que puede ser negativo para el producto.



# MARCO TEÓRICO

---

Capítulo I

**CAPÍTULO I**

**2014**

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 CARACTERÍSTICAS Y GENERALIDADES DE LAS SETAS OSTRAS.

La seta *Pleurotus ostreatus* o seta ostra como se le conoce comúnmente, es un hongo saprofito o parásito débil, descomponedor de madera, crece sobre residuos de material leñoso o ricos en fibra como troncos, ramas y bagazos (López, 2008), abundantemente sobre aliso, balso y arce, principalmente en los valles de los ríos, ya que degradan el complejo lignocelulósico que forma parte de la pared de los vegetales. Es un degradador primario o colonizador, ya que inicia el proceso de degradación. La palabra “*Pleurotus*” viene del griego “Pleuro”, significa formado lateralmente o en posición lateral, “*Ostreatus*” en latín quiere decir en forma de ostra (Cardona, 2010). Pertenece a la familia polyporaceae, su principal crecimiento durante otoño-invierno en un rango de 2.68 g/l/día de biomasa fresca (Laessoe, 1998). Con frecuencia presentan un aroma a anís debido a la presencia de benzaldehído (SAGARPA, 2012).

Esta especie se distribuye en Europa, Asia y Norte América donde se le conoce como hongo ostra, u orejas. Aunque las formas silvestres son desconocidas en México, su producción industrial ha tenido un importante desarrollo en los últimos años (Pérez, 2002). El nombre de “setas” corresponde comúnmente a todos los hongos macroscópicos sean comestibles o no (Macazaga, 2012).

Son apetecidos y codiciados ampliamente por su excelente sabor en cocina *gourmet*, por tanto, la producción de hongos actualmente moviliza cientos de millones de dólares y miles de puestos de trabajo en toda América, particularmente en América Latina, ya que esta región tiene un gran potencial para el cultivo de las especies comestibles por la variedad de climas que posee

y la gran diversidad de residuos orgánicos que se generan en los diferentes cultivos agrícolas (López, 2008).

Según CODEX STAN 38 (1981), se entiende por hongo o seta comestible los frutos pertenecientes a un grupo vegetal específico –fungi- que crecen en estado silvestre o cultivados para después utilizarse como alimento.

### 1.1.1 Morfología de la seta ostra

Las setas ostra están conformadas por los siguientes elementos:

- a) **Sombrero:** Entre 5 y 15 cm de diámetro, aunque en ocasiones alcanza dimensiones mayores, es redondeado con la superficie lisa, abombada y de crecimiento excéntrico. Evoluciona de liso a convexo y posteriormente a plano convexo, con forma de ostra, da ahí su nombre. De color muy variable, desde gris claro hasta marrón oscuro, pasando por todas las tonalidades intermedias, a veces con reflejos azulados, hasta pardo, tomando una coloración más amarillenta con el tiempo (Cuesta, 2011) como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Sombrero de las setas ostra.

Fuente: Autoría propia.

- b) **Láminas:** Se encuentran ubicadas en la parte inferior del sombrero, van desde el pie o tallo que lo sostiene, hasta el borde, son anchas, espaciadas unas de otras, en un principio blancas, pasando a cremas cuando los ejemplares maduran, a veces bifurcadas, y en ellas se producen las esporas destinadas a la reproducción de la especie (Abcagro, 2011), podemos apreciar su forma en la figura 2.





Figura 2. Laminillas de las setas ostra.

Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pleurotus\\_ostreatus\\_605.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pleurotus_ostreatus_605.jpg)

- c) **Pie:** Es muy corto, a veces casi ausente, insertándose entonces el sombrero directamente en el sustrato (Cuesta, 2011), es algo lateral u oblicuo, con el principio de las laminillas en la parte de arriba y algo peloso en la base. Pueden crecer de forma aislada sobre una superficie horizontal o en grupo formando repisas laterales superpuestas sobre un costado de los árboles (Abcagro, 2011) tal como se aprecia en la figura 3.



Figura 3. Crecimiento natural de las setas ostra.

Fuente: [http://botit.botany.wisc.edu/toms\\_fungi/oct98.html](http://botit.botany.wisc.edu/toms_fungi/oct98.html)

- d) **Espora:** Son pequeñas, oblongas, lisas, casi cilíndricas de 8-11 x 3-4/ $\mu\text{m}$ , que en gran número forman masas de polvo o esporadas, de color blanco con cierto tono lila-grisáceo (Abcagro, 2011), en la figura 4 se pueden percibir con claridad.

La carne de la seta es de color blanco con algunos tonos crema cuando está mojada, es tierna al principio y después se vuelve correosa, algo dura en el pie y en el sombrero, cuando los ejemplares son viejos. El olor es algo fuerte pero agradable (Cuesta, 2011).



Figura 4 Producción de setas ostra.

Fuente: (SAGARPA, 2012).

### *1.1.2 Valor nutritivo*

El valor nutricional de los hongos comestibles es notable, ya que constituyen una magnífica fuente de proteínas por contener hasta 35% en base seca, este dato es significativo si se compara con el 13.2% del trigo, el 23.8 % en el pollo, el 19.4 % en carne de res y 25.2% de la leche, además de contener cantidades significativas de nitrógeno en forma de quitina. Contienen ácidos grasos insaturados y un bajo contenido de carbohidratos, por lo tanto, bajo contenido calórico, así mismo, poseen alta cantidad de minerales (superando a la carne de muchos pescados). También se caracterizan por tener propiedades medicinales conocidas como generar retardo en el crecimiento de tumores, disminuir los niveles de colesterol en la sangre y por poseer sustancias antioxidantes e inmunomoduladoras (SAGARPA, 2012). El cuadro 1 resume la composición de la seta ostra.

Las setas en general poseen un alto contenido de humedad, entre 87-93% según las condiciones de manejo al momento de la cosecha. Diversos autores informaron el contenido de 289  $\mu$ moles/g de aminoácidos, con predominio de los aminoácidos alanina, ácido glutámico, arginina y un contenido de aminoácidos libres entre 237-502mg/100g (Cardona, 2010). La peptona es la principal fuente de nitrógeno que da un rápido crecimiento micelial y formación de cuerpos fructíferos, es importante mantener un balance entre las fuentes de carbono y

## MARCO TEÓRICO

nitrógeno (Morgado Gonzáles, 2011), son incapaces de sintetizar azúcares pero si de transformarlos, si se les proporciona maltosa o glucosa pueden sintetizar sus propias proteínas, utilizando fuentes de nitrógeno y otros elementos esenciales (Cardona, 2010).

Cuadro 1. Composición nutricional de las setas ostra, datos aproximados en base seca de acuerdo al tipo de sustrato de cultivo.

| Componente y Cantidad  | Elementos  |
|--|--|
| <b>Carbohidratos</b><br><b>47.5%</b>                                    | Carbohidrato libre de nitrógeno.   |
| <b>Fibra cruda</b><br><b>11.5%</b>                                      | 16.5-50.5% de fibra detergente neutra, fibra detergente ácida 2.0-54.7%, fibra dietética total 18.4-55.5%, celulosa 0.0-21.0%, hemicelulosa 7.7-38.4% (Cardona, 2010)  |
| <b>Humedad</b><br><b>85-95%</b>                                        | (Macazaga, 2012)   |
| <b>Lípidos totales</b><br><b>1.0-7.2%</b><br><b>Grasa cruda 2.2%</b>  | Del total el 70-80% corresponde al ácido linoléico (18.2%). Los principales fosfolípidos son fosfatidilcolina y fosfatidiletanolamina  |
| <b>Minerales</b><br><b>10%</b>                                        | Han encontrado 0.29 mg/g de plomo y 0.07 mg/g de cadmio, el potasio 3.2 , el sodio 1.64 veces, el fósforo 1.7,y el cadmio 2.75 (Cardona, 2010)   |
| <b>Proteínas</b><br><b>35%</b>                                        | En base seca, con predominio de los aminoácidos alanina, ácido glutámico (SAGARPA, 2012).  |
| <b>Vitaminas</b><br><b>3-5%</b>                                       | Tiamina (B <sub>1</sub> ), riboflavina (B <sub>2</sub> ), B <sub>12</sub> , niacina, ácido ascórbico, ácido nicotínico y ácido pantoténico (B <sub>5</sub> ), ácido fólico, tocoferol, pirodoxina, cobalamina y provitaminas como la ergosterina y carotenos (SAGARPA, 2012) |



### *1.1.3 Producción, consumo e importancia comercial de las setas ostra en México.*

En los inicios de siglo XXI, y a pesar de su importancia social, económica y ecológica, el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles silvestres y cultivados representa todavía una de las actividades más herméticas y poco conocidas del sector primario nacional, sobre todo en lo relacionado a sus estructuras, procesos, variables socioeconómicas, patrones de desarrollo, e inter-relaciones con otros sectores (Martínez-Carrera, 2007).

Actualmente, la producción mundial supera los 7 millones de toneladas de hongos comestibles cultivados frescos por año, cuyo valor económico aproximado supera los 30 billones de dólares. La tasa promedio de incremento anual en la producción de hongos es superior al 11%, resaltando la importancia ecológica de esta actividad en la utilización y reciclaje acelerado de millones de toneladas de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales utilizados como substrato de cultivo (Martínez-Carrera, 2007). Entre los hongos cultivados, las especies del género *pleurotus*, también conocidas como hongos ostras, han sido seleccionadas por su facilidad de cultivo, y por la gran disponibilidad de substratos para su crecimiento (Granados, 2011).

La mayoría de las personas consumen hongos comestibles por su excelente sabor, aroma, y textura. Sin embargo, es poco conocido su gran potencial como alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud, como: anticancerígenas, antibióticas, reducen el nivel de colesterol y la hipertensión, antitrombóticas, antidiabéticas, esto brinda un impulso adicional al desarrollo de este producto, observándose una creciente demanda en Europa, Norteamérica y Japón. En México, la producción de las setas está siendo amenazada por el alto grado de competitividad generado por la globalización (Martínez-Carrera, 2007).

El cuadro 2 presenta la comparación de producción en toneladas de diversas setas cultivadas en México.

## MARCO TEÓRICO

Cuadro 2. Producción de hongos comestibles cultivados en México durante el período 1995-2004, de acuerdo con SIACON (Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta, 2005).

| Nombre científico                                     | Nombre comercial                    | Producción nacional |                |
|---|-------------------------------------|---------------------|----------------|
|   |                                     | Volumen (Toneladas) | Proporción (%) |
| <i>Agaricus bisporus</i><br>(J.E. Lange) Pilát        | Champiñones                         | 45,260              | 95.35          |
|   | Champiñón blanco                    | 44,931.5            | 99.27          |
|   | Champiñón Café                      | 328.5               | 0.73           |
| <b><i>Pleurotus ostreatus</i></b>                     | Setas ostra<br>(blanca, gris, café) | 2,190               | 4.62           |
| <i>Lentinula edodes</i><br>(Berk.) Pegler             | <i>Shiitake</i>                     | 18.2                | 0.038          |
| <i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis)<br><i>P. Karst.</i> | <i>Reishi</i>                       | PC                  | -              |
| <i>Grifola frondosa</i><br>(Dicks.) Gra               | <i>Maitake</i>                      | PC                  | -              |
| <b>Total</b>  |                                     | 47,468.2            | 100            |

PC= Nivel de pruebas a escala comercial.

Fuente (Martínez-Carrera, 2007, pág. 13).

La producción se lleva a cabo sobre todo en la región central del país, en el cual se estima que los volúmenes ascienden aproximadamente a 47,468 toneladas anuales de hongos frescos. Nuestro país es el mayor productor de Latinoamérica, ya que genera alrededor del 58.9% de la obtención total de esa región y lo ubica como el 16vo. Productor a nivel mundial (Martínez-Carrera, 2007). La producción de *pleurotus ostreatus* ha aumentado enormemente en los últimos años hasta convertirse en la segunda especie de hongos comestibles

## MARCO TEÓRICO

más cultivada en el mundo, con una obtención estimada en 900,000 toneladas anuales (Granados, 2011).

Cuadro 3. Hongos comestibles cultivados en México, en relación con algunos productos agrícolas durante 1995-2004, de acuerdo con SIACON (Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta, 2005).

| Producto                             | Año y toneladas |               |               |
|--------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|
|                                      | 1995            | 2001          | 2004          |
| Hortalizas                           | 59,183          | 83,527.11     | 62,487.34     |
| Hortalizas (orgánico)                | -               | 113.87        | 7.5           |
| Tomate cherry                        | 5,761           | 28,589.05     | 54,592.17     |
| Tomate cherry (orgánico)             | -               | 4,487.93      | 683.5         |
| Tomate rojo (jitomate orgánico)      | -               | -             | 3,800         |
| Chícharo                             | 39,894          | 48,014.78     | 53,717.33     |
| Chícharo (orgánico)                  | -               | 385.17        | 336.25        |
| Ajo                                  | 43,761          | 55,558.80     | 47,917.57     |
| Ajo (orgánico)                       | -               | 206.75        | 106.99        |
| <b>Hongos comestibles cultivados</b> | <b>27,825</b>   | <b>38,708</b> | <b>47,468</b> |
| Cacao                                | 49,425          | 46,737.65     | 43,974.52     |
| Café cereza                          | 1,725,960       | 1,645,821.86  | 1,665,406.18  |
| Café cereza (orgánico)               | -               | -             | 31,571.36     |

Fuente: (Martínez-Carrera, 2007)

Es necesario contar entonces con apoyos para: **1)** Investigaciones básicas, aplicadas, y socioeconómicas; **2)** Desarrollar innovaciones tecnológicas y su transferencia al sector; **3)** Formar recursos humanos de alto nivel, capacitación y asistencia técnica; **4)** Financiamiento y estímulos fiscales; **5)** Estadísticas sectoriales e información oportuna de mercados; **6)** Normatividad y certificación sobre inocuidad y calidad alimentaria; **7)** Promover exportaciones de alto valor agregado, incluso las tecnologías de procesamiento pos cosecha disponibles (refrigeración, atmósferas controladas, envasado, congelado, secado) que pueden aplicarse indistintamente a hongos silvestres (Martínez-Carrera, 2007).

### *1.1.4 Mecanismos de deterioro de productos frescos*

La vida pos cosecha de los productos frescos depende de la tasa a la cual sus reservas nutritivas son consumidas y de la tasa de pérdida de agua. Las setas ostra son productos altamente perecederos y si no se pone cuidado durante la recolección, manipulación y transporte, aparecerán daños rápidamente y dejarán de ser adecuados para el consumo humano. La naturaleza de la seta en sí, junto con los tratamientos de manipulación y almacenamiento que recibe, dictaminan su vida útil (University of Maryland, 2002).

El deterioro durante el almacenamiento de las setas ostra puede ser causado por bacterias y hongos que están dentro de estas. Las bacterias y enzimas continúan aumentando durante el almacenamiento en frío, esto produce un rápido proceso de deterioro cuando son retiradas del almacenamiento en frío (Kim, 2005).

El agua dentro de los hongos también favorece el crecimiento bacteriano, sin embargo, no hay ninguna barrera para evitar la pérdida de agua de la superficie. La pérdida de agua en las setas es influenciada por el estado de las mismas, la humedad, el aire fresco y la presión atmosférica. Cuando las setas se marchitan y arrugan baja su calidad como producto fresco (Kim, 2005).

Los hongos frescos tienen una vida de anaquel muy corta. Por consiguiente, es necesario que se comercialicen rápido después de la cosecha o sean conservados con especial cuidado en almacenamiento frío u otro almacenamiento de ambiente controlado (Kim, 2005).

En el cuadro 4 se visualizan las diversas causas de deterioro de las setas ostra y de productos frescos en general. El medio ambiente depende de la HR y la temperatura de bulbo húmedo y seco que se alcancen.

## MARCO TEÓRICO

Cuadro 4. Causas del deterioro de frutos y hortalizas.

| FACTOR DE DETERIORO   | CAUSA   |
|---|---|
| <b><u>BIOLÓGICO</u></b>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Plagas (insectos, roedores, pájaros)</b></li></ul> | Prácticas de manufactura inadecuadas<br>Controles inadecuados |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Microbiológico</b></li></ul>                       |   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Fisiológico</b></li></ul>                          | Condiciones ambientales (T, HR)                               |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Respiratorio</b></li></ul>                         | Tiempo, medio ambiente (T, HR)                                |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Producción de etileno</b></li></ul>                | Tiempo, medio ambiente (T, HR)                                |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Crecimiento, senescencia</b></li></ul>             | Embalaje, HR, velocidad del aire                              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Transpiración y pérdida de agua</b></li></ul>      | Frío, calor, heladas, composición atmosférica                 |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Desórdenes, daños</b></li></ul>                    |   |
| <b><u>QUÍMICO / BIOQUÍMICO</u></b>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Enzimático</b></li></ul>                           | Condiciones ambientales, manipulación/golpes                  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Oxidación</b></li></ul>                            | Oxígeno   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Cambios no enzimáticos</b></li></ul>               | Embalaje, composición, calor                                  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Oxidación a la luz</b></li></ul>                   | Embalaje  |
| <b><u>FÍSICO</u></b>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Machucones, aplastamiento</b></li></ul>            | Manipulación, embalaje  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Marchitamiento</b></li></ul>                       | HR, embalaje  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Cambios de textura</b></li></ul>                   | Condiciones ambientales, embalaje                             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Cambios d humedad</b></li></ul>                    | HR, embalaje, condiciones ambientales                         |
| <b><u>HUMEDAD</u></b>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Humedad relativa del medio ambiente</b></li></ul>  |   |

Fuente: (University of Maryland, 2002).

### A. Respiración

En el proceso de la respiración, tanto los azúcares como sus derivados son oxidados por la actividad de las células vivas, dando lugar a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). En las oxidaciones biológicas respiratorias, la energía se libera parcialmente en forma de calor (Bonner, 1973) conocida como calor vital y afecta las consideraciones del uso de tecnologías poscosecha (Kader, 1992), pero otra parte de ésta se conserva a lo largo del proceso de almacenamiento y de transporte, siendo esta energía la que utiliza la célula para consumirla en muchas actividades endoenergéticas (Bonner, 1973).

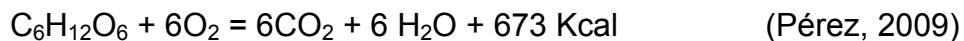


## MARCO TEÓRICO

Los hongos continúan respirando después de la cosecha y tienen una tasa de respiración relativamente alta comparada con otros productos frescos, dicha tasa de respiración en la seta ostra es, por ejemplo, tres veces superior que la mayoría de las frutas. El aumento en la producción de CO<sub>2</sub> coincide con el proceso de maduración comercial (Kim, 2005).

La respiración es importante para la manipulación de productos frescos, ya que la energía liberada en forma de calor afecta a los requisitos de refrigeración y ventilación de los productos. La tasa de deterioro de productos hortofrutícolas suele ser proporcional a su tasa respiratoria. Bajar temperaturas, minimizar golpes, daños y aumentar el nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera gaseosa constituyen diversos pasos para controlar la respiración (University of Maryland, 2002).

En la respiración las sustancias de reserva (carbohidratos) se oxidan enzimáticamente a glucosa y los electrones son transferidos hasta el O<sub>2</sub>. Se forma H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub> además se libera energía que se almacena en forma de ATP.



En la figura 5 se ejemplifica la ruta de producción de energía en condiciones de exposición al O<sub>2</sub> (aerobia) para liberar CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O a través de la oxidación de la glucosa. Durante la respiración aerobia en los hongos el aceptor de electrones es el oxígeno y se liberan 38 ATP/molécula de glucosa (Pérez, 2009).

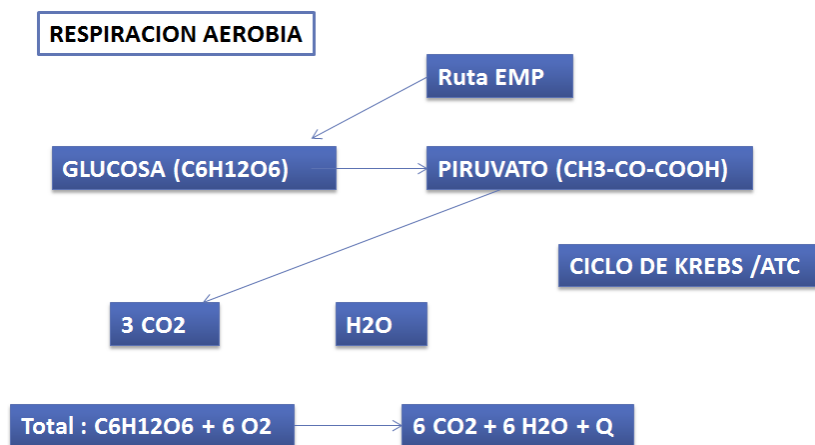


Figura 5. Esquema de respiración aerobia (Pérez, 2009).



## MARCO TEÓRICO

En la figura 6 se muestra la ruta metabólica en completa ausencia de  $O_2$  (anaerobiosis), que tiene como finalidad obtener energía en forma de ATP. Los hongos producen 26 ATP/molécula de glucosa y el nitrato es el aceptor de electrones.

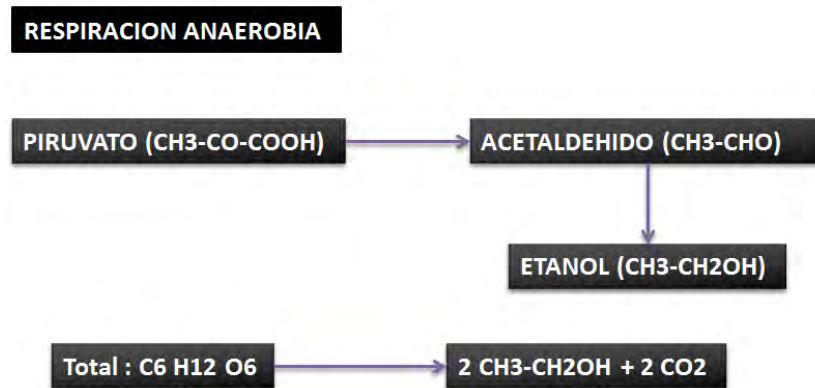


Figura 6. Esquema de respiración anaerobia. (Pérez, 2009).

En condiciones de total ausencia de oxígeno, se tiene la liberación de subproductos como el etanol, formaldehidos y demás compuestos volátiles que alteran los parámetros organolépticos como lo son el sabor, aroma, textura, color y en consecuencia favorecerán el deterioro del producto, todo esto como consecuencia de la fermentación alcohólica generada; en setas la respiración principalmente produce cambios en la textura y por consecuencia el rechazo del consumidor.

En ausencia de  $O_2$ , la conversión de una molécula de glucosa a dos moléculas de lactato o de etanol +  $CO_2$  es muy pequeña: solamente dos moléculas de ATP (cerca de 15 Kcal/mol) se producen, y esto es tan sólo el 2.5% de la energía total presente en la molécula de glucosa (Bidwell, 1979).

La tasa respiratoria (TR) es un buen indicador de la vida de anaquel (Kim, 2005), ésta es evaluada por medio de la cantidad de gas ( $CO_2$  u  $O_2$ ) en mililitros por cada kilogramo de muestra en función al tiempo ( $mICO_2/Kg*h$ ), mientras que el coeficiente respiratorio (QR) es medido en función de la variación de concentración de  $O_2$  absorbido por la seta ( $mIO_2/Kg*h$ ), al  $CO_2$  emitido por la misma ( $mICO_2/Kg*h$ ) como producto metabólico, por lo tanto, el coeficiente

## MARCO TEÓRICO

respiratorio (QR) es el resultado de la relación de ambas concentraciones como se indica en la siguiente ecuación:

$$QR = \text{CO}_2 \text{ desprendido} / \text{O}_2 \text{ absorbido}$$

Dónde:

Respiración aerobia= 0.7 a 1.3

Respiración anaerobia  $\geq 1.3$

Sustrato respiratorio = hidratos de carbono, ácidos orgánicos y lípidos.

(Pérez, 2009)

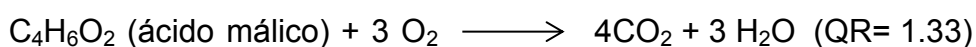
Los valores que representan cual es el sustrato respiratorio que se está consumiendo son los siguientes:

QR = 1 Hidratos de carbono como sustrato respiratorio.

QR  $\geq 1$  Ácido orgánico como sustrato respiratorio.

QR  $\leq 1$  Ácido graso menos oxigenado que los azúcares, oxidación incompleta en el ciclo del ATP (Pérez, 2009). Por lo tanto se necesitará mayor cantidad de aquel elemento para su transformación oxidativa en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  con un QR aproximado a 0.7 (Bonner, 1973).

A continuación se presentan las reacciones involucradas en el empleo de ácidos orgánicos como sustrato respiratorio, cuyo valor es mayor, ya que son sustancias más ricas en oxígeno que los azúcares:



Los azúcares no constituyen el único sustrato de este proceso. En muchos casos la respiración representa la utilización simultánea de una mezcla de sustancias diferentes, por lo que el QR obtenido sería en realidad un promedio total de gases intercambiados en la combustión de todo un complejo de materiales respiratorios (Bonner, 1973). El cuadro 5 clasifica diversos productos hortícolas en función a su tasa de respiración en unidades de  $\text{mgCO}_2/\text{Kg}^*\text{h}$ .

## MARCO TEÓRICO

Cuadro 5. Clasificación de productos hortícolas acorde a su tasa de respiración.

| Clase               | Rango a 5°C<br>(mgCO <sub>2</sub> /Kg*h) | Productos   |
|---------------------|--|---|
| Muy Baja            | <5                                       | Nueces y hortalizas secas   |
| Baja                | 5-10                                     | Manzana, cítricos, uva, kiwi, ajo, cebolla, papa (madura), camote, betabel, apio, arándano, melón honeydew, papaya, piña, sandía                                    |
| Moderada            | 10-20                                    | Chabacano, banana, cereza, durazno, pera, ciruela, higo, col, zanahoria (sin hojas), lechuga Iceberg, pimiento, tomate, pepino, aceituna, rábano (sin hojas), mango |
| Alta                | 20-40                                    | Fresas, zarzamora, frambuesa, coliflor, zanahoria (con hojas), aguacate, lechugas, frijol lima  |
| Muy Alta            | 40-60                                    | Alcachofa, germinados, brócoli, col de Bruselas, flores cortados, cebollín, ejote   |
| Extremadamente Alta | >60                                      | Espárragos, champiñón, perejil, chícharo, espinaca, maíz dulce  |

Fuente (Kader, 1992).

Todas estas reacciones previamente mencionadas, traen como consecuencia:

- Pérdida de azúcares y otras sustancias de reserva, que son influyentes en el sabor.
- Necesidad de O<sub>2</sub> para evitar respiración anaerobia, que provoca malos sabores y olores.
- El agua generada no es suficiente para compensar la pérdida por transpiración.
- El calor de respiración que es un factor importante en el almacenamiento.
- El CO<sub>2</sub> producido que puede dañar a los frutos si no hay suficiente ventilación y puede producir anaerobiosis (Pérez, 2009).

Se ha reportado que las setas ostra almacenadas con cubierta de película transparente de PVC tuvieron una tasa de respiración de 65.9 mlCO<sub>2</sub>/Kg\*h al segundo día y declinó gradualmente hasta llegar al noveno día a 50.7 ml de CO<sub>2</sub>/Kg\*h (Morgado, 2011).

### *B. Transpiración*

La pérdida de peso de las setas, se debe a la diferencia de presiones de vapor de agua, entre el interior del producto, los espacios intercelulares y la presión del entorno del producto (Pérez, 2009), así como a la superficie total y su resistencia a la transpiración (Morgado, 2011); a éste fenómeno también se le llama déficit de presión de vapor. El coeficiente de transpiración disminuye con el incremento de presión de vapor de agua del entorno (Mahajan, 2007).

El proceso de transpiración es la pérdida de agua de forma constante, en la planta viva, esta agua es remplazada por el agua tomada por medio de las raíces. Cuando se cosecha el producto, este pierde su fuente de remplazo de agua. Es un importante proceso fisiológico que afecta principalmente a las características de calidad y frescura de la seta, a la masa de venta al público, a la apariencia y la textura, así como su valor nutricional (Mahajan, 2007), puede conducir a una contracción, marchitamiento, deshidratación, ablandamiento, a la pérdida de consistencia y jugosidad (University of Maryland, 2002), por lo que representa un serio problema. Cuando se producen pérdidas de 5% o 10% de peso fresco, la seta comienza a marchitar y pronto se vuelve inusable (Mahajan, 2007).

Un recubrimiento (como las ceras), un envase o embalaje adecuado, así como el control del medio ambiente que rodea el producto manteniendo una humedad relativa alta y el control de la velocidad de circulación (velocidad del aire) pueden controlar la transpiración (University of Maryland, 2002). La deshidratación de las setas se previene con alta humedad relativa, pero esta humedad es demasiado alta para disuadir el crecimiento microbiano. La alta humedad del entorno, la elevada tasa de transpiración de las setas y una baja

permeabilidad al vapor de agua por parte del envase causan condensación dentro del mismo.

El predecir la tasa de pérdida de agua, ayuda a estimar el tiempo de vida de las setas en estado fresco y a diseñar las condiciones de almacenamiento y envasado. Para extender el tiempo de vida útil de la seta ostra, la tasa de pérdida de agua debe ser disminuida tanto como sea posible.

Morgado (2011) hace referencia a estudios en *Pleurotus ostreatus*, dónde se obtiene mayor pérdida de peso a medida que aumenta la temperatura, 0.6% de peso perdido a 0°C y 4°C, 1.6% de peso perdido a 7°C por 7 días, 2% de peso perdido a 0°C y 4°C y 2.5% de peso perdido a 7°C por 11 días. Por lo que se recomienda que la mejor temperatura de almacenamiento sea a 0°C.

Los factores que afectan a la transpiración en las setas ostra y productos hortícolas en general son los siguientes:

- Temperatura y humedad relativa del entorno.
- A mayor temperatura y menor humedad relativa, mayor velocidad de transpiración.
- Morfología.
- Relación superficie de contacto con el ambiente/volumen de contacto con el ambiente, ya que mientras mayor sea esta relación existirá mayor transpiración.
- Espesor de la cutícula, a mayor espesor, menor transpiración (la seta ostra no posee cutícula, lo que la vuelve propensa a la transpiración).
- Lesiones mecánicas (roturas, fisuras, etc.). Las roturas epidérmicas provocan mayor transpiración y aumentan la pérdida de agua.
- Velocidad del aire que rodea al fruto. Hay una capa microscópica de aire saturado de humedad en contacto con el fruto. A mayor velocidad del aire, menor espesor de dicha capa y por lo tanto mayor transpiración.
- Recubrimiento, envolturas y envasado. Una capa protectora brinda menor transpiración del producto.



- Presión de vapor tanto del producto como del entorno.
- Calor generado por la respiración, a mayor calor se tiene mayor transpiración.

(Mahajan, 2007)

### *C. Actividad enzimática y oscurecimiento*

Las enzimas son proteínas que existen en forma natural en los tejidos y catalizan distintas reacciones bioquímicas importantes. Algunas reacciones enzimáticas son benéficas mientras que otras provocan un deterioro de la calidad. Las reacciones catalizadas por enzimas pueden provocar un ablandamiento del tejido debido a la descomposición del material estructural, el desarrollo de sabores extraños a través de la descomposición de los componentes lipídicos y la pérdida de color con un oscurecimiento no deseado, éstos son problemas de gran magnitud en la industria de los alimentos (Artés, 2006).

Las enzimas también pueden catalizar la fermentación de los azúcares, la descomposición del ácido ascórbico presente en la seta, infección bacterial y muchas otras reacciones de deterioro. Machucones, cortes, fisuras, temperatura elevada y la presencia de factores coadyuvantes (por ejemplo minerales como Fe y Mg) incrementan la tasa de actividad de degradación causada por las enzimas (Artés, 2006).

En el caso del oscurecimiento enzimático, las reacciones son catalizadas por complejos enzimáticos naturales en la seta, que involucran la formación de pigmentos oscuros, liberación de gases y la reducción de volumen (M-Crazov et al, 2009). Los compuestos fenólicos de la seta se oxidan y se transforman a sus correspondientes quinonas al estar en contacto con el aire, particularmente el O<sub>2</sub>, mismas que evolucionan de forma espontánea hacia diferentes pigmentos que producen el oscurecimiento (aparición de colores oscuros) en la superficie de la seta, provocando un aspecto desagradable frente al consumidor y por lo tanto considerables pérdidas económicas (Sellés, 2007).



La degradación oxidativa de los compuestos fenólicos es muy relevante en términos de calidad, por la formación de melaninas que oscurecen a la seta. Se ha propuesto que la polifenoloxidasas (catecol oxidasa) puede actuar como promotor de la peroxidasa, puesto que en las reacciones de oxidación de compuestos fenólicos se genera  $H_2O_2$  (peróxido) (Sellés, 2007). Esta enzima tiene un peso molecular de 41000 y 42000 Kilo Daltons (KDa), un pH óptimo de actividad de 6.5, un valor de  $K_m$  y  $V_{max}$  estimados en 2.8mM y 344.5 UI/ml para catecol como sustrato a 30°C. Contiene cobre en su sitio activo y es la responsable del oscurecimiento enzimático catalizando dos diferentes reacciones en presencia de  $O_2$ : La hidroxilación de un monofenol a o-difenol (actividad monofenolasa) y la oxidación de una o-difenol a o-quinona (actividad difenolasa) (Guerrero, 2012).

El oscurecimiento enzimático puede ser controlado a través del uso de métodos químicos y físicos a menudo empleados en combinación. Los métodos físicos comúnmente utilizados son la reducción de la temperatura, el oxígeno y el uso de atmósferas o películas de recubrimiento. La utilización de métodos químicos dependerá de lo que se desee inhibir, ya sea la enzima, el sustrato (oxígeno o compuestos fenólicos) o los productos (Guerrero, 2012).

Los cambios de color son un importante criterio de evaluación del efecto de diferentes tratamientos pos cosecha. La mayor parte del tiempo, el consumidor evalúa los niveles de calidad de frutas o vegetales mediante una inspección visual de la distribución de color. En la práctica, los hongos son juzgados por esta primera característica de calidad, que es mediante, la intensidad del color representado por la blancura del sombrero (Shashi, 2010). La Organización Internacional de Luz y Color CIE (*Commission Internationale de L'Eclairage*) traducido como Comisión Internacional de Iluminación, desarrolló dos importantes sistemas para la evaluación de color en términos de números basados en la medición de reflectancia espectral de la muestra. El primero creado en 1931 se refiere a los valores triestímulo (X Y Z) y el segundo sistema creado en 1976 referido al espacio de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , siendo estos sistemas los más utilizados en la actualidad por los instrumentos de medición (Metrólogos, 2009).

## MARCO TEÓRICO

Los valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  son los siguientes:

Luminosidad:  $L^*= 0$  (negro)

$L^*= 100$  (blanco)

Orientación:  $a^*= +$  (Tendencia al color rojo)

$a^*= -$  (Tendencia al color verde)

$b^*= +$  (Tendencia al color amarillo)

$b^*= -$  (Tendencia al color azul)

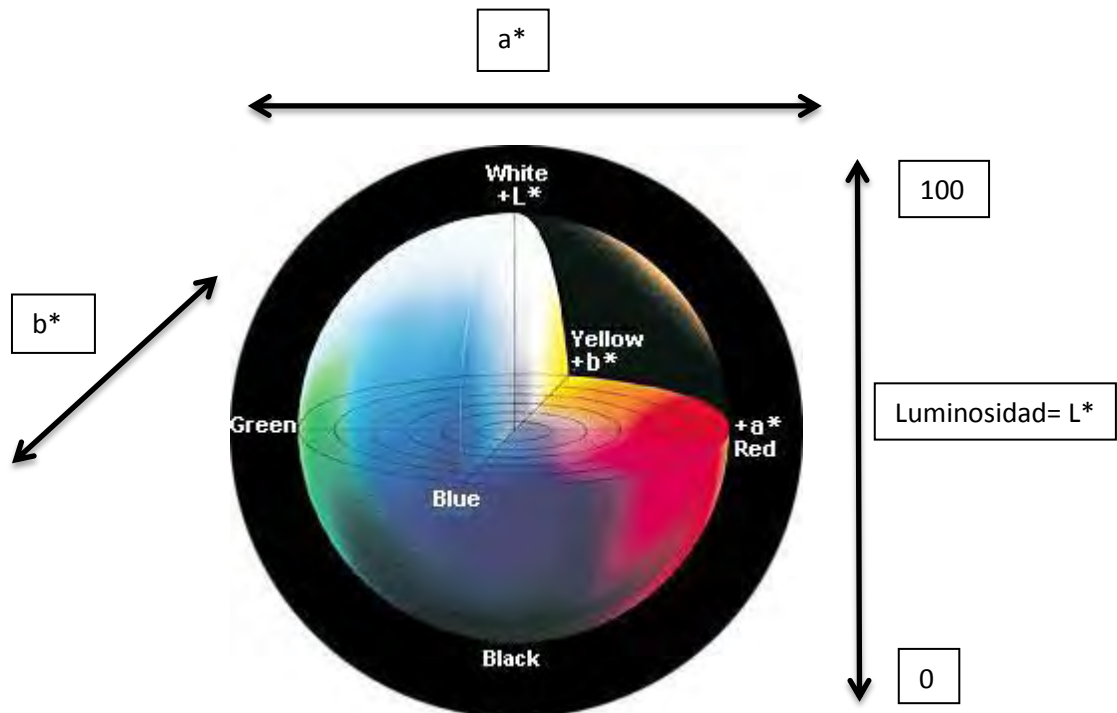


Figura 7. Diagrama tridimensional del espacio de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

Fuente: (Metrólogos, 2009).

El término diferencia de color  $\Delta E$ , comprende la medida del color involucrando la textura de la superficie y la distribución del color, mismo que se compara con otro producto referente, lográndose un análisis de calidad completo del producto. En los alimentos la tolerancia de  $\Delta E$  es mayor ( $\Delta E= 10-20$ ) (González, 2010).

Entonces, el  $\Delta E$  indica el grado de cambio general de color, comparado con los valores de color de un hongo ideal (mostrados en la página 55) (Kim, 2006).

### 1.2 REFRIGERACIÓN COMO MEDIO DE CONSERVACIÓN

El almacenamiento es un proceso normal para asegurar el aprovisionamiento de los mercados el mayor tiempo posible. El tiempo por el cual un producto puede ser almacenado depende de sus características intrínsecas, por un lado, se tienen los productos perecederos, como las setas ostra y aquellos que naturalmente están adaptados para larga conservación, como la cebolla, papa, ajo, etc. (López, 2003).

Cuanto antes se someta al producto, después de la recolección, a la temperatura idónea de almacenamiento, mayor será el tiempo de conservación de los atributos sensoriales que definen su calidad comercial. Los productos objeto de conservación, son seres con vida y como tales presentan características individuales, que se traduce en una anatomía perfectamente definida y en una fisiología que comporta los procesos de: transpiración, intensidad respiratoria, maduración y por sus reservas metabólicas, estos procesos se manifiesta con distinta intensidad antes y después de la recolección (Muñoz-Delgado, 1985) por lo que es indispensable reducir su actividad tan rápido como sea posible.

La vida de anaquel de las setas se puede prolongar refrigerando entre 1-4 °C. La vida de anaquel de las setas puede variar de 1 a 2 semanas en refrigeración (Kim, 2005). Las velocidades de enfriamiento siguen las leyes de la conducción de calor en estado no estacionario, el calor se elimina por convección en la superficie y por conducción en el propio material; sin embargo, el enfriamiento de materiales se basa en la eliminación del calor sensible y calor metabólico (Geankoplis, 1998).

La preservación de las setas a temperaturas frías generalmente resulta en una efectiva preservación de corto término retardando el crecimiento de los microorganismos, reduciendo la tasa de las actividades metabólicas poscosecha de los tejidos de las mismas y minimizando la pérdida de humedad (Kim, 2005). La seta ostra no posee cutícula que la proteja de ataques microbianos o de las

condiciones del medio que la rodean, por lo tanto, es susceptible a daños y pérdidas a lo largo de todo el sistema productivo y/o de distribución.

La temperatura de las setas al momento de la cosecha es igual a la del área de fructificación (crecimiento). Generalmente la temperatura metabólica de las setas es de 15-18 °C después de la cosecha, el calor se genera por los procesos que ocurren dentro de la seta y es alto durante la fructificación. Si las setas no se enfrían rápidamente y en lugar de eso se ponen en cajas o se cubren con película de PVC para almacenamiento, su temperatura aumentará debido a su metabolismo. Entonces, el deterioro durante el almacenamiento será causado por bacterias y hongos dentro de la seta (Kim, 2005).

“El frío industrial solamente se debe emplear en alimentos de muy buena calidad, es un error muy grande, la congelación de productos alimentarios vencidos o de baja calidad esperando que la misma mejore” (CID-CI, 2006). De igual manera, nunca se debe de aplicar frío en alimentos cuyo grado de maduración, contaminación y descomposición ya se encuentra avanzado.

### **1.3 ATMÓSFERA MODIFICADA EN LA CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS FRESCOS.**

La técnica de conservación en atmósfera modificada consiste en empacar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto. Dependiendo de las exigencias del alimento a envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO<sub>2</sub> y pobres en O<sub>2</sub>, los cuales reducen el proceso de respiración en los productos, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por un mayor tiempo (Ospina, 2008).

La técnica es ambientalmente sostenible, flexible y aplicable desde fracciones de Kg hasta estibas enteras de productos hortofrutícolas, utilizando cámaras y/o transporte frigorífico convencionales, con algún equipamiento específico. Si el

manejo en atmósfera modificada se adecua a la fisiología del producto, logra condiciones idóneas y puede coadyuvar con el frío para frenar la respiración, la maduración y senescencia, el marchitamiento, los ataques fúngicos y los daños por el frío en la seta ostra (Artés, 2006); esto se logra mediante un estudio de la tasa de respiración natural del producto y la correcta elección de la película protectora para así poder seleccionar el tipo de atmósfera a utilizar.

Los términos “envasado en atmósfera controlada” y “envasado en atmósfera modificada” se utilizan con frecuencia como sinónimos. Sin embargo, esto es incorrecto, porque, son dos sistemas de conservación diferentes. En el Envasado en Atmósfera Modificada (MAP, *Modified Atmosphere Packaging*, por sus siglas en inglés) el envase se cierra herméticamente tras la introducción de los gases y, a partir de ese momento, el productor no puede variar la composición de la atmósfera interna a voluntad como sucede en el EAC (Envasado en Atmósfera Controlada) (García, 2006).

### 1.3.1 Atmósfera modificada pasiva y activa

Después de ser cosechadas, las setas en estado fresco continúan sus procesos metabólicos, consumen  $O_2$ , producen  $CO_2$  y expulsan vapor de agua. Cuando la velocidad de consumo de  $O_2$  y producción de  $CO_2$  es acompañada con un buen intercambio gaseoso de la película, es posible tener una Atmósfera Modificada (MA, por sus siglas en inglés) adecuada para el producto (Ospina, 2008), el equilibrio en las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  se encuentra en función al tiempo y es completamente dependiente de la naturaleza del producto, de la permeabilidad y grosor del material empleado como envase, la cantidad de producto, temperatura de almacenamiento, así como la humedad relativa, ya que al lograr controlar estos factores se conseguirá ampliar la vida útil de una extensa gama de productos retrasando los procesos de maduración y de senescencia tales como el oscurecimiento enzimático, reacciones químicas y disminución de los síntomas de daño por frío.

Si se elige una película de permeabilidad intermedia, se establecerá un equilibrio cuando las intensidades de transmisión del  $O_2$  y del  $CO_2$  a través del



envase sean iguales a la intensidad de respiración del producto (Ospina, 2008). Pero su aplicación incorrecta puede iniciar y agravar alteraciones fisiológicas y/o fúngicas, incluso inducir a una maduración anormal con sabor y aroma extraños (Figuerola, 2004).

- **Atmósfera modificada activa**

Es un método de conservación en el cual se adiciona al interior del envase una concentración de gases conocida que producen un efecto individual o combinado, cuya concentración se irá modificando a lo largo del tiempo logrando la modificación de la atmósfera en contacto con el producto para incrementar el tiempo de vida útil (Ospina, 2008).

El empaclado en atmósfera modificada es reportado como el más económico y efectivo método para extender el tiempo de vida útil de la seta ostra, con bajas concentraciones de O<sub>2</sub> y altas de CO<sub>2</sub>, el comportamiento de la tasa respiratoria se ve disminuido, al mismo tiempo se reduce el deterioro y crecimiento de microorganismos en setas frescas (Jayathunge, 2005).

El cuadro 6 refiere la concentración de los gases que se encuentran en el envasado tradicional sin MAP (composición del aire al nivel del mar), ya que lo que se pretende, es modificar estas concentraciones para ser utilizadas a favor de la conservación del producto a empacar.

Cuadro 6. Composición atmosférica a nivel del mar.

| <b>Gases Mayoritarios</b>         | <b>Otros Gases</b>                 |                   |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| <b>Volumen aproximado</b>         | <b>(Volumen total &lt; 0,012%)</b> |                   |
| <b>Nitrógeno (78,03%)</b>         | Dióxido de nitrógeno               | Helio             |
| <b>Oxígeno (20,99%)</b>           | Monóxido de carbono                | Hidrógeno         |
| <b>Argón (0,94%)</b>              | Óxido nitroso                      | Dióxido de azufre |
| <b>Dióxido de carbono (0,03%)</b> | Ozono                              | Vapor de agua     |

Fuente: (García, 2006)



Es importante tener en cuenta que el exterior de empaque se hallará expuesto a la atmósfera y que la concentración de su interior tenderá al equilibrio con la concentración del exterior de éste (en el caso de materiales semi-permeables y/o de baja barrera a los gases y vapor de agua).

- *Atmósfera modificada pasiva*

En este método la atmósfera permite alcanzar una concentración de gas adecuada para la conservación del alimento (Garcia, 2006).

La modificación de la atmósfera alrededor del producto se lleva pasivamente por efecto de la respiración y permeabilidad de la película protectora utilizada para su comercialización. Cuando el producto fresco es envasado, se llevan a cabo dos procesos simultáneos: la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica (Ospina, 2008). Dicho de otra manera, es únicamente el intercambio gaseoso del producto debido a su metabolismo natural y la capacidad de transferencia de materia a través de la pared que constituye el material de envase, no se adiciona ni se modifica la concentración gaseosa del interior del envase, el envase posee la misma concentración atmosférica, ya que el producto y el envase son los que la van modificando con el paso del tiempo.

### *1.3.2 Características, usos y propiedades de los principales gases utilizados en una atmósfera modificada.*

#### *a) Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)*

El efecto del CO<sub>2</sub> se fundamenta en el desplazamiento del O<sub>2</sub>, gas vital para muchos microorganismos, provocando un cambio en las condiciones de pH, ya que ocurre una ligera acidificación en la superficie del alimento (Ospina, 2008). Este gas se difunde a través de la película de envasado por encima de 30 veces (dependiendo de la composición de la misma) más rápidamente que cualquiera de los otros gases empleados para el envasado de productos alimenticios (Parry, 1995). El cuadro 7 recopila las ventajas y desventajas de la disminución

## MARCO TEÓRICO

de O<sub>2</sub> y aumento de CO<sub>2</sub> en MAP para la conservación de productos hortofrutícolas.

Cuadro 7. Efectos del aumento de CO<sub>2</sub> de la atmósfera modificada activa para la conservación de frutas y hortalizas.

| <b>Favorables</b>   | <b>Desfavorables</b><br>(por encima del límite tolerable)  |
|---|--|
| <b>Frenado de la actividad respiratoria y del calor desprendido en la respiración.</b>            | Maduración anormal.  |
| <b>Aumento en ciertos casos de la duración de la conservación.</b>                                | Fermentación propia con alteración del sabor y aroma.  |
| <b>Frenado de la maduración y de la degradación clorofílica.</b>                                  | Sensibilización de los tejidos a daños físicos y a elevadas concentraciones de CO <sub>2</sub> con desarrollo de oscurecimientos y necrosis. |
| <b>Frenado del metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, vitaminas, pectinas, etc.</b> | Oscurecimientos superficiales e internos, Formación de depresiones (picado) en la epidermis. Necrosis en los tejidos.                        |
| <b>Disminución de la síntesis de compuestos aromáticos.</b>                                       |  |
| <b>Disminución de algunos daños físicos (escaldadura blanda) y de senescencia.</b>                | Desarrollo de alteraciones fúngicas en herida de tejidos dañados.  |
| <b>A muy bajas concentraciones, menor desarrollo de algunos géneros fúngicos de alteración.</b>   |  |

Fuente: (Ospina, 2008)

El CO<sub>2</sub> además actúa como agente bacteriostático inhibiendo el crecimiento de aquellas bacterias que dependen estrictamente del O<sub>2</sub> para su desarrollo (aerobias estrictas), inhibe el crecimiento y propagación de mohos, aunque algunos presentan alta resistencia al CO<sub>2</sub>, por tal motivo su crecimiento no

puede ser totalmente detenido (Ospina, 2008). Es particularmente efectivo contra bacterias gram-negativas, el efecto inhibitor se incrementa a baja temperatura debido al aumento de su solubilidad (179.9ml/100ml de agua a 0°C) (Parry, 1995).

Es de vital importancia conocer la tasa de respiración del producto de interés, para evitar asfixia, así como el desarrollo de olores y sabores desagradables producto de la formación de acetaldehídos, que se obtienen por un proceso fermentativo ocasionado por la falta de O<sub>2</sub> y por exceso de acidificación del alimento, como consecuencia de la alta concentración de CO<sub>2</sub>.

Debido a que la seta ostra genera una gran cantidad de CO<sub>2</sub> durante su almacenamiento, principalmente durante los primeros días, es indispensable tener especial cuidado con la concentración de éste gas y así evitar un proceso fermentativo, ya que la presencia de etanol provocará un ablandamiento en la seta y la percepción de aromas desagradables, pese a que la seta ostra no es capaz de fijar CO<sub>2</sub> del medio.

### *b) Oxígeno (O<sub>2</sub>)*

El deterioro de los alimentos puede estar provocado por factores químicos y microbiológicos. Probablemente el O<sub>2</sub> es el más importante en este contexto, siendo utilizado por microorganismos aerobios que provocan descomposición, por tejidos vegetales, y participa en reacciones enzimáticas; incluyendo la oxidación de grasas y de compuestos sensibles como vitaminas y aromas (Parry, 1995). La figura 8 contrasta los efectos positivos y negativos que se obtienen con la presencia de este gas.

Concentraciones superiores a la normal del aire, pueden o no, elevar la intensidad respiratoria y acelerar la maduración, mientras que concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores al 2.5% aumentan la producción de CO<sub>2</sub> y generan sabores y olores anormales como consecuencia del establecimiento del proceso fermentativo por falta de O<sub>2</sub>. A niveles del 1% de O<sub>2</sub> se reportan sabores

## MARCO TEÓRICO

alcohólicos, en la seta se han detectado mayor proporción de oscurecimiento enzimático, así como una mayor susceptibilidad a daños por frío (García, 2006).

Cuadro 8. Efectos del aumento de O<sub>2</sub> en la atmósfera modificada activa (MAP) para la conservación de frutas y hortalizas.

| <b>Favorables</b>   | <b>Desfavorables</b><br>(por encima del límite tolerable)   |
|---|---|
| <b>Frenado de la actividad respiratoria y del calor desprendido en la respiración.</b>  | Maduración anormal.   |
| <b>Frenado de la transpiración.</b>   | Producción de etanol, acetaldehídos y otros compuestos.   |
| <b>Aumento en ciertos casos de la duración de la conservación.</b>  | Calor anormal (degradación de antocianos).  |
| <b>Disminución e incluso inhibición de la síntesis de etileno y retraso en la aparición del climaterio.</b>   | Desarrollo de alteraciones específicas, como la mancha parda de la lechuga.   |
| <b>Frenado de los procesos de maduración: disminución del metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, vitaminas y la degradación de la clorofila, entre otros.</b> | Sensibilización de tejidos a los daños físicos: oscurecimiento interno y superficial, corazón pardo, escaldadura, necrosis de los tejidos. Formación de cavernas. Decoloración de la pulpa. Desarrollo de textura harinosa. |
| <b>En concentraciones superiores a 15%, ligera disminución del desarrollo de algunos hongos, de bacterias e insectos.</b>   | Pérdida de textura, ablandamiento y aspecto acuoso. Desarrollo de alteraciones fúngicas secundarias sobre tejidos dañados.  |

Fuente: (Ospina, 2008).

Concentraciones de O<sub>2</sub> inferiores a la normal existentes en el aire ambiente (21%), provocan una reducción de la intensidad respiratoria (TR), un retraso en

la maduración y un aumento de la vida comercial de los productos vegetales, siendo la respuesta más o menos pronunciada según el producto y variedad de que se trate.

Todo esto hace que en casos excepcionales no se recomiende el empleo prolongado de atmósferas con concentraciones de  $O_2$  inferiores al 2%. Por otra parte, el agotamiento del  $O_2$  se evita mediante la aireación en los empaques y con el manejo adecuado de los productos en almacenamiento, es necesario realizar un estudio fisiológico para cada producto en particular. A bajas temperaturas, el efecto de un nivel bajo de  $O_2$ , es menos marcado que a temperaturas altas (Garcia, 2006).

### *c) Nitrógeno ( $N_2$ )*

El  $N_2$  es un gas totalmente inerte y muy poco soluble en agua y grasas, lo que lo convierte en un producto ideal para la conservación de alimentos y bebidas, actuando como gas de desplazamiento o de llenado. Por sus características fisicoquímicas el  $N_2$  es utilizado en el envasado en MAP para remplazar el  $O_2$  del interior del envase y así evitar problemas oxidativos en productos de alto contenido de grasa, incluso operando como protector del producto contra daños mecánicos; otra de sus funciones es actuar como gas de relleno evitando el “colapso del envase” cuando se utilizan altas concentraciones de  $CO_2$  (Garcia, 2006).

El cuadro 9 condensa las propiedades, ventajas e inconvenientes del empleo de cada gas en el envasado con MAP de frutos y hortalizas. Este cuadro es importante para comprender de manera más clara el efecto de cada gas, para prestar atención a la selección y potenciales usos de uno o varios gases.

Es efectivo contra los microorganismos al retrasar su crecimiento pero es inoperante contra las bacterias anaerobias. Para garantizar que dichas bacterias no se desarrollen en el empaque se utiliza una pequeña cantidad de  $O_2$ . La seta durante su cultivo no es capaz de fijar el  $N_2$  atmosférico, por lo tanto, tampoco lo puede fijar después de haber sido cosechada, ni durante el almacenamiento en exposición a este gas (Garcia, 2006).



## MARCO TEÓRICO

Cuadro 9. Propiedades físicas, ventajas e inconvenientes de los principales gases utilizados en el envasado en atmósfera protectora.

| GASES                     | PROPIEDADES FÍSICAS  | VENTAJAS   | INCONVENIENTES   |
|---------------------------|--|--|--|
| <b>Oxígeno</b>            | Incoloro<br>Inodoro<br>Insípido<br>Comburente                        | Soporta el metabolismo de vegetales frescos.<br>Mantiene el color de la carne fresca<br>Inhibe anaerobios.             | Favorece la oxidación de las grasas.<br>Favorece el crecimiento de aerobios.                     |
| <b>Dióxido De Carbono</b> | Incoloro<br>Inodoro<br>Ligero sabor ácido<br>Soluble en agua y grasa | Bacteriostático<br>Fungistático<br>Insecticida<br>Mayor acción a baja Temperatura.                                     | Produce el colapso del envase.<br>Produce exudado<br>Se difunde rápidamente a través del envase. |
| <b>Nitrógeno</b>          | Incoloro<br>Inodoro<br>Insípido<br>Insoluble                         | Inerte<br>Desplaza al oxígeno<br>Inhibe aerobios.<br>Evita la oxidación de las grasas.<br>Evita el colapso del envase. | Favorece el crecimiento de anaerobios (100% nitrógeno)   |

Fuente: (Ospina, 2008)

### 1.3.3 Consecuencias de la concentración de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en la seta ostra.

Los daños por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), (altas concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera circundante) pueden provocar desórdenes fisiológicos que contribuyen a producir el deterioro de la seta ostra, como favorecer la formación de exudado, sabores extraños, aceleración de la pudrición y deshidratación (Catalán, 2010).



En la sala de fructificación (crecimiento de la seta) el incremento en la concentración de  $\text{CO}_2$  afecta sensiblemente el desarrollo de la especie *Pleurotus*. Se sugiere que concentraciones superiores a 700 ppm pueden producir desde un ligero alargamiento del pie, hasta la no formación del sombrero, en tanto, que a niveles superiores a 1000 ppm pueden inhibir la fructificación, aunque la ventilación insuficiente propicia la acumulación de  $\text{CO}_2$ , y el exceso de ventilación puede producir resequedad del sustrato así como de los cuerpos fructíferos (Morgado, 2011).

El empleo de atmósferas controladas o modificadas con fines de conservación presenta ciertas limitantes, principalmente por la alta sensibilidad de la seta a los elevados niveles de  $\text{CO}_2$ . Concentraciones elevadas de  $\text{CO}_2$  y escasas en oxígeno provocan reacciones de anaerobiosis y el desarrollo de bacterias causantes de fermentaciones, afectando el sabor, también se han reportado pérdidas de acidez y de azúcar comparado con el almacenamiento tradicional con elevadas concentraciones de  $\text{CO}_2$ , además de un incremento en el pH (Cáceres, 2005).

Shashi y Deepak (2008) reportaron que concentraciones bajas de  $\text{O}_2$  (0.4%) y concentraciones altas de  $\text{CO}_2$  (12 o 13%) en hongos tienen mayores efectos adversos en el contenido de azúcares totales. Es importante señalar que los hongos no fijan el  $\text{CO}_2$  (Alonso, 2006).

### **1.3.4 Selección, uso y combinación de gases**

Es necesario conocer la naturaleza, propiedades y composición del producto, como contenido de agua, cantidad y tipo de grasas, estudio de la intensidad respiratoria, tasa de transpiración, sensibilidad al  $\text{O}_2$  y/o  $\text{CO}_2$ , tipo de microorganismos presentes, maduración, color y actividad enzimática, todo esto para lograr la correcta elección de concentración de mezcla de gases a utilizar.

Es de vital importancia considerar el espacio libre de cabeza, debido a que será el encargado de almacenar el contenido de gas determinado, yaciendo como

## MARCO TEÓRICO

responsable de la transferencia de materia entre el alimento y el envase seleccionado, incluyendo las reacciones que se pudiesen llevar a cabo.

En términos generales puede afirmarse que: cuanto mayor sea la vida útil que se desea lograr para el producto, mayor será el espacio de cabeza que se proporcione (García, 2006).

En base a estos aspectos se efectúa la selección del material y tipo de envase a utilizar para preservar y proteger al alimento, algunos ejemplos serán mostrados en el cuadro 10, donde se realiza la recomendación de selección de mezcla de gases en base a la cantidad de agua del alimento.

Cuadro 10. Clasificación de alimentos según su  $a_w$  y los gases adecuados para su envasado.

| $a_w$        | Producto  | Alteraciones                      | Envasado           |
|--------------|---|-----------------------------------|--------------------|
| <b>Bajo</b>  | Café, snacks,<br>Frutos secos<br>deshidratados              | Oxidaciones                       | $N_2$              |
| <b>Medio</b> | embutidos<br>pre cocidos<br>panadería, quesos, pasta/pizzas | Oxidación<br>Mohos<br>(Bacterias) | $N_2 + CO_2$       |
| <b>Alto</b>  | carne fresca<br>Pescado<br>Productos vegetales              | Bacterias                         | $N_2 + CO_2 + O_2$ |

Fuente: (López, 2008).

Hablando del control microbiológico, un ejemplo de la importancia de la correcta selección de gases y su concentración, es que la *Listeria Monocytogenes* es microaerófilo, y capaz de crecer a baja temperatura, esto hace necesario el establecer claramente su importancia potencial en los envases de MAP puesto que es un contaminante común de hortalizas y de la seta ostra.

### 1.4 PERMEABILIDAD EN MEMBRANAS DE POLÍMEROS.

La permeabilidad es la capacidad de los gases para difundirse, saturarse y migrar a una zona de menor concentración. La permeabilidad en una membrana polimérica tiene lugar en tres etapas sucesivas: difusión del gas en la superficie membrana-disolución, disolución del gas en el medio de la membrana y finalmente, la transferencia del gas al ambiente, es decir, la interface opuesta de la membrana (Artés, 2006).

El transporte de gases a través de membranas densas (no porosas) de polímeros se lleva a cabo mediante un mecanismo de difusión de la solución. El gas disuelto en el polímero en el lado de alta presión de las membranas, se difunde a través de la fase del polímero y se desorbe o evapora en el lado de baja presión. La velocidad de transferencia de masa depende del gradiente de concentración en la membrana, si la solubilidad es proporcional al gradiente de presión parcial a lo largo de la membrana y si la solubilidad es proporcional a la presión (McCabe, 2003).

Es posible obtener una alta selectividad de gases a partir de una relación de difusividad favorable o de un gran diferencial en las solubilidades, tomando en cuenta que la difusividad es el movimiento de una especie química desde una región de concentración elevada hacia otra de baja concentración (Bird et al, 1992). Las difusividades de la membrana dependen en mayor medida del tamaño y de la forma de las moléculas que de las difusividades de la fase gaseosa. Los valores de difusividad varían ampliamente con el tipo de polímero, con valores más pequeños para polímeros en estado vítreo o cristalino y valores altos para polímeros que están arriba de la temperatura de transición del vidrio. Es posible que la difusividad varíe con la concentración del soluto en el polímero, en particular cuando hay un hinchado apreciable del polímero (McCabe, 2003).

La solubilidad de los gases también varía ampliamente con el gas y el tipo de polímero. La solubilidad es menor para los gases que tienen un punto de ebullición o temperatura crítica menores. Pero la similitud del gas y del polímero

también es importante. Los gases polares tienden a ser más solubles en polímeros que tienen una concentración elevada de grupos polares, y la solubilidad del vapor de agua es alta en materiales capaces de formar enlaces hidrógeno (puentes de hidrógeno) con moléculas de agua, así que con un amplio intervalo de difusividades, no es sorprendente que algunas membranas sean muy selectivas para ciertas mezclas gaseosas (McCabe, 2003).

Para la mayoría de los gases la solubilidad aumenta con la temperatura, debido al incremento de la difusividad. Un aumento en la temperatura por lo general disminuye la selectividad de la membrana, de forma que la temperatura de operación se determina mediante el equilibrio necesario para el flujo y la selectividad (McCabe, 2003). Las propiedades barrera, así como las propiedades físicas, varían con el grosor (Parry, 1995).

La condensación de humedad dentro del empaque, pérdidas de color, oscurecimiento oxidativo, son los problemas más comunes en el envasado de setas ostra, probablemente los dos son consecuencia de la baja permeabilidad del envase al vapor del agua (Jayathunge, 2005). La permeabilidad de las películas también depende de la temperatura de almacenamiento, y normalmente se incrementa al elevarse la temperatura. Una película que es adecuada para el envasado en MAP a una temperatura, puede no ser adecuada para otra temperatura (Parry, 1995).

Esencialmente la vida de anaquel de un alimento, se define como el tiempo en el cual éste conservará sus propiedades fisicoquímicas, características sensoriales, nutricionales y de seguridad. Con respecto a la vida de anaquel, los factores claves incluyen contenido de humedad, actividad de agua ( $A_W$ ), pH y adición de preservativos antimicrobianos y antioxidantes (Chica, 2012).

### 1.5 NANOTECNOLOGÍA

Debido a que el flujo de un gas a través de una película densa de polímero es inversamente proporcional al espesor, se ha optado por el desarrollo de una membrana tan delgada como sea posible sin que se formen orificios o puntos

débiles. Los procesos de separación de gases operan con diferencias de presión de 1 a 20 atmósferas, así que la membrana delgada debe estar soportada por una estructura porosa capaz de resistir tales presiones, pero ofreciendo poca resistencia al flujo del gas, sin embargo, es difícil el manejo de una película delgada y la unión de ésta a un soporte sin que se desgarre (McCabe, 2003).

Es por ésta razón, que se ha preferido el empleo de partículas de talla nanométrica como medio de envasado, cuyo principio de funcionamiento es el controlar la tasa respiratoria vigilando la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> presentes como producto natural del metabolismo del alimento. La nanotecnología comprende el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia y la explotación de fenómenos y propiedades de la misma a nano escala (átomos y moléculas) (Serra, 2009).

Generalmente se les da el nombre de nanopartículas a las nanoesferas y a las nanocápsulas. La diferencia entre ambas formas radica en su morfología y su arquitectura. Las nanoesferas están formadas por una densa matriz polimérica, mientras que las nanocápsulas están compuestas por un centro oleoso cubierto por una membrana polimérica (Velázquez, 2011).

### ***1.5.1 Nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) definición, importancia y aplicación.***

Las nanopartículas lipídicas sólidas (NLS), son dispersiones de lípidos sólidos de tamaño submicrómetro (Guerrero, 2011). Fueron desarrolladas a principios de 1990, se generan simplemente intercambiando el lípido líquido de las emulsiones, por un lípido sólido, lo que significa que son sólidas a la temperatura ambiente. Son de forma esférica, con un diámetro entre 50 nm y 500 nm, y al estar dispersas en un medio acuoso forman un sistema coloidal (con una proporción de agua del 70-95%), poseen un núcleo sólido lipídico que puede solubilizar sustancias lipofílicas. El núcleo se estabiliza con tensoactivos



y cotensoactivos que se adhieren a la superficie del lípido, creando una barrera física (Serra, 2009).

Se ha demostrado que los recubrimientos con base en ceras permiten la respiración y retrasan la migración de agua gracias a las barreras que se forman; sin embargo, las ceras afectan la transmisión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, y por lo tanto, pueden dar lugar a procesos fisiológicos no deseados, como la respiración anaerobia. Si los recubrimientos lipídicos se mojan, pueden ser difíciles de manejar y pueden funcionar más como una capa de sacrificio en lugar de una verdadera barrera contra la humedad (Guerrero, 2011).

Los recubrimientos lipídicos fueron desarrollados específicamente para limitar la migración de la humedad de los alimentos. Debido a su naturaleza no polar, tienen una baja afinidad por el agua, lo que explica por qué tienen permeabilidad a humedades bajas, también permiten restringir el intercambio de compuestos volátiles, lo que impide la pérdida de sabor, componentes de color, además de proteger de daños físicos (Guerrero, 2011).

Las nanopartículas pueden emplearse en el desarrollo de nuevos nano-ingredientes y aditivos, suplementos nutricionales y en materiales de contacto con los alimentos, como envasado, almacenamiento o en contacto directo con los mismos. Existe una lista de patentes a nivel mundial constituida de 74 aplicaciones en alimentos y bebidas, 43 son suplementos alimenticios (57.3%), como nanopartículas de coloides de zinc, 20 aplicaciones de almacenamiento (26.7%); donde se encuentran las NLS; 9 aplicaciones de cocina (12%) y tres alimentos (4%), como aceite de canola activa de Israel que contribuye a inhibir el transporte del colesterol y permite gran permeación de vitaminas, minerales, y fotoquímicos que son insolubles en agua o grasas (Buzby, 2010).

Como es posible notar, es enorme el potencial de estudio y desarrollo de la nanotecnología y es aplicable en cualquier área. El uso de las NLS en los alimentos implica seguridad de almacenamiento y manejabilidad del producto, traducidos en mayor captación económica por parte del productor y certeza de

consumir un producto de calidad y en óptimas condiciones por parte del consumidor.

### 1.5.2 Elaboración de NLS

En el cuadro 11 se resumen las etapas de la elaboración de NLS y las variables que se deben de tomar en cuenta para lograr la talla de partícula y las características apropiadas para su empleo como recubrimiento (Serra, 2009).

Cuadro 11. Etapas de la elaboración de las NLS y las variables que afectan sus características finales.

| Parte del proceso  | Variable   |
|--|--|
| <b>Homogeneización y formación de la partícula</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>○ Presión y número de ciclos</li><li>○ Tipo y velocidad de agitación (mecánica, sonicación)</li><li>○ Forma de adición de tensoactivos</li><li>○ Temperatura</li></ul>             |
| <b>Emulsificación con disolvente</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>○ Naturaleza del disolvente.</li><li>○ Naturaleza de la fase acuosa</li><li>○ Presencia de polímeros hidrofílicos</li><li>○ Temperatura de las fases</li><li>○ Agitación</li></ul> |
| <b>Concentración y purificación de la dispersión mediante secado, centrifugación y/o ultrafiltración</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>○ Temperatura</li><li>○ Velocidad</li><li>○ Tipo de membrana</li></ul>   |
| <b>Liofilización</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>○ Presencia de crioprotectores</li><li>○ Temperatura de congelamiento</li><li>○ Velocidad y temperatura de sublimación</li></ul>   |

Fuente: (Serra, 2009)

Muchos investigadores han desarrollado y optimizando los procesos de obtención y escalamiento de las NLS, combinando elementos de diferentes

técnicas de ruptura y dispersión de la fase lipídica, tales como: la homogeneización a alta presión (en frío o en caliente), la microemulsificación con agitación a alta velocidad o por medio de ultrasonido, la emulsificación mediante evaporación o difusión del disolvente en el cual se encuentre disuelta la fase oleosa, la doble emulsificación (w/o/w) y la nanoesferonización a alta velocidad. Serra (2009) describe el proceso de elaboración de las NLS de la mejor manera, mismo que se citará a continuación

La primera parte del proceso es la adecuada selección de los elementos que conformarán a las NLS. Las características principales de las NLS como: tamaño de partícula, grado de dispersión del tamaño y potencial zeta, están determinadas por la naturaleza del lípido, por la mezcla de tensoactivos, la viscosidad de la fase lipídica, la viscosidad de la fase acuosa en el momento de la emulsificación, y también por los parámetros de producción, principalmente por las condiciones de homogeneización y la temperatura.

La segunda parte del proceso consiste en la preparación de la fase acuosa, la cual generalmente es una disolución de alta concentración de tensoactivos. La naturaleza y concentración de los tensoactivos o emulsificantes, tienen gran impacto en las propiedades físicas de las nanopartículas lipídicas, puesto que son adsorbidos en la superficie de las gotas de grasa, formando una barrera que les imparte estabilidad física e impacta en el tamaño de partícula, potencial zeta y su estabilidad química.

Las mezclas de tensoactivos generalmente tienen un efecto sinérgico, produciendo una película interfacial con alta capacidad de recubrimiento y con viscosidad suficiente para disminuir la agregación de las partículas durante la producción y el almacenamiento.

La adición de co-emulsificantes mejora la estabilidad física de las partículas al incrementar los efectos estéricos, la rigidez de la película externa y también al modificar la carga superficial de las partículas. Los estabilizadores también pueden tener un efecto pronunciado en el tiempo de aparición de las transiciones polimórficas de los triglicéridos que conforman las nanopartículas.

La tercera etapa en la elaboración consiste en la formación de una pre emulsión, mezclando la fase oleosa y la acuosa en frío o en caliente, mediante agitación mecánica vigorosa o ultrasonido. La disgregación de las gotas del lípido (fundido o disuelto) en partículas nanométricas requiere de suficiente energía, por lo que el uso de homogeneización a alta velocidad o a presión, debe llevarse a cabo durante varios ciclos.

La última etapa consiste en la concentración y purificación de la dispersión de NLS mediante diversos procesos, como pueden ser: de evaporación, ultracentrifugación, ultrafiltración, secado o liofilización (mediante la adición de crioprotectores como trehalosa, manosa, maltosa, fructuosa, PVP o PVA), lo que permitirá eliminar la fase acuosa, facilitando su manejo y administración.

### 1.6 ESTUDIOS PREVIOS DE CONSERVACIÓN DE SETAS OSTRA

Jayathunge en el 2000, reporta que las setas ostra comercialmente son empacadas en polipropileno, poliestireno de baja densidad y polipropileno linealizado de baja densidad (LLDPE), son empacadas después de un lavado de 0.5% de cloruro de calcio, 0.5% de ácido cítrico; el estudio es basado en el comportamiento de cambios de color en un envasado gaseoso con MAP, extendiendo su vida útil pos cosecha y monitoreando sus propiedades fisicoquímicas. Las concentraciones de gases iniciales son: 5.5% de O<sub>2</sub> con 8.1% de CO<sub>2</sub> y 9.9% de O<sub>2</sub> con 4.5% de CO<sub>2</sub>, el control y el envase contienen 3 g de óxido de magnesio en 12 días de almacenamiento a 8°C y 70% HR.

Sin embargo, el mismo autor afirma que las condiciones óptimas de almacenamiento para la seta ostra en estado fresco son de 0°C y 95% de HR para extender su vida de anaquel. Esto no puede ser aplicado para el almacenamiento en gabinetes, los cuales son usados para stocks a bajas temperaturas de productos perecederos, debido a que en mostrador se conservan entre 6-10°C.

Por lo tanto, la vida útil de la seta en almacenamiento en supermercados es alrededor de 4 días bajo esas condiciones.

Según varios autores, el empaquetado en atmósfera modificada (MAP), es reportado por ser el método más económico y efectivo para extender el tiempo de vida útil de las setas.

El mejor método de almacenamiento en frío de las setas ostra es conservándose entre 8 y 10 °C en recipientes envueltos con película de PVC. Esto se llama “almacenamiento en película de PVC”. El envolver a las setas con esta película de plástico con microporos o perforaciones puede mejorar su vida de almacenamiento, ya que se reduce la pérdida de humedad y preserva la calidad de las setas. En los recipientes envueltos, los niveles de CO<sub>2</sub> aumentan y los de O<sub>2</sub> disminuyen debido a la respiración de la seta. La composición del gas puede ser modificada por la respiración de la seta dentro del empaque (Kim, 2005).

### 1.7 RELEVANCIA DEL PROYECTO

Actualmente en nuestro país, los estudios se han enfocado a evaluar la viabilidad de producción de la seta ostra (Pérez, 2002), debido a la relativamente temprana reincorporación de la misma al sistema productivo nacional. Los estudios más recientes se han orientado a lograr su correcto almacenamiento pos cosecha, evaluando los efectos de las condiciones de temperatura, humedad relativa, los posibles daños por frío e incluso del empleo de atmósferas modificadas controlando la concentración y presión de gases.

Hasta el momento, no existen registros de la incorporación de recubrimientos a base de ceras en ésta seta, menos de partículas de talla nanométricas que pudieran preservar los atributos de calidad de la misma. Se ha demostrado que los recubrimientos con base en ceras permiten la respiración y retrasan la migración de agua gracias a las barreras que se forman, ya que los recubrimientos lipídicos fueron desarrollados específicamente para limitar la migración de la humedad de los alimentos.

El usar NLS como recubrimiento nunca produce un incremento en la calidad del producto, simplemente frenan el proceso de deterioro natural.



La seta ostra posee hongos en su superficie de manera natural, la mayor parte de las especies de hongos que deterioran los alimentos presentan una completa dependencia del  $O_2$  y se muestran sensibles a los niveles elevados de  $CO_2$  (Parry, 1995), en base a esto, se justifica el empleo de MAP y en particular la concentración de mezcla de gases propuesta (5%  $O_2$ , 10%  $CO_2$  y 85%  $N_2$ ), sin embargo, las NLS no son capaces de inhibir el crecimiento de mohos, y se encuentran dependientes de la carga inicial de microorganismos y del control de la cadena de frío para impedir su desarrollo.

Con la MAP se limita la exposición de la seta al  $O_2$ , por lo tanto se reducen los procesos de oxidación de diversos sustratos respiratorios (protegiendo las vitaminas y la pérdida de azúcares) y por su puesto la ocasionada por la acción enzimática, reduciendo la respiración se reduce la transpiración, ya que existe liberación de moléculas de agua como subproducto durante el proceso respiratorio. La MAP permite el apilado higiénico de los envases, cerrados y libres de goteo, olor del producto (Parry, 1995) y no deja residuos en el producto tratado.

# METODOLOGÍA

---

Capítulo II

**CAPÍTULO II**

---

**2014**

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

### 2.1 Planteamiento de objetivos

#### 2.1.1 *Objetivo General*

Establecer las condiciones de envasado que permitan disminuir el índice de decaimiento, mediante la evaluación del efecto de la aplicación de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) y/o atmósfera modificada activa (MAP) sobre los cambios en transpiración, respiración y polifenoloxidasas en setas (*Pleurotus ostreatus*).

#### 2.1.2 *Objetivo particular 1*

Determinar los cambios en velocidad de respiración, transpiración y actividad de polifenoloxidasas en setas (*Pleurotus ostreatus*) por efecto de la aplicación de atmósfera modificada activa envasadas en película plástica y almacenadas en refrigeración.

#### 2.1.3 *Objetivo particular 2*

Evaluar la velocidad de respiración, transpiración y actividad de polifenoloxidasas en setas (*Pleurotus ostreatus*) envasadas en película plástica, por efecto de la aplicación de nanopartículas lipídicas sólidas y almacenadas en refrigeración.

### 2.1.4 Objetivo Particular 3

Establecer si existe un efecto sinérgico de empleo entre nanopartículas lipídicas sólidas y atmósfera modificada activa en la conservación refrigerada de setas y su correlación con las condiciones de envasado sin ambas aplicaciones.

### 2.2 Selección de variables

Variable de respuesta: Actividad respiratoria, velocidad de transpiración y actividad polifenoloxidasas.

Variables independientes: Humedad relativa ( $90\pm 5\%$ ), temperatura de conservación ( $4\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), masa de producto a envasar (100 g), envase plástico de almacenamiento.

### 2.3 Diseño Experimental

Con la finalidad de evaluar la diferencia existente entre los diferentes tratamientos en función al tiempo de almacenamiento se realizaron análisis de varianza de dos vías con  $P = 0.05$ , realizando una prueba de Tukey para diferenciación de medias. A todos los tratamientos se les determinó la desviación estándar.

### 2.4 Desarrollo experimental

#### 2.4.1 Reactivos

- ✓ Agua destilada Milli-Q<sup>®</sup> (Milipore<sup>®</sup>, USA-Bedfore, MD).
- ✓ Cera de candeuba<sup>®</sup> (multiceras<sup>®</sup>, México).
- ✓ Desinfectante base Hipoclorito de sodio, Glicerol adquiridas en Cosmopolitan. Tlanepantla, Edo. de Méx, Goma xanthana (Sigma Aldrich, USA).
- ✓ Polivinilalcohol (Sigma, Steinheim, Alemania).
- ✓ Propilenglicol (99%) (Sigma Aldrich, USA).
- ✓ Sílica gel.



### 2.4.2 Recepción y control del material biológico

Se emplearon setas *Pleurotus ostreatus* provenientes de una asociación de productores hortofrutícolas ubicada en el municipio de Tepetzotlán, Estado de México (ver figuras 8a y 8b).

Se controló la temperatura a  $4 \pm 1$  °C y la HR a  $90 \pm 5\%$  desde su recepción, hasta su acondicionamiento para envasado en laboratorio bajo condiciones asépticas de manipulación, eliminando materia orgánica propia del sustrato de cultivo (ver figura 10), así como cualquier posible contaminante. En la figura 9a se muestra encerrados en círculos la presencia de mosquitos del género *Heteropeza*, ubicados principalmente en las laminillas de la seta).



Figuras 8a y 8b. Recepción de las setas ostra.

Fuente: Autoría propia.



Figuras 9a y 9b. Setas ostra con presencia de mosquito del género *Heteropeza*.

Fuente: Autoría propia.





Figura 10. Presencia de paja empleada como sustrato de cultivo.

Fuente: Autoría propia.

### ***2.4.3 Caracterización de la cámara frigorífica***

La caracterización de la cámara frigorífica (refrigerador comercial marca Glacial con motocompresor MP serie III) se realizó con el apoyo de un indicador de HR y T. EasyLog USB, se determinó la temperatura de operación de  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  y humedad relativa del entorno de  $90 \pm 5 \%$ , se monitoreó a lo largo de una semana adicionando agua en bandejas para humidificar el medio hasta que se logró la estabilidad de temperatura y humedad.

### ***2.4.4 Preparación de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS)***

La preparación se efectuó en base a la formulación de NLS propuesta por Guerrero (2011) por el método de homogeneización a alta velocidad de corte en caliente en medio acuoso (equipo mostrado en la figura 11).



Figura 11. Dispositivo Rotor-Estator de alta velocidad.

Fuente: Autoría propia.

### *2.4.5 Tamaño de partícula e índice de polidispersión*

El tamaño de partícula se midió por medio de un aparato de difusión integrada de luz a través de un Z-sizer Nano Series Malven, Inglaterra; con un dispositivo de dispersión laser con un ángulo de 90° durante 180 segundos, a una temperatura de 25 °C en una celda de cuarzo. Cada muestra debió ser diluida en agua Mili Q® para asegurar que el número de partículas contadas por segundo están dentro del rango de sensibilidad del instrumento, las pruebas se realizaron por triplicado (Artés, 2006). Empleando el mismo instrumento es posible determinar el Índice de polidispersión correspondiente al tamaño de partícula obtenido, el valor menor de este parámetro indica que existe una mayor probabilidad a que las partículas lipídicas se aglomeren, provocando un medio inestable, el efecto contrario se obtiene con un mayor valor de este índice, ya que este índice permite obtener una idea de la diversidad de moléculas dispersas en el medio. (González, 2011).

### *2.4.6 Medición de la tasa de respiración*

La determinación de la tasa de respiración, se efectuó por el método estático, que proporciona un ambiente hermético (ver figura 12). Se parte de un volumen de aire conocido dentro del contenedor impermeable, así como el volumen, la masa (50 g) y área de la muestra. Se colocaron 3 frascos de vidrio con un volumen de agua equivalente al 10% del total de la capacidad del frasco con el objetivo de mantener la humedad relativa a 90% (la seta no debe de estar en contacto con el agua en ningún momento), posteriormente se midieron los cambios en la concentración de O<sub>2</sub> disponible y la concentración de CO<sub>2</sub> emitido por la seta en función del tiempo (cada 2 horas aproximadamente) empleando un analizador de gases modelo 902D Dual Trak (ver figura 13). La prueba se realizó por triplicado.

Para obtener el valor de TR, se empleó la ecuación 1, donde la cantidad de gas en el espacio libre de cabeza del envase se cuantifica en ml (resultante del volumen total del recipiente menos el volumen desplazado por la muestra en ml) y se encuentra en función de la concentración del mismo gas, este valor es

## METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

dividido por la cantidad de muestra que a su vez se multiplica por el tiempo transcurrido de almacenamiento en horas. Para posteriormente obtener el coeficiente respiratorio QR por medio de la relación de CO<sub>2</sub> desprendido y O<sub>2</sub> absorbido.

$$TR = \frac{ml \text{ de gas}}{(Kg)(h)} \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

$$\text{Coeficiente respiratorio (QR)} = \frac{CO_2 \text{ desprendido}}{O_2 \text{ absorbido}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2})$$

(Pérez, 2009)



Figuras 12a y 12b. Preparación del método estático para la determinación de la tasa de respiración Fuente: Autoría propia.

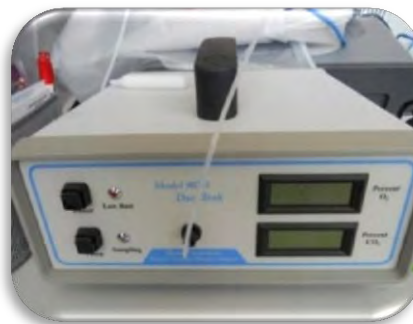


Figura 13. Analizador de gases modelo 902D Dual Trak Fuente: Autoría propia.

### 2.4.7 Medición de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) de la seta ostra

Se realizó por medio de un envase impermeable de vidrio en el que se colocó un indicador de humedad relativa y temperatura EasyLog USB previamente

## METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

programado a un intervalo de tiempo de 2 horas hasta las 72 horas, para registrar la variación de humedad relativa interna en un volumen conocido de aire seco, empleando Sílica gel como desecante, registrándose además la variación de peso de las setas con respecto al tiempo. Se colocan 3 frascos en refrigeración y 3 frascos a temperatura ambiente para contrastar la pérdida de peso de la seta con 50 g de muestra y 50 g de Sílica gel.

Para el cálculo del porcentaje de pérdida de peso de la seta se empleó la siguiente ecuación reportada por González (2011).

$$\% PP = \left( \frac{P_i - P_f}{P_i} \right) * 100 \dots\dots\dots (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

(Kim, 2006)

% PP: Porcentaje de pérdida de peso.

Pi: Peso inicial de la muestra (g).

Pf: Peso final de la muestra (g).



Figura 14. Medición de WVP.

El mismo método del desecante nos permite determinar la Permeabilidad al Vapor de Agua (WVP por sus siglas en inglés) de las setas, cuantificando el índice de movimiento o transferencia de vapor de agua a través de la seta al entorno, mediante los cambios de peso realizando una regresión lineal de la ganancia de peso del material desecante (sílica gel) contra tiempo y calculando la pendiente, misma que al dividirse entre el área de la seta resulta el Índice de Permeabilidad al Vapor de Agua (WVTR por sus siglas en inglés), esto para conocer el valor al final del periodo de almacenamiento, dividiendo cada

ganancia de peso con respecto al tiempo entre el área de la seta para conocer el WVTR a cada tiempo. Consecuentemente el cociente que resulta de dividir el WVTR entre las presiones parciales define la permeabilidad, misma que al multiplicarse por el espesor de la seta dará la WVP (Trejo et al, 2001).

$$WVTR \text{ o } CTVA = \frac{\frac{dm}{dt}}{\frac{1}{A}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 4})$$

$$\text{Permeabilidad} = \frac{WVTR}{(PA2-PA1)} \dots\dots\dots (\text{Ec. 5})$$

$$WVP = (\text{Permeabilidad})(\text{Grosor}) \dots\dots\dots (\text{Ec. 6})$$

(Trejo et al, 2001)

Dónde:

WVTR: Índice de Permeabilidad al Vapor de Agua ( $\text{g}/\text{m}^2 \text{ hrs}$ ).

$dm/dt$ : Diferencial de peso de la muestra con respecto al tiempo (g).

A: área de la muestra ( $\text{m}^2$ ).

PA2: Presión parcial del medio de contacto con la seta (KPa).

PA1: Presión parcial ejercida por la sílica gel (KPa).

Grosor: Grosor de la seta (m).

Permeabilidad: ( $\text{g}/\text{m}^2 \text{ hrs KPa}$ ).




### 2.4.8 Determinación del índice de decaimiento

Las setas en estado fresco tienen que estar sanas, es decir, sin presentar algún grado de descomposición, estas deberán estar prácticamente limpias, firmes, no dañadas, exentas en lo posible de daños producidos por larvas y tener olor y sabor propios de su especie. Se entiende por seta u hongos dañados los hongos a los que falta  $\frac{1}{4}$  del sombrero, por hongos deteriorados a los hongos parduscos o podridos como consecuencia del ataque de microorganismos y/o mohos. Hongos dañados son aquellos que tienen agujeros producidos por larvas y los gravemente dañados a aquellos que tienen cuatro o más agujeros producidos por larvas (CODEX STAN 38, 1981).



Para establecer el índice de decaimiento, se tomó como parámetro fundamental la observación en el avance del deterioro natural de la seta con valores del 1 al 5. El cuadro 12 muestra el índice de decaimiento de la seta según el nivel y los cambios que va presentando.

Cuadro 12. Índice de decaimiento de la seta *ostra*.

| NIVEL | CAMBIOS PRESENTADOS   | FOTO  |
|-------|---|---|
| 1     | Color blanco con tonos crema, de cutícula suave al tacto y blando ante la compresión en sombrero y pie, de aroma fuerte y ligeramente a anís consecuencia de la liberación de formaldehidos, el sombrero y laminillas intactas y espaciadas unas de otras de color blanco o crema |  A photograph of a fresh, white mushroom with a smooth, slightly gilled cap and a short stem. The mushroom is centered on a light blue background. A small number '1' is visible at the bottom of the stem.                 |
| 2     | Aparición de manchas café en ciertas zonas con oscurecimiento del color blanco en los bordes del sombrero.  |  A photograph of a mushroom showing early signs of decay. The cap has some brownish spots, particularly towards the edges, and the gills appear slightly discolored.   |
| 3     | Oscurecimiento en un 20% del sombrero y pie, con un incremento en la cantidad de manchas cafés (10-20%) de mayor intensidad, agrietamiento superficial del sombrero de creciente severidad en los bordes, susceptibilidad de ruptura tanto en el sombrero como en las laminillas. |  A photograph of a mushroom in a more advanced stage of decay. The cap is significantly discolored with large brown areas, and the gills are dark and appear to be breaking apart. The stem also shows some discoloration. |

4

Reducción de tamaño por deshidratación con consecuente pérdida de peso, ablandamiento de pie y sombrero con tinción amarillenta y manchas café oscuro en un 50-80% de la superficie. Ya es apreciable una cantidad considerable de espora blanca cremosa que en gran número forman masas de polvo, de color blanco con cierto tono lila-grisáceo en determinadas zonas tanto del sombrero como del pie.



Figura 18

5

Ruptura de las laminillas y los extremos del sombrero con reducción de tamaño y peso, color amarillento prácticamente generalizado, manchas café fuerte en 80-100% de la seta pero de mayor tonalidad en los extremos del sombrero y del pie, la espora cubre gran parte del pie y la región central del sombrero con aspecto algodonoso



Figura 19

### ***2.4.9 Determinación de la polifenoloxidasas (PFO)***

Se llevó a cabo por medio de un espectrofotómetro Genesys 10SUV-visible Thermo Scientific. La espectrofotometría es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. El fundamento se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV-visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de

biomoléculas (Diaz et al, 2012) y a la característica proteica de la polifenoloxidasas.



Figura 20. Espectrofotómetro 105-UV-V15 Thermo Scientific.

### *a) Extracción de la polifenoloxidasas (PFO)*

La extracción de la PFO se efectuó de acuerdo al método realizado por Galindo (2011). Se tomaron 30g de muestra congelada con 24 horas de anticipación para detener la actividad enzimática, colocándose en un baño de hielo para mantener la temperatura lo más baja posible y posteriormente molerse con un molino Blender. La molienda se llevó a cabo durante 2-3 minutos con la adición de 20 mL de buffer fosfato 0.2M (pH 6.5) con solución de Tritón al 1% (v/v) (Guerrero, 2012). Se filtró en frío, el producto del filtrado se centrifugó a 4500 rpm durante 30 min, al transcurrir el tiempo se extrajo el sobrenadante del producto centrifugado, se le agregó acetona grado reactivo analítico para precipitar la enzima y se volvió a centrifugar durante 15 minutos a 400 rpm (Muñoz et al, 2007).

### *b) Actividad enzimática*

La curva patrón se efectuó con seroalbúmina bobina a concentración inicial 0.17g/20ml con diluciones de 50, 100, 200, 300, 400, 500  $\mu$ g. La determinación de la actividad de la PFO se realizó siguiendo la metodología de Galindo (2011), se midió la conversión de catecol a o-benzoquinona (forma oxidada del catecol) que es un aceptor de electrones en la respiración aerobia y tiene su máximo de absorbancia a 420 nm. Se efectuó el gráfico de absorbancia contra tiempo en minutos para cada muestra de cada objetivo y se calculó el valor de la pendiente

y del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) mediante la regresión lineal de los primeros tres puntos, donde la pendiente representa la tasa o velocidad de cambio del catecol a o-benzoquinona por minuto y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) el grado de asociación lineal entre el tiempo y la absorbancia.

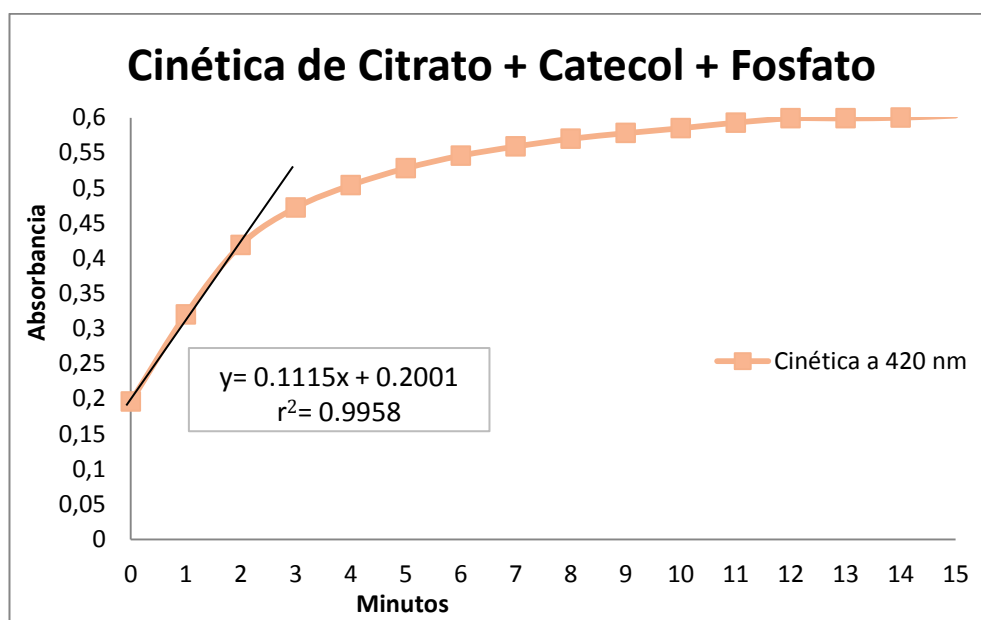


Figura 21. Degradación de la mezcla de buffer citrato-fosfato, buffer fosfato y catecol como sustrato enzimático.

El valor de la pendiente se utilizó como preliminar para la siguiente secuencia de cálculo (Guerrero, 2011) .

$$\text{Unidades de actividad (U)} = \frac{\text{Pendiente obtenida de la porción lineal de la curva}}{0.001} \dots (\text{Ec. 7})$$

$$\text{Actividad Relativa } \left( \frac{\text{U}}{\text{ml}} \right) = \frac{\text{Unidades de actividad}}{\text{ml de enzima utilizada}} \dots (\text{Ec. 8})$$

(Guerrero, 2011)

### 2.4.10 Medición de color como indicador de oscurecimiento enzimático.

El análisis se realiza por medio de procesamiento y promedio de imágenes, mediante el software Adobe Photoshop® CS5 Extended (Padrón, 2012). El

análisis se efectúa apoyándose en el espacio de color CIE de coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , cuyos valores se obtienen a partir de los valores triestímulo XYZ (los colores estimulan 3 tipos de conos en la retina humana) (Padrón, 2012). Se eliminan las secciones brillosas y menos iluminadas de la muestra, para homogenizar el color de la misma y así poder promediarlo, ya que este promedio es el evaluado a través de las coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Las imágenes se capturaron dentro de una cámara oscura para controlar la luz incidente en la seta (figuras 22 y 23).

Los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en una muestra de alimento, designan a:  $L^*$ , la luminosidad variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco;  $a^*$ , es uno de los ejes horizontales y representa una medida del contenido de color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos) y  $b^*$ , es el otro eje horizontal, perpendicular al eje  $a^*$ , indica el contenido de color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos) (Guerrero, 2012). Kim (2006) reportó que los parámetros ideales para hongos blancos son  $L^*= 97$ ,  $a^*= -2$  y  $b^*= 0$ , mismo que aplican perfectamente para la seta ostra.

Se efectuó el cálculo del Índice de Oscurecimiento (IO), y el cambio de color normalizado ( $\Delta E$ ), que son parámetros de control de calidad (Guerrero, 2012).

$$x = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.012b^*) \dots \dots (\text{Ec. 9})$$

(Guerrero, 2012)

$$IO = \frac{100(x \cdot 0.31)}{0.172} \dots \dots (\text{Ec. 10})$$

(Oro et al, 2012)

Dónde:

IO: Índice de Oscurecimiento.

X: Factor.

$a^*$ : Coordenada cromática en el eje de las abscisas  $a^*= (+)$  rojo,  $a^*= (-)$  verde.

$b^*$ : Coordenada cromática en el eje de las ordenadas  $b^*= (+)$  amarillo,  $b^*= (-)$  azul.

$L^*$ : Valor de luminosidad.



## METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

El valor numérico de la diferencia de color  $\Delta E$  indica el grado de cambio de color en comparación con los valores de color ideal del hongo y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta E = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2} \dots\dots(\text{Ec. 11}) \quad (\text{Kim, 2006})$$



Figura 22. Cámara negra.



Figura 23. Fotografía de la seta en cámara negra.

### ***2.4.11 Carga térmica a retirar por medio de refrigeración***

Se calcularon los valores de calor vital a retirar por refrigeración de cada muestra en las determinaciones preliminares, envasado preliminar y los objetivos particulares, con la finalidad de detectar si el empleo de NLS y/o MAP altera la carga térmica durante el almacenamiento. Es importante conocer la densidad del gas, para este caso se empleó la densidad del  $\text{CO}_2$  evaluada a  $0^\circ\text{C}$  y 1.03 bares. Se usó la siguiente ecuación para realizar el cálculo de calor vital:

$$\text{Calor Vital (Kcal/1000Kg/24h)} = (\text{mgCO}_2/\text{Kg}\cdot\text{h}) \cdot (61.2) \dots\dots(\text{Ec. 12})$$

Calor Vital (Kcal/1000Kg/24h) / 3024 (Kcal/h) = Toneladas de  
Refrigeración.....(Ec. 13) (Kader, 1992)

### 2.4.12 Envasado en atmósfera modificada activa

Se envasó a concentración de 10% CO<sub>2</sub>, 5% O<sub>2</sub> y 85% N<sub>2</sub>, tanto para el caso de el envasado únicamente en MAP, como para la combinación de MAP-NLS. Se utilizó una envasadora marca Multivac<sup>®</sup> y un mezclador de gases marca PBI Dansensor<sup>®</sup>.



Figuras 24. Envasadora Multivac<sup>®</sup> y figura 25. Mezclador de gases Dansensor<sup>®</sup>.

### 2.4.13 Procedimiento de envasado

Para llevar a cabo cada objetivo particular, el envasado de la seta ostra se efectuó bajo las tres condiciones previamente mencionadas, a continuación se demostrará el procedimiento de envasado de cada objetivo en particular y se indicarán los tamaños del envase y los materiales que lo componen, así como sus propiedades y tamaños del contenedor con carbón activo.

#### a) Especificación técnica del material para envasado

**Nombre comercial:** VACUUM BAG (3MIL).

**Material:** COPA/TIE/MPE/TIE/PA/TIE/MPE; 7 layer Co-ex film, PA 20% + TIE 24% + MPE 56%.

**Empresa:** ITISA<sup>®</sup>.

Debido a las propiedades de alta barrera a los gases y al vapor de agua que posee el envase, se optó por emplear carbón activo como absorbedor de CO<sub>2</sub>

(se debe de tomar en cuenta que se desconoce la permeabilidad al  $\text{CO}_2$ ), ya que la alta concentración de este gas desprendido por la seta ostra no se puede intercambiar con el entorno exterior del material de envasado (ver cuadro de propiedades y especificaciones del material de envasado en el Anexo I).

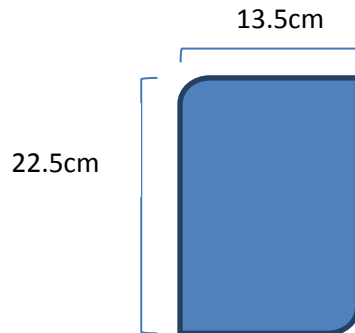


Figura 26. Dimensiones del envase.

Con estas dimensiones, la capacidad neta es de 994 ml (0.94 L), un área de  $895.5 \text{ cm}^2$ , como la densidad relativa de la seta es de 0.233 Kg/ml, se tiene una capacidad de envasado de 298.2g al 100%, y de 211.44g con el 30% como espacio libre de cabeza. Sin embargo, se optó por sólo envasar a la mitad de la capacidad para evitar posibles daños mecánicos en la seta.

### *b) Especificación técnica del contenedor de carbón activo*

Se introdujo en el material de envasado un sobre de papel filtro con 20 gramos de carbón activo en polvo, el cual fija el  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono o ácido carbónico) por medio de absorción para minimizar en la medida de lo posible su concentración dentro del envase.

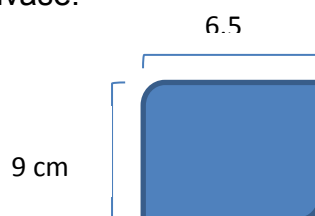


Figura 27. Dimensiones del sobre con carbón activo utilizado como absorbedor de  $\text{CO}_2$ .

Para estas dimensiones se logra un área total de  $35.1 \text{ cm}^2$  y una capacidad de 0.035L.



Figura 28. Contenedor de carbón activo previo y figura 29. Contenedor de carbón posterior al envasado.

El carbón activo es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar al grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de  $1500 \text{ m}^2$  por gramo de carbón. Es sometido a un tratamiento de activación con el fin de incrementar su área superficial hasta 300 veces debido a la formación de poros internos. Los microporos (menores a 2 nm) le confieren la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos (entre 2 y 50 nm) y macroporos (mayores a 50 nm) son necesarios para la retención de moléculas de gran tamaño, como pueden ser colorantes o coloides, y favorecen el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido (Sevilla, 2012).

Por su naturaleza apolar retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular (hidrocarburos, fenoles, colorantes, etc.), sustancias como  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  y agua no son retenidas a temperatura ambiente. Cuanto más baja sea la temperatura, mejor será la capacidad de adsorción. Cuanto mayor sea la concentración, mayor será el requisito de carbón. Cuanto mayor sea la presión, mayor será la capacidad de adsorción. Cuanto más baja se la humedad, mayor será la capacidad de adsorción (Sevilla, 2012)

Cuanto más fina es la partícula de un cierto carbón activo, mejor es el acceso al área superficial y más alta es la tasa de cinética de adsorción (Sevilla, 2012), este tipo de partícula es el recomendado para sistemas gaseoso y es el que se empleó durante la experimentación. Teóricamente, este tipo de carbón activo retiene entre 0.2 y 0.8 Kg de contaminante por kg de carbón, sin embargo, posee una baja capacidad de adsorción para el  $\text{CO}_2$  (Carbotecnia S.A. de C.V., 2014)



### 2.4.13.1 Objetivo particular 1 (Envasado en MAP)

Se realizó la selección de la materia prima y se estableció su posición en la escala de índice de decaimiento mediante inspección visual, previo al envasado se sometió a una desinfección con solución de hipoclorito de sodio (0.1-0.2% v/v) por medio de un atomizado, manteniendo un tiempo de contacto de 2 min aproximado y se envasó en MAP mediante una envasadora Marca Multivac® con inyección de gases proporcionados por INFRA® en concentraciones de 5% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> y 85% N<sub>2</sub>, todos los envases contenían un sobre de carbón activo en su interior y se almacenaron a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  y una de HR a  $90 \pm 5\%$ .

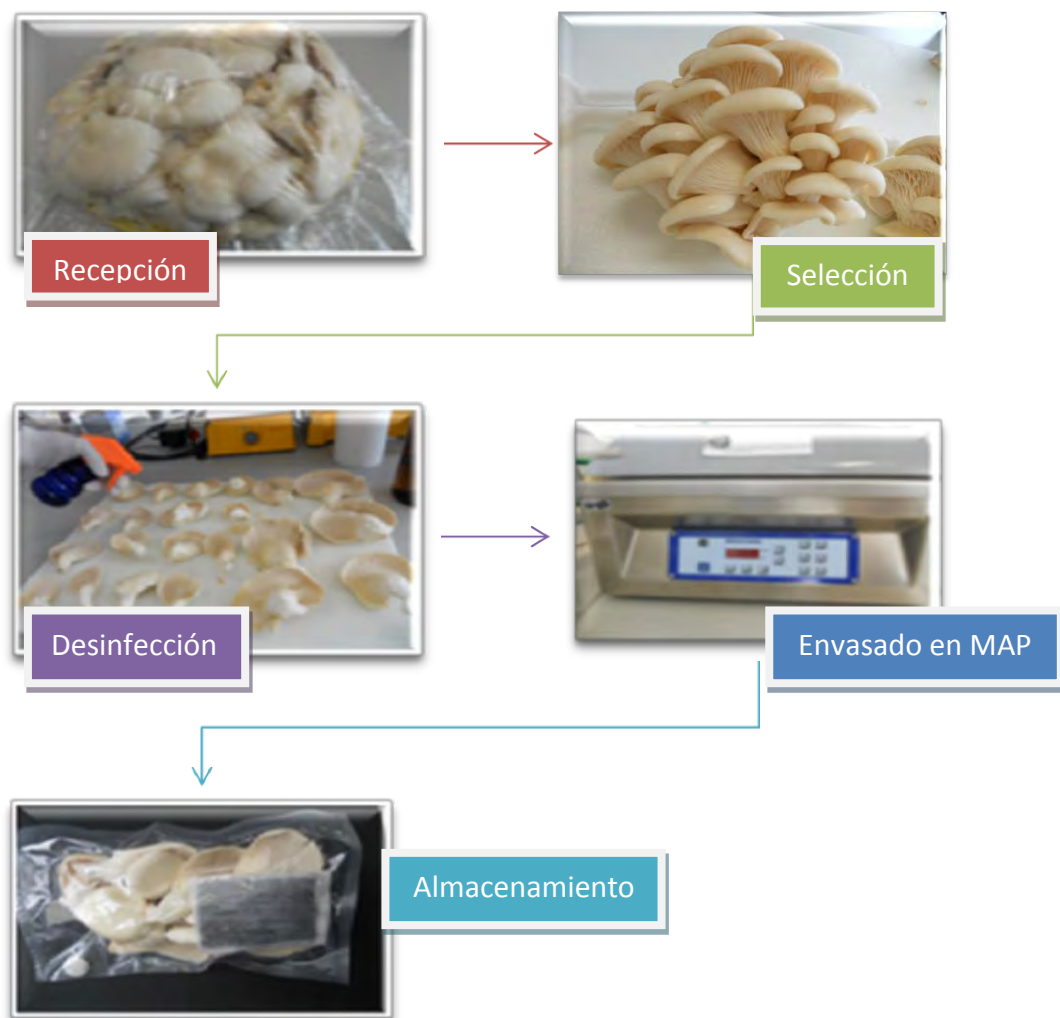


Figura 30. Metodología de envasado en MAP.



### 2.4.13.2 Objetivo particular 2 (Recubrimiento de NLS)

Se realizó la selección de la materia prima y se estableció su posición en la escala de índice de decaimiento mediante inspección visual, previo al envasado se sometió a una desinfección con solución de hipoclorito de sodio (0.1-0.2% v/v) por medio de un atomizado, manteniendo un tiempo de contacto de 2 min aproximadamente y se envasó empleando NLS como recubrimiento, su aplicación se efectuó por medio de una brocha de cerda fina procurando emplear la misma cantidad de NLS para cada seta y extendiéndola homogéneamente en toda la seta, se envasó en MAP mediante una envasadora marca Multivac® a concentración de gases ambiental ( $N_2$  78.03% ,  $O_2$  20.99%,  $CO_2$  0.03% y Ar 0.94%) todos los envases contenían en su interior un sobre con 20g de carbón activo y se almacenaron a  $4 \pm 1^\circ C$  y una de HR a  $90 \pm 5\%$ .



Figura 31. Metodología de envasado empleando NLS como recubrimiento.

### 2.4.13.3 Objetivo particular 3 (Envasado en MAP con recubrimiento de NLS)

Se realizó la selección de la materia prima y se estableció su posición en la escala de índice de decaimiento mediante inspección visual, previo al envasado se sometió a una desinfección con solución de hipoclorito de sodio (0.1-0.2% v/v) por medio de un atomizado, manteniendo un tiempo de contacto de 2 min aproximado y se envasó empleando NLS como recubrimiento en MAP mediante una envasadora Marca Multivac® con inyección de gases proporcionados con concentraciones de 5% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub> y 85% N<sub>2</sub>, todos los envases contenían un sobre carbón activo en su interior. Se almacenaron a  $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$  y una de HR a  $90 \pm 5\%$ .

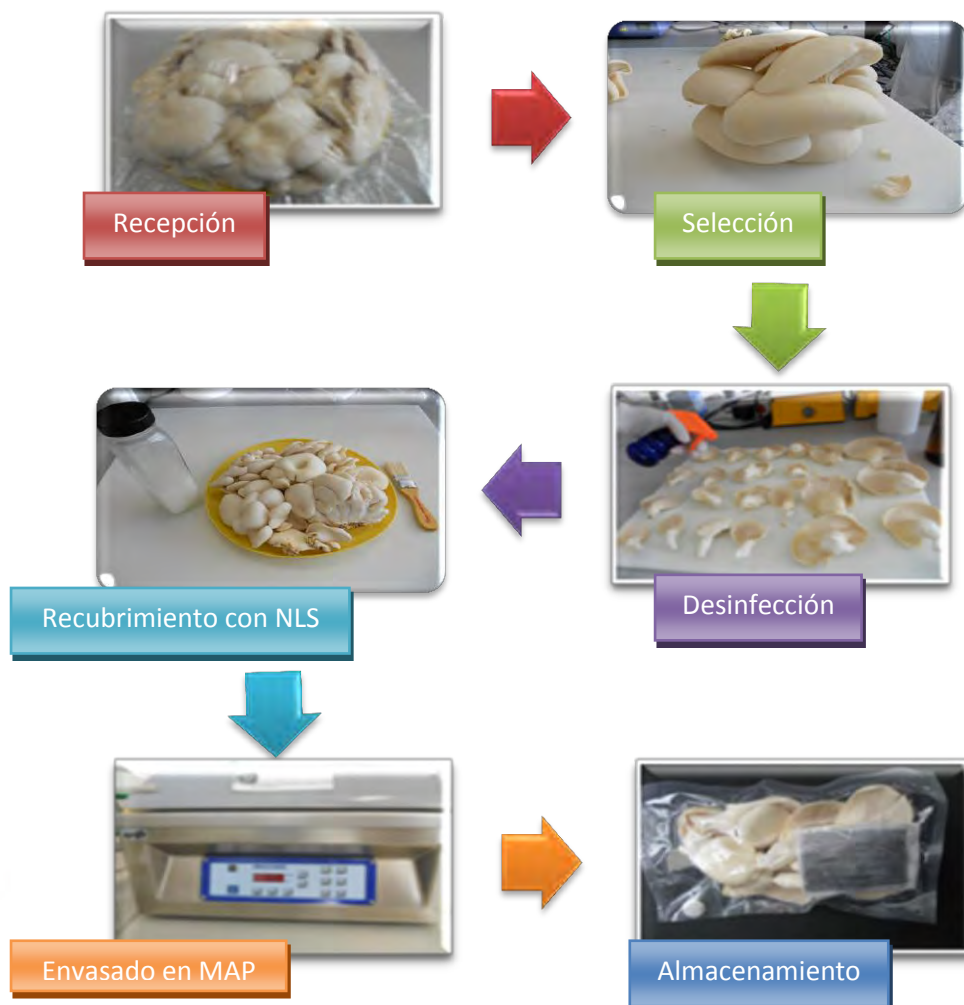


Figura 32. Metodología de envasado empleado NLS como recubrimiento y envasado en MAP.

### 2.4.13.4 Envasado de la corrida blanco o patrón

Para esta corrida comparativa, se realizó la selección de las setas y se estableció su posición en la escala de índice de decaimiento por medio de inspección visual, se sometieron a desinfección de hipoclorito de sodio (0.1-0.2% v/v) por medio de un atomizado, manteniendo un tiempo de contacto de 2 min aproximado y se envasó por medio de una envasadora marca Multivac © para posteriormente ser almacenadas a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  y HR a  $90 \pm 5\%$ .



Figura 33. Metodología de envasado de la corrida blanco (CB).



The background of the page is an abstract composition of thin, overlapping lines and dots. The lines are primarily light blue and black, creating a sense of movement and depth. Some lines are straight, while others are curved or spiral-like. Small black dots are scattered throughout, some appearing to be connected by thin lines, suggesting a network or data structure. The overall effect is a complex, organic pattern that fills the page.

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

Capítulo III

### CAPÍTULO III ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Actividades preliminares

La caracterización y establecimiento de condiciones de refrigeración dieron como resultado el ajuste de temperatura a 4°C, obteniendo un valor mínimo de 2°C y un máximo de 5°C (esta variación es a consecuencia del intervalo de temperatura mínima de diseño de la cámara de almacenamiento y de las aperturas y cierres propias del uso. La temperatura de rocío ( $T_r$ ) registrada fue de 3.3°C. El intervalo de humedades relativas (% HR) tuvo un mínimo de 88.5%, una media de 95.5 % y un máximo de 96.2 %. De tal manera que con esto se garantiza el control de las condiciones de almacenamiento para cada actividad y objetivo planteado.

##### *3.1.1 Tamaño de partícula e índice de polidispersión de NLS*

El tamaño de partícula promedio obtenido para las NLS empleadas durante la experimentación fue de 647 nm, con un índice de polidispersión de 0.37, indicativo de que la mayor parte de las partículas se encuentran en un rango estrecho de tamaños de partícula (Guerrero, 2011).

##### *3.1.2 Medición de la tasa de respiración (TR)*

En la figura 34 se muestran los cambios en concentración de  $O_2$  durante 9 h, posterior a este tiempo se observa el agotamiento del oxígeno, lo que no corresponde a la respiración normal del producto, ya que se realizó en un ambiente hermético, pues la finalidad fue conocer la velocidad a la cual la seta ostra consume el  $O_2$  y produce  $CO_2$ .



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Nota: Las condiciones de envasado para todas las actividades preliminares son: almacenamiento ambiental ( $T=29^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{HR}=32\%$ ,  $T. \text{ de rocío}=28.2^{\circ}\text{C}$ ,  $P_p=3.800 \text{ KPa}$ ) y en refrigeración ( $T=4.0^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{HR}=95.5\%$ ,  $T. \text{ de rocío}=3.3^{\circ}\text{C}$ ,  $P_p=0.700 \text{ KPa}$ ).

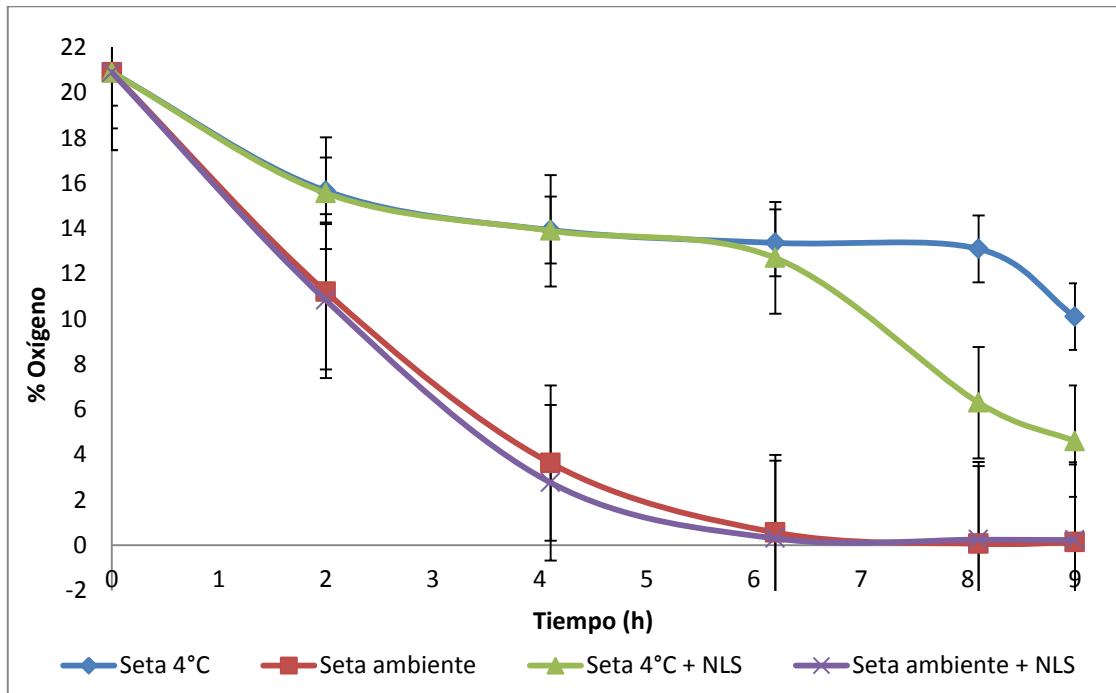


Figura 34. Concentración de  $\text{O}_2$  en función del tiempo, empleando o no NLS en condiciones de almacenamiento ambiental y en refrigeración.

Se observa que en la seta refrigerada, la baja temperatura contribuye a regular la respiración hasta las 8 h de almacenamiento, momento en el que el sistema estático empiezan los cambios metabólicos que promueven un incremento en la velocidad de respiración a consecuencia del estrés celular por efecto de la concentración de oxígeno presente en el medio, resaltando además que el empleo de un recubrimiento con NLS a la concentración manejada provoca un cambio en la atmósfera superficial que promueve un incremento en la actividad respiratoria del producto.

Las setas a temperatura ambiente con o sin NLS no presentaron un cambio estadísticamente significativo ( $P<0.05$ ), ya que aparentemente su utilización no contribuye a regular el consumo de oxígeno, manteniendo una concentración mínima de ese gas.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El monitoreo de los cambios en consumo de oxígeno es un parámetro de control sumamente importante, pues permite estimar el tiempo de vida útil, ya que la respiración produce cambios en la textura de la seta (Kim, 2005).

En la figura 35 se muestra la producción de CO<sub>2</sub> durante la determinación de respiración por método estático, observándose que la menor producción de CO<sub>2</sub> fue para las setas en temperatura de refrigeración y que las NLS generan mayor cantidad de CO<sub>2</sub> aún en refrigeración.

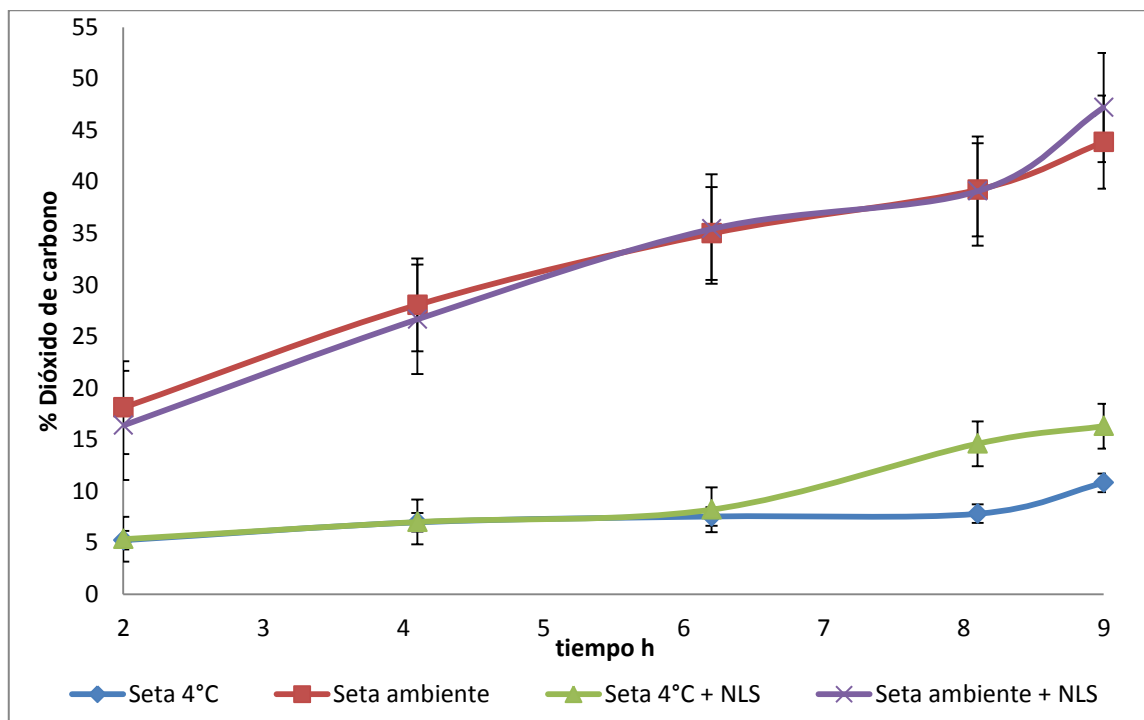


Figura 35. Concentración de CO<sub>2</sub> en función del tiempo, empleando o no NLS en condiciones de almacenamiento ambiental y en refrigeración.

La figura 36 muestra el gráfico de cubos correspondiente al diseño factorial general con factores: tiempo, tratamiento y temperatura. La variación en la concentración de O<sub>2</sub> por efecto de los factores, mostrando un efecto estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ), resaltándose que conforme aumenta la temperatura el consumo de oxígeno se incrementa considerablemente por lo que se obtiene el agotamiento del O<sub>2</sub> presente. La Figura 34 (b) muestra el cambio en CO<sub>2</sub>, observándose que la acumulación de este gas es mayor para las muestras recubiertas a temperatura ambiente, infiriéndose que a las 9 h de

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

cerrado el sistema hay modificaciones fisiológicas en la seta que promueven una respuesta en los cambios de CO<sub>2</sub>, sin embargo al tener disponibilidad de oxígeno la producción de CO<sub>2</sub> es menor para muestras recubiertas con NLS independientemente de la temperatura (2h).

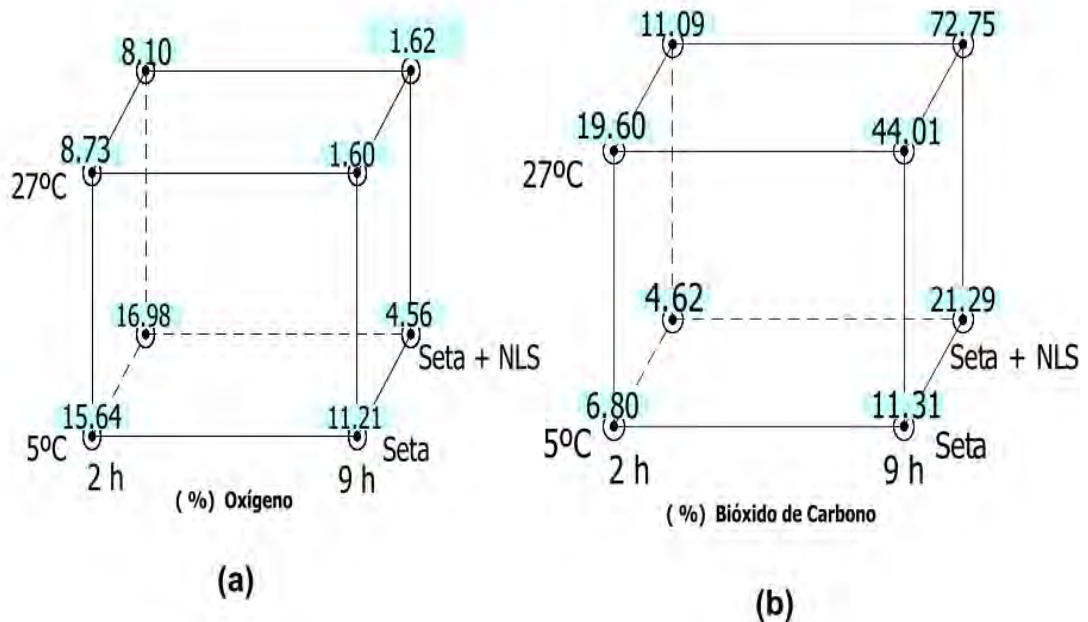


Figura 36. Cambios en concentración de gas en función de la temperatura y recubrimiento. (a) Oxígeno y (b) dióxido de carbono.

En el cuadro 13 se muestran las medias del cambio en tasa de respiración (TR) del O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> con y sin NLS en condiciones ambientales (T=29°C) y de refrigeración (T=4.0°C).

Cuadro 13. Tasa de respiración empleando o no NLS en refrigeración o a temperatura ambiental.

|                | TR                                       |  |  |  |
|----------------|--|--|--|--|
|                | AMBIENTAL (29° C)                        |  | REFRIGERACIÓN (4° C)                     |  |
|                | O <sub>2</sub> (ml O <sub>2</sub> /Kg*h) | CO <sub>2</sub> (ml CO <sub>2</sub> /Kg*h) | O <sub>2</sub> (ml O <sub>2</sub> /Kg*h) | CO <sub>2</sub> (ml CO <sub>2</sub> /Kg*h) |
| <b>Sin NLS</b> | 2.509                                    | 827.5349                                   | 190.5994                                 | 236.4358                                   |
| <b>Con NLS</b> | 4.3702                                   | 890.8178                                   | 86.7793                                  | 252.6522                                   |

Al final de las 9 horas de determinación, al tratarse de O<sub>2</sub> en condiciones ambientales se observa que con NLS aumenta la TR, al considerar al CO<sub>2</sub> es

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

claro que de la misma manera las NLS aumentan la TR con una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). Si nos referimos a la refrigeración, las NLS disminuyen la TR del  $O_2$  pero aumentan la TR del  $CO_2$  significativamente ( $P < 0.05$ ).

En la Figura 37, se muestran las variaciones en el QR en función a las condiciones de almacenamiento y el empleo de NLS. En ésta se observa que las setas almacenadas en refrigeración tienen un QR  $\approx 1$ , sin que exista diferencia estadísticamente significativa ( $P > 0.05$ ) entre el empleo o no de NLS durante las primeras 6 h, las setas a temperatura ambiente mostraron, como era de esperarse, un QR menor con NLS hasta las 8 horas, incrementándose después de este tiempo y superando a sin el uso de NLS, debido a que al usar NLS se aumenta el consumo de  $O_2$ , lo que promueve modificaciones metabólicas en el hongo.

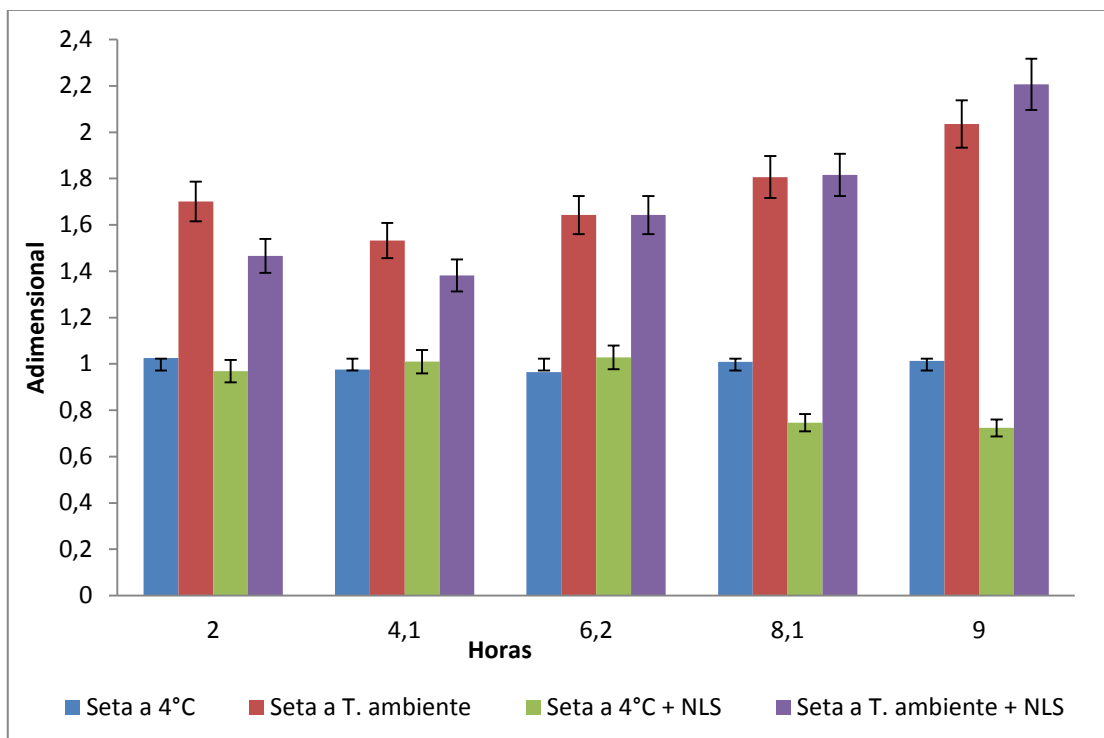


Figura 37. Coeficiente respiratorio en función al tiempo, empleando o no NLS en almacenamiento ambiental ( $T=29^{\circ}C$ ) y en refrigeración ( $T=4^{\circ}C$ ).

La figura 38 a) y b) muestran la textura de las setas al término de la prueba a temperatura ambiente y en un envase impermeable (condiciones extremas de almacenamiento), en la figura a) ocurre una modificación de color y se percibe

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

un tenue aroma alcohólico, lo que no ocurre en la figura b), en esta figura únicamente ocurre un ligero ablandamiento atribuible al CO<sub>2</sub>.

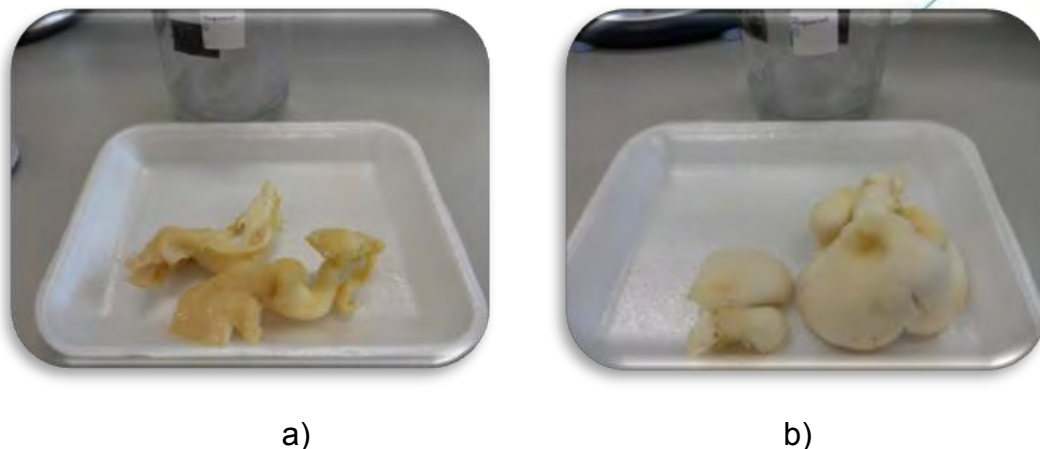


Figura. 38. Estado de la seta al finalizar la determinación de respiración a) temperatura ambiente y b) en refrigeración sin NLS.

### *3.1.3 Medición de WVTR, permeabilidad, WVP y pérdida de peso por transpiración*

En el cuadro 14 se muestran los cambios en permeabilidad al vapor de agua de las setas, determinado por el método de desecante a T. ambiental ( $T=29^{\circ}\text{C}$ .) y en condiciones de refrigeración ( $T=4^{\circ}\text{C}$ ). Si comparamos las setas refrigeradas, se observa que la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR) es 46.59% (diferencia significativa  $P<0.05$ ) menor para las muestras recubiertas con NLS, ahora al comparar a las setas en temperatura ambiente se obtiene un 22.38% de WVTR para las setas con NLS (diferencia significativa  $P<0.05$ ), con lo que se puede establecer que para la trasmisión de vapor de agua el recubrimiento a temperatura de refrigeración tiene un efecto de barrera.

Con referencia a la permeabilidad, a temperatura de refrigeración el usar NLS disminuye 94.68% (diferencia significativa  $P<0.05$ ) y a temperatura ambiente las NLS únicamente disminuyen un 22.41% (diferencia significativa  $P<0.05$ ), reafirmando la funcionalidad de las NLS en refrigeración.



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuadro 14. Resultados de la WVTR, permeabilidad y WVP total en 57 h de almacenamiento utilizando el método del desecante.

| Tratamiento         | WVTR<br>g/m <sup>2</sup> h | Permeabilidad<br>g/m <sup>2</sup> h KPa | WVP<br>g/m h KPa |
|---------------------|----------------------------|---|------------------|
| Seta 4 °C           | 0.1159                     | 0.1655                                  | 0.0021           |
| Seta ambiente       | 0.2426                     | 0.0638                                  | 0.0008           |
| Seta + NLS 4 °C     | 0.0619                     | 0.0088                                  | 0.0011           |
| Seta + NLS ambiente | 0.1883                     | 0.0495                                  | 0.0006           |

El refrigerar en ausencia de NLS presenta una mayor permeabilidad al vapor de agua por parte de la seta (47.62% mayor) lo que representa una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

En temperatura ambiente el emplear NLS muestra un efecto estadísticamente no significativo ( $P > 0.05$ ) en la reducción del WVP (ver cuadro 14). Se destaca que el empleo de un recubrimiento como las NLS contribuye a disminuir la permeabilidad al vapor de agua, debido, a que genera un microambiente en la superficie de la seta, ya que su naturaleza no polar le brinda poca afinidad por el vapor de agua, lo que explica porque presentan una permeabilidad a la humedad tan baja (González, 2011).

Con la finalidad de correlacionar los cambios por efecto de permeabilidad y velocidad de transmisión de vapor de agua, en la figura 39 se muestra la pérdida de peso producto de la velocidad de transpiración registrada en las setas en función a las condiciones de almacenamiento y tratamiento en 9 horas.

En dicha figura se aprecia que la menor pérdida de peso fue para las setas recubiertas con NLS en refrigeración que comparadas sin NLS en la misma condición hay 0.3731g representando un 9.2% de diferencia (estadísticamente significativa  $P < 0.05$ ), mientras que a T. ambiente sin NLS se logró mayor cantidad de peso perdido comparado con el uso de NLS en la misma temperatura con 1.2620g equivalente a 17.69% de diferencia de peso, (estadísticamente significativa  $P < 0.05$ ).

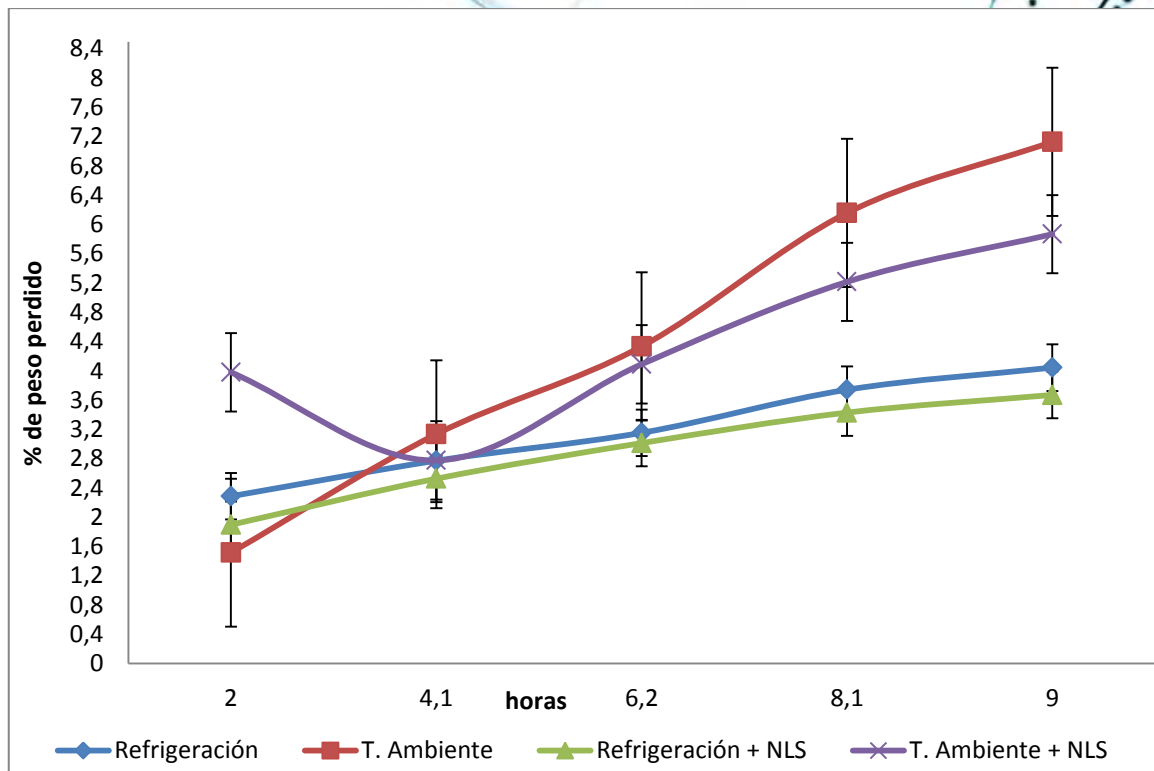


Figura 39. Comparativo de pérdida de peso de la seta con y sin NLS en función al tiempo y en relación a las condiciones de almacenamiento.

Las NLS aplicadas son efectivas para disminuir la pérdida de agua de la seta, esto como consecuencia de la modificación de su permeabilidad. Las NLS como recubrimiento contribuyen a retardar las pérdidas de peso en el anaquel y a conservar por mayor tiempo las características de frescura y textura que la humedad aporta a la seta. Son una importante herramienta de control, pero los procesos respiratorios de la seta se encuentran en su mayor velocidad con esta tecnología, ya que la formulación de las NLS contempla a la goma xantana que presenta una buena estabilidad estructural y capacidad de retrasar la transmisión de  $O_2$ .

Es posible que el exceso en concentración de goma xantana provoca fracturas irregulares de las NLS que provocan que la seta no respire de manera regular (Velázquez, 2011), esto es agravado por la porosidad de la seta ostra.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.2 Resultados de la prueba de envasado preliminar

Previo al envasado en MAP, NLS y MAP-NLS de la seta (objetivos particulares), se realizó una prueba de envasado comparando dos formulaciones de NLS, la primera sin goma xantana y la segunda con goma xantana, ambas en combinación con MAP, con el fin de explorar el comportamiento de la seta con la goma. Para observar el comportamiento se midieron los mismos parámetros de, WVTR, peso perdido, O<sub>2</sub> consumido, CO<sub>2</sub>, producido, TR y QR para 70g de setas en el envase seleccionado a 4°C.

#### 3.2.1 Medición de WVTR, permeabilidad, WVP y pérdida de peso por transpiración

La figura 40 muestra los cambios en WVTR de la seta envasada en MAP con dos formulaciones de NLS (con goma xantana y sin goma xantana) en condiciones de refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ) y en 72 horas de almacenamiento.

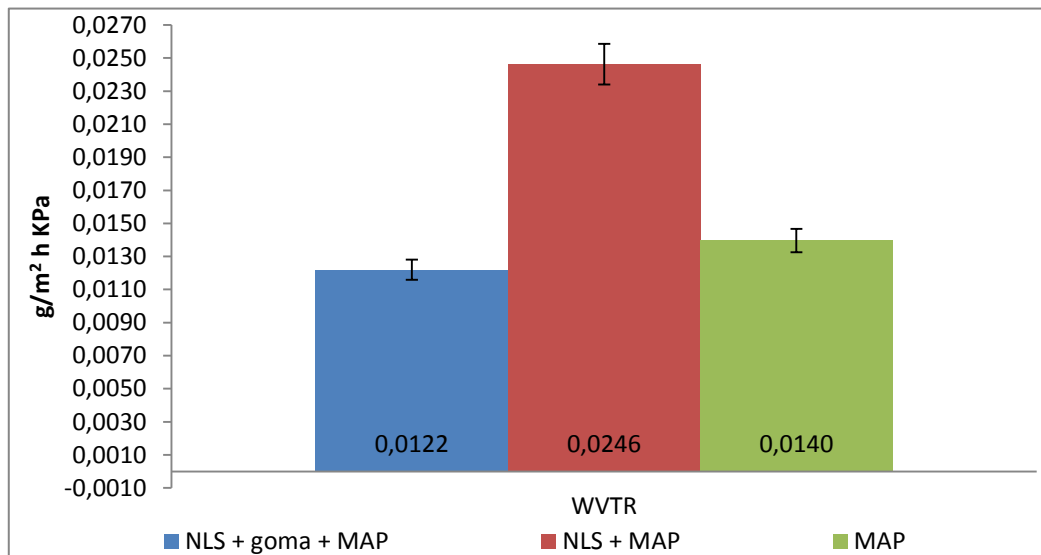


Figura 40. Cambios en WVTR de la seta envasada en MAP con dos formulaciones de NLS en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

Se observa que la mayor WVTR fue con la NLS 2 (sin goma xantana) + MAP con  $0.0246 \text{ g/m}^2 \text{ h}$  y la menor fue la NLS 1 (con goma) + MAP con  $0.0122 \text{ g/m}^2 \text{ h}$  (diferencia significativa  $P < 0.05$ ), ya que un polisacárido otorga una

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

característica hidrófila y la adsorción de agua se produce fácilmente en la superficie de las películas de polisacáridos (Guerrero, 2011) y así contribuye a disminuir la WVTR, usando sólo MAP produjo un resultado aproximado al valor con goma xantana con  $0.0140 \text{ g/m}^2 \text{ h}$ . El uso o no uso de goma xantana si tiene una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

La figura 41 muestra la relación de permeabilidad en 72 h a  $4^\circ\text{C}$  para ambas formulaciones de NLS envasadas en MAP. De la misma manera se aprecia que sin goma xantana existe mayor permeabilidad que con goma xantana (29.26% superior) existiendo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre estas.

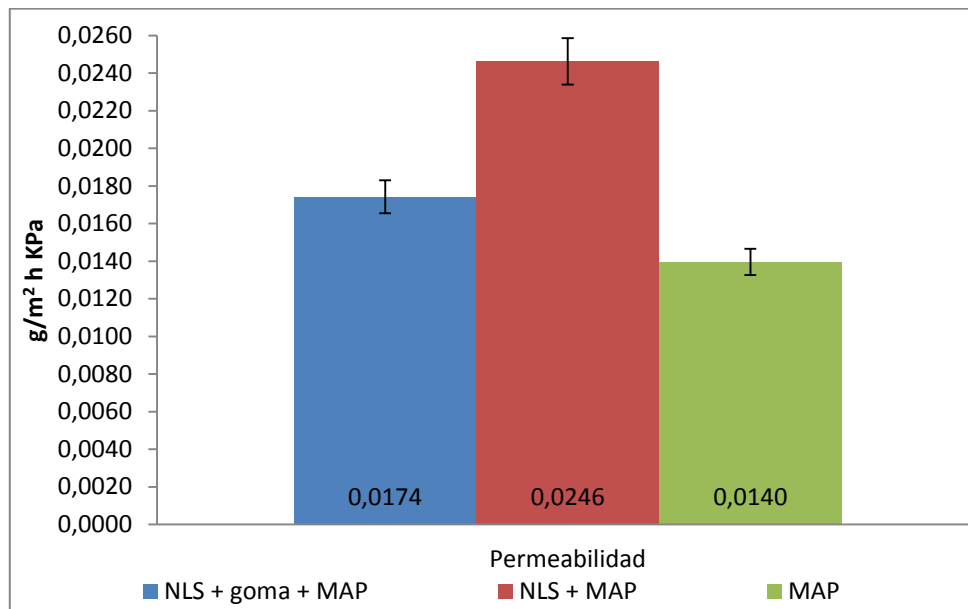


Figura 41 Comparativo de permeabilidad de la seta envasada en MAP con dos formulaciones de NLS y MAP en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

En la figura 42 se presentan los valores de WVP obtenidos para ambas formulaciones de NLS y la MAP. Se aprecia que la goma xantana contribuye a reducir la WVP, comparada con la NLS sin goma, sin embargo la MAP es la que mayormente disminuye éste parámetro, existiendo una diferencia significativa entre los 3 factores ( $P < 0.05$ ).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

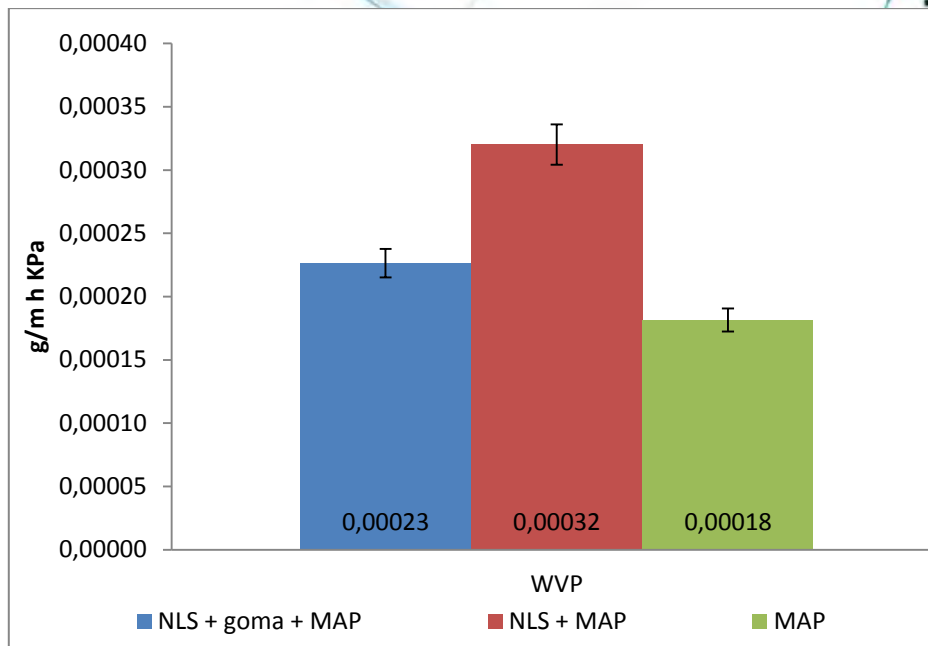


Figura 42. Cambios en WVP de la seta envasada en MAP con dos formulaciones de NLS y MAP en refrigeración.

En la figura 43 se presentan las tendencias de pérdida de peso producto de la velocidad de transpiración. Se muestra que la seta recubierta de NLS + goma xantana pierde mayor peso que la NLS sin goma (6.32% de diferencia de peso perdido estadísticamente significativo  $P < 0.05$ ), esto se puede explicar analizando el comportamiento de TR y QR, ya que la pérdida de peso también se ve influenciada por el alteramiento fisiológico.

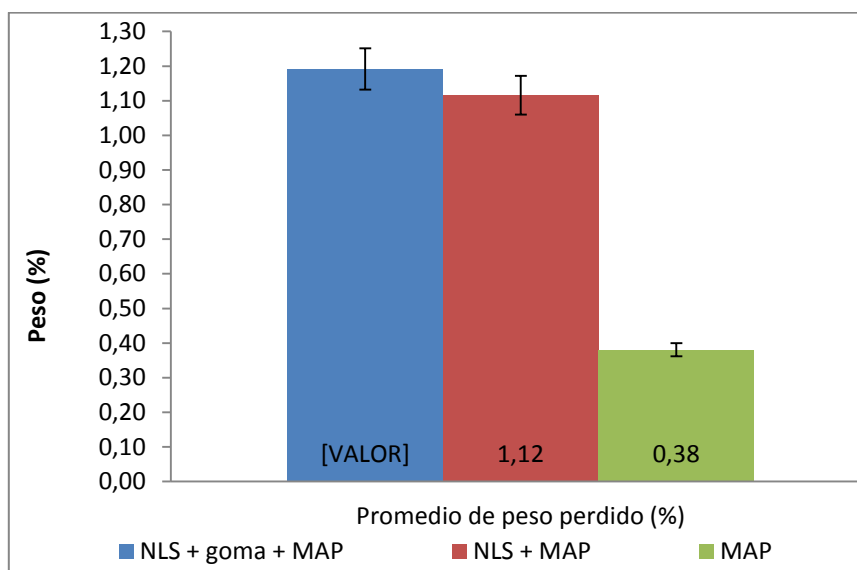


Figura 43. Peso perdido en ambas formulaciones de NLS + MAP y MAP.



### 3.2.2 Medición de O<sub>2</sub> absorbido, CO<sub>2</sub> producido, TR, QR

A continuación se muestran las tendencias de O<sub>2</sub> absorbido (figura 44) y CO<sub>2</sub> producido (figura 45) con cada formulación de NLS.

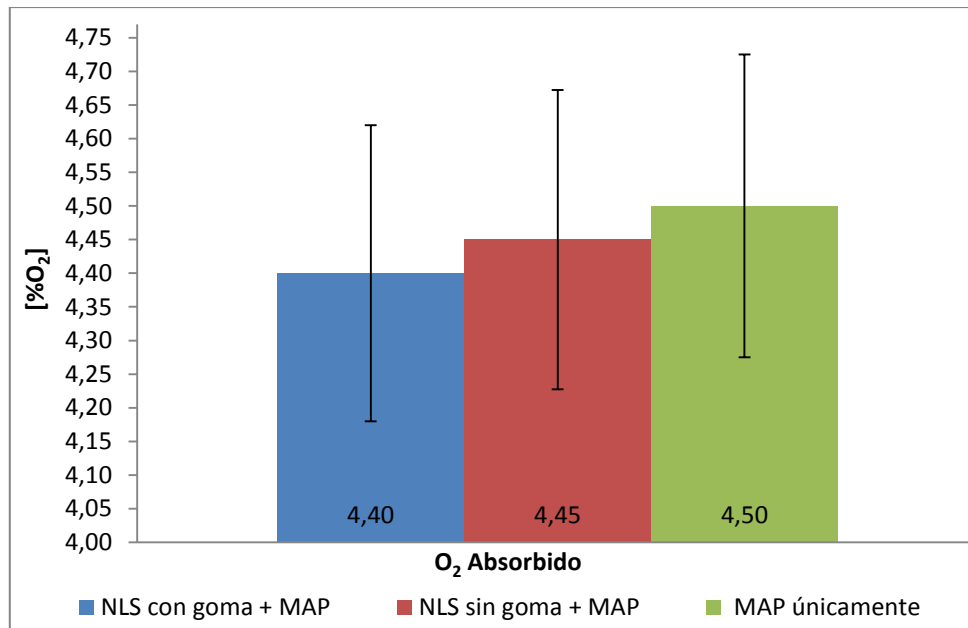


Figura 44. O<sub>2</sub> absorbido en NLS con goma xantana + MAP, NLS sin goma xantana + MAP y MAP en refrigeración.

La figura 44 revela que la NLS con goma xantana + MAP presenta el menor porcentaje de O<sub>2</sub> absorbido (1.12% superior a no usar goma, diferencia significativa  $P < 0.05$ ), esto se debe a que la goma xantana a su vez presenta una barrera extra a la absorción de O<sub>2</sub>, es por eso que al usar únicamente MAP se permite la absorción sin restricción del O<sub>2</sub>.

Se comprueba en la figura 45 correspondiente a CO<sub>2</sub> producido, que el usar goma xantana como parte de la formulación de NLS produce significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor CO<sub>2</sub> que al no emplearla (1.9% de diferencia) y que sin NLS se permite el libre intercambio gaseoso entre la seta y la MAP.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

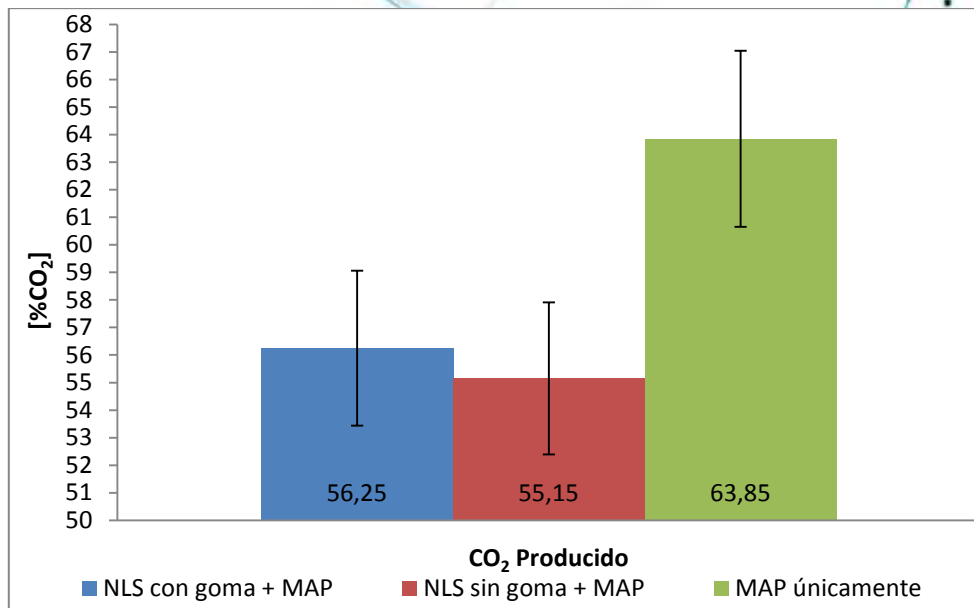


Figura 45. CO<sub>2</sub> producido por NLS con goma xantana,+ MAP, NLS sin goma xantana + MAP y MAP en refrigeración (4±1°C).

La figura 46 muestra la TR (velocidad de respiración) para el O<sub>2</sub> y la figura 47 la TR del CO<sub>2</sub>, observándose en la figura 45 que el menor consumo de O<sub>2</sub> al final del almacenamiento se presenta cuando se emplea únicamente MAP (0.0079 ml O<sub>2</sub>/Kg\*h), la mayor TR del mismo gas corresponde a la NLS con goma xantana (0.0095 mlO<sub>2</sub>/Kg\*h), habiendo una diferencia significativa (P<0.05) entre los tres tratamientos. NLS sin goma obtuvo un 0.0087 mlO<sub>2</sub>/Kg\*h.

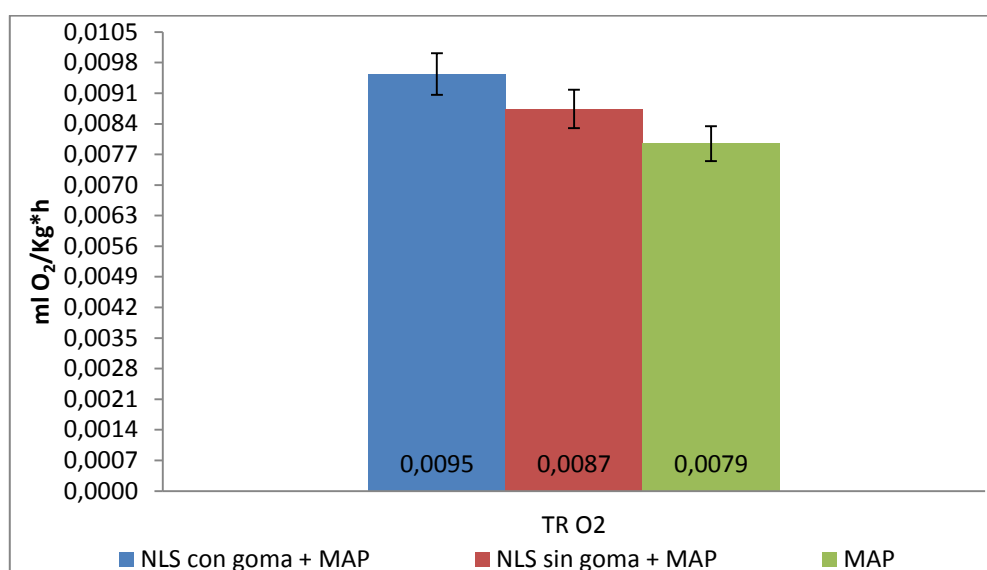


Figura 46. Tasa de respiración del oxígeno (TRO<sub>2</sub>) correspondiente a cada formulación de NLS + MAP y MAP.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al referirse a la TR de CO<sub>2</sub>, la mayor TR pertenece al uso único de MAP (1.1738 mlCO<sub>2</sub>/Kg\*h), seguido de la NLS con goma + MAP (1.0530 mlCO<sub>2</sub>/Kg\*h), por lo que se comprueba que al emplear goma xantana se produce significativamente (P<0.05) mayor cantidad de CO<sub>2</sub> que sin el empleo de la misma (1.65% de sobreproducción).

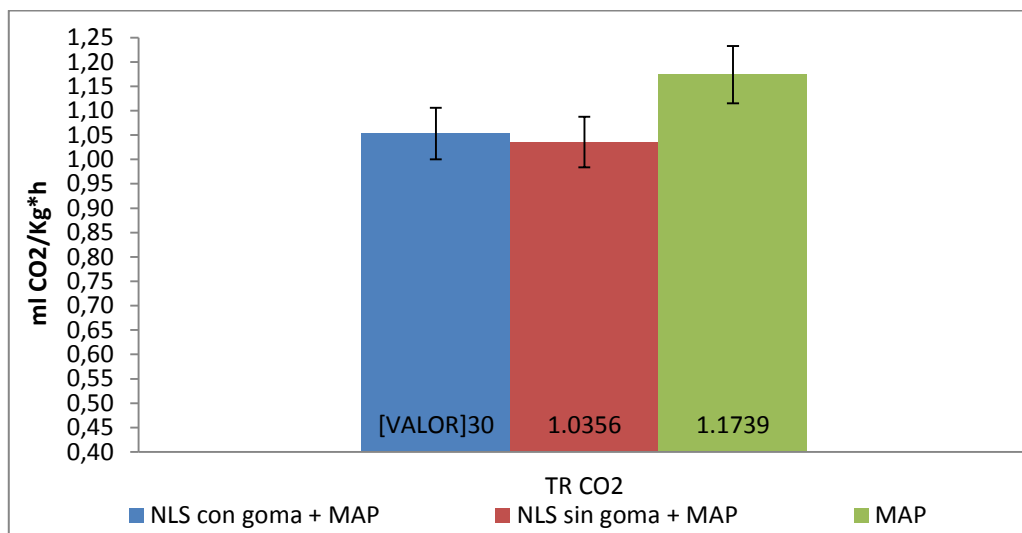


Figura 47. Tasa de respiración del dióxido de carbono (TRCO<sub>2</sub>) correspondiente a cada formulación de NLS + MAP y MAP.

Se presenta la figura 48 para conocer las supuestas sustancias que se degradan y las condiciones de degradación.

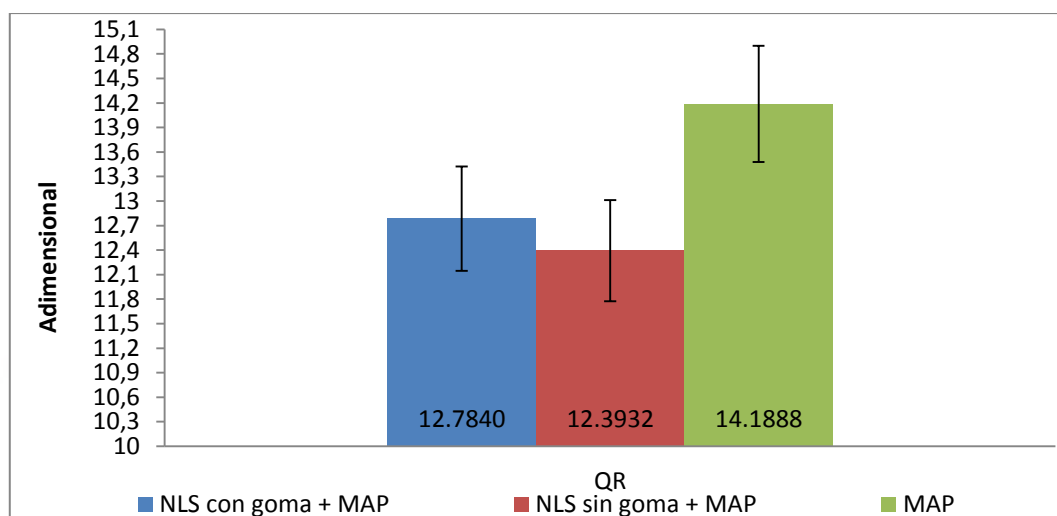


Figura 48. Coeficiente respiratorio (QR) correspondiente a cada formulación de NLS + MAP y MAP.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

Se observa que durante las 72 horas de almacenamiento predomina la anaerobiosis por consecuencia de la concentración inicial de  $O_2$  (5%  $O_2$ ) y la elevada emisión de  $CO_2$  (consultar figuras 44 y 45), provocada por el empleo de NLS y por lo tanto, teóricamente se consumen los ácidos orgánicos.

La goma otorga una mayor estabilidad estructural y reduce la transmisión de  $O_2$  (González, 2011), experimentalmente se observó que la goma aumenta el consumo de  $O_2$  en seta recubierta, además existen poros formados por el recubrimiento de NLS + goma xantana que permiten la respiración del fruto (González, 2011). La adsorción de agua se produce fácilmente en la superficie de las películas de polisacáridos (pese a que se tengan NLS) y que como una regla general, las películas que no ofrecen una protección contra la transferencia de agua a menudo tienen propiedades deseables para prevenir la transmisión de  $O_2$  y viceversa.

Para contrarrestar el efecto de la elevada tasa de producción de  $CO_2$ , etanol y demás compuestos alcohólicos/volátiles producto de la anaerobiosis que se alcanza con las NLS, se propone trabajar la formulación en ausencia de la goma xantana, incluso para evitar que la seta la pudiera absorber por medio de las hifas que la componen y la introduzca en sus procesos metabólicos y a su vez forme una barrera extra a los gases, ya que esto acelera su deterioro sensorial, sus atributos de calidad, nutrimentales y comerciales, a pesar que la goma xantana contribuye a mantener el tamaño de partícula por más tiempo (García, 2011). Se propone auxiliarse por un absorbedor de  $CO_2$  para aminorar la concentración de este gas.

A continuación, se despliegan los resultados obtenidos en los objetivos particulares, los cuales a su vez se comparan con los datos de las actividades y el envasado preliminar y con resultados bibliográficos para comprender el comportamiento de las NLS, MAP y MAP-NLS.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.3 Resultados de los objetivos particulares

Con el estudio previo de la seta ostra ya es posible plantear las condiciones y especificar los coadyuvantes de almacenamiento. Para los 3 objetivos particulares y la corrida blanco o patrón se emplearon condiciones de refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$  a  $90 \pm 5\%$  de HR) en 10 días (240 horas) de almacenamiento.

#### 3.3.1 Medición de la pérdida de peso, WVTR, permeabilidad y WVP

La Figura 49 muestra la pérdida de peso de la seta envasada en MAP, con NLS, y la combinación de MAP-NLS en condiciones de refrigeración.

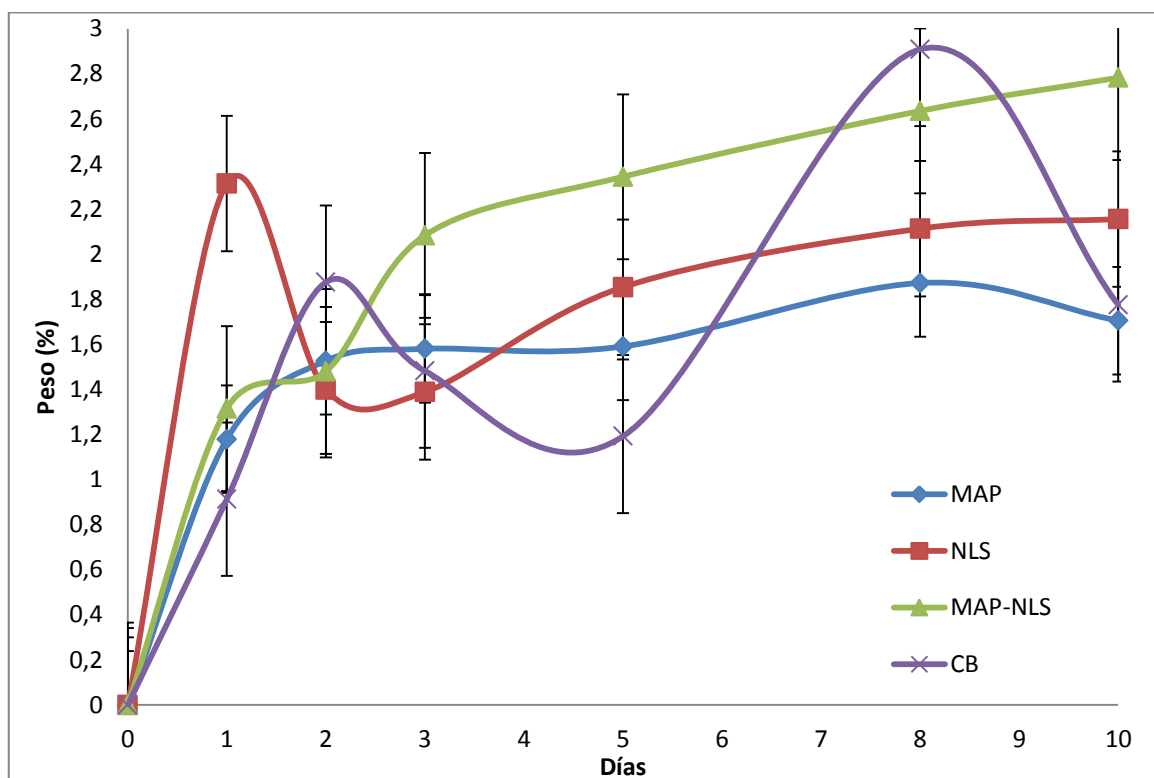


Figura 49. Peso perdido por la seta en las tres condiciones de envasado y la corrida blanco en refrigeración.

Para el caso del empleo de NLS y el uso combinado de MAP-NLS, se observa que en los primeros dos días existe un periodo de inestabilidad en el



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

comportamiento de pérdida de peso, a este periodo se le puede denominar como periodo de adaptación. A partir del tercer día se comienza a clarificar la tendencia de pérdida de peso, logrando el mayor valor significativo ( $P < 0.05$ ) con el uso combinado de MAP-NLS con 2.78% de peso perdido (36.21% superior a la CB) a los 10 días de almacenamiento. La tecnología que le sigue en pérdida de peso, es el empleo único de NLS con un 2.15% de peso perdido (17.64% superior a la CB), el valor más bajo y la mayor estabilidad en el comportamiento se consigue utilizando MAP con 11.70% de peso perdido (3.9% inferior a la CB) al décimo día. El comportamiento tan inestable de la corrida blanco (CB) con un dato final de 1.77%, corresponde principalmente a las condiciones de partida de la seta, es decir, a su tamaño, cantidad de humedad y frecuencia de riego durante su cultivo. Estos factores se ven reflejados con mayor intensidad, ya que las NLS realizan la función de una barrera reguladora a la humedad, debido a las propiedades hidrofílicas de las ceras; esta barrera no existe en la CB, quedando con mayor susceptibilidad a los cambios en las condiciones del entorno.

Entonces, la figura 49 expresa que recurrir a la MAP contribuye en mayor medida al control de pérdida de peso de la seta, mientras que las NLS solas no son suficientes para contrarrestar este efecto; El no emplear algún auxiliar de envasado, lleva a que la pérdida sea incontrolable e impredecible.

En el cuadro 15 se presenta el comparativo de pérdida de peso durante las actividades preliminares, el envasado con las 3 tecnologías de conservación (objetivos particulares) y fundamentos bibliográficos para confirmar lo observado en la figura 49.


Durante la actividad preliminar se obtiene el mayor peso perdido en temperatura ambiental sin NLS (31.7%) y con NLS (24%), la prueba preliminar de envasado empleando ambas formulaciones de NLS en refrigeración a 72 h registra mayor pérdida con NLS + goma xantana + MAP (1.19%) que con NLS + MAP sin goma xantana (1.11%). Para los resultados de los objetivos particulares, la tecnología con mayor pérdida de peso resultó ser el empleo de MAP-NLS (2.78%), la que otorgó mejor control fue sólo MAP (1.70%), seguida de CB (1.77%) y de usar

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

NLS (2.15%) en 10 días de almacenamiento. Entre todos los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ).

Morgado (2001) menciona que existe un 0.6% de pérdida de peso para 7 días de almacenamiento a 0-4°C y a la misma temperatura para 11 días de almacenamiento existe un 2% de pérdida de peso (sin auxiliar de envasado) (datos de hongos empacados al vacío en bolsas de polietileno de alta densidad), mientras que Jafri et al (2012) reporta que la seta *Pleurotus florida* pierde 25.14% de peso en 10 días de almacenamiento a 4°C envasadas en MAP (5% de O<sub>2</sub> y 10% de CO<sub>2</sub>). Kim (2005) informa que con atmósfera modificada pasiva, con 12°C, 80% HR y después de 6 días de almacenamiento la pérdida de peso va de 3 g a 7 g en hongos cortados.

Cuadro 15. Comparativo de resultados de la determinación de pérdida de peso en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.

| Comparativo de Resultados de Pérdida de Peso (%)                                    |                      |                          |                     |                        |   |   |
|---|----------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|---|---|
|  | Actividad preliminar |                          | Envasado Preliminar | Resultado de objetivos | Bibliográfico   | Bibliográfico   |
|   | Total 4° C (%)       | Total ambiental 29°C (%) | Total 4° C (%)      | Total 4° C (%)         | Total   | Total   |
| NLS Con Goma + MAP  |                      |                          | 1.1913              |                        | % Peso de 0- 4°C un 0.60% peso perdido por 7 días (Morgado, 2011) | % Peso de 0- 4°C un 2% peso perdido por 11 días (Morgado, 2011) |
| NLS Sin Goma + MAP  |                      |                          | 1.116               |                        |   |   |
| Sin NLS   | 16.516               | 31.735                   |                     |                        |   |   |
| Sólo MAP (1)  |                      |                          | 0.3808              | 1.7049                 |   |   |
| Sólo NLS (2)  | 10.420               | 24.019                   |                     | 2.1555                 |   |   |
| MAP-NLS (3)   |                      |                          |                     | 2.7828                 |   |   |
| CB  |                      |                          |                     | 1.7752                 |   |   |

Los resultados de las actividades preliminares se registraron en 57.64 horas en presencia de sílica gel como desecante para 50 g de muestra. Los datos obtenidos en el envasado preliminar fueron a las 72 horas para 70 g de setas en el envase seleccionado. Los datos de los objetivos particulares planteados fueron registrados a las 240 horas (10 días), con carbón activo como


## ANÁLISIS DE RESULTADOS

absorbedor de CO<sub>2</sub> y con 100 g de muestra. Las condiciones de almacenamiento son ambiental (T=29°C, HR= 32%, T. de rocío= 28.2°C, Pp= 3.800 KPa) y en refrigeración (T=4.0°C, HR= 95.5%, T. de rocío= 3.3°C, Pp= 0.700 KPa).

Por lo tanto, al hacer referencia a las pérdidas de peso durante el envasado de la seta en una película plástica co-extruida, la MAP resulta ser la apropiada para trabajar en conjunto con la acción del frío, esto referente a lo reportado por Morgado (2011) a 4°C en 11 días de almacenamiento. La tecnología de las NLS también podría ser una opción, debido a que se encuentra en un rango aceptable de pérdida de peso.

En el cuadro 16 se muestran los datos del índice de permeabilidad al vapor de agua (WVTR), entre mayor sea este índice, mayor será la difusión del agua en el interior de la seta; este valor está vinculado directamente con la pérdida de peso por consecuencia de la transpiración de la seta.

Cuadro 16. Comparativo de resultados de la determinación de WVTR en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.

| Comparativo de resultados de WVTR Total   |  |                                      |  |  |
|---|--|--------------------------------------|--|--|
|  | Actividad preliminar                     |                                      | Envasado Preliminar                      | Resultado de objetivos                   |
|   | Total refrigeración (g/m <sup>2</sup> h) | Total ambiental (g/m <sup>2</sup> h) | Total refrigeración (g/m <sup>2</sup> h) | Total refrigeración (g/m <sup>2</sup> h) |
| NLS 1 Con goma+ MAP   |  |                                      | 0.0122                                   |  |
| NLS 2 Sin goma+ MAP   |  |                                      | 0.0172                                   |  |
| Sin NLS   | 0.1159                                   | 0.2426                               |  |  |
| Sólo MAP (1)  |  |                                      | 0.0098                                   | 0.0049                                   |
| Con NLS (2)   | 0.0619                                   | 0.1883                               |  | 0.0057                                   |
| MAP-NLS (3)   |  |                                      |  | 0.0099                                   |
| CB  |  |                                      |  | 0.0074                                   |


Resultados obtenidos a las mismas condiciones que el cuadro 15.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la actividad preliminar usando NLS es significativamente menor ( $P < 0.05$ ) el WVTR tanto en refrigeración como a temperatura ambiente, usando NLS y en refrigeración se reduce un 46.59% y a temperatura ambiente un 22.38% de reducción significativa ( $P < 0.05$ ) al usar NLS. En la comparación de ambas formulaciones de NLS, la que obtuvo significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor WVTR fue la NLS sin goma xantana + MAP (29.06% mayor que con goma), ya que un polisacárido otorga una característica hidrófila (Guerrero, 2011). Los datos arrojados para la comparación de tecnologías utilizadas revela que el emplear sólo MAP genera significativamente ( $P < 0.05$ ) menor WVTR si se compara con la CB (33.78% menor que la CB), seguido de NLS (22.97% menor que CB) y la MAP-NLS superó significativamente ( $P < 0.05$ ) a la CB (25.23% mayor que la CB).

El relacionar el WVTR con la presión parcial generada en el interior del envase permite obtener la permeabilidad de la seta. En el cuadro 17 se comparan estos resultados.

Cuadro 17. Comparativo de resultados de la determinación de permeabilidad en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.

| Comparativo de Resultados de Permeabilidad Total                                    |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
|  | Actividad preliminar                         |  | Envasado Preliminar                          | Resultado de objetivos                       |
|   | Final refrigeración (g/m <sup>2</sup> h KPa) | Final ambiental (g/m <sup>2</sup> h KPa) | Final refrigeración (g/m <sup>2</sup> h KPa) | Final refrigeración (g/m <sup>2</sup> h KPa) |
| NLS Con Goma + MAP  |  |  | 0.0174                                       |  |
| NLS Sin Goma+ MAP   |  |  | 0.0246                                       |  |
| Sin NLS   | 0.1655                                       | 0.0638                                   |  |  |
| Sólo MAP (1)  |  |  | 0.014  | 0.007  |
| Con NLS (2)   | 0.0088                                       | 0.0495                                   |  | 0.0082                                       |
| MAP-NLS (3)   |  |  |  | 0.0141                                       |
| CB  |  |  |  | 0.0106                                       |

Resultados obtenidos a las mismas condiciones que los cuadros 15 y 16.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Observando el cuadro 17 y en la actividad preliminar se demuestra que usando NLS se reduce significativamente ( $P < 0.05$ ) la permeabilidad en refrigeración (94.68% menor que sin NLS) misma que a temperatura ambiente también se reduce significativamente ( $P < 0.05$ ) (22.41% menor que sin NLS), en el envasado preliminar se demostró que la goma xantana contribuye a disminuir significativamente la permeabilidad de la seta (29.26% menor que sin goma), sin embargo, en los objetivos particulares la MAP es la tecnología que resulta más conveniente para atenuar significativamente ( $P < 0.05$ ) la permeabilidad (33.96% menor en comparación con la CB), le sigue el uso de NLS (22.64% menor que la CB) y quedando la MAP-NLS como la menos conveniente (24.82% mayor que la CB).

Si se involucra la permeabilidad con el grosor de la seta se obtiene el valor final de permeabilidad al vapor de agua (WVP), parámetro de importancia en la selección y propuesta de envasado. El cuadro 18 condensa los resultados de WVP para cada actividad.

Cuadro 18. Comparativo de resultados de la determinación de WVP en las actividades preliminares, envasado preliminar y objetivos particulares.

| Comparativo de Resultados de WVP Total  |                                 |                             |                                 |                                 |
|---|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|  | Actividad preliminar            |                             | Envasado Preliminar             | Resultado de objetivos          |
|   | Total refrigeración (g/m h KPa) | Total ambiental (g/m h KPa) | Total refrigeración (g/m h KPa) | Total refrigeración (g/m h KPa) |
| NLS con goma+ MAP   |                                 |                             | 0.0002                          |                                 |
| NLS Sin goma+ MAP   |                                 |                             | 0.0003                          |                                 |
| Sin NLS   | 0.0021                          | 0.0008                      |                                 |                                 |
| Sólo MAP  |                                 |                             | 0.0002                          | 0.00009                         |
| Con NLS   | 0.0011                          | 0.0006                      |                                 | 0.000106                        |
| MAP-NLS   |                                 |                             |                                 | 0.000183                        |
| CB  |                                 |                             |                                 | 0.000138                        |

Resultados obtenidos a las mismas condiciones que los cuadros 15, 16 y 17.



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

El cuadro 18 indica que en la actividad preliminar usando NLS en refrigeración el WVP es 47.61% inferior que sin el uso de NLS (significativo  $P < 0.05$ ), sin embargo, a temperatura ambiente no hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P > 0.05$ ) usando NLS o no, pese a que la goma xantana aumenta el área de recubrimiento (consecuencia de la modificación de las propiedades reológicas de las NLS) y contribuye al control de pérdida de peso, los plastificantes empleados en la formulación de las NLS (sin goma xantana) modifican la tensión superficial reduciéndola y otorgando mayor uniformidad, esta alternativa también disminuye la actividad de agua ( $a_w$ ) en la superficie y a su vez reduce la pérdida de agua (Guerrero, 2011), por lo que el emplear la NLS sin goma, no representó un cambio significativo en el control de la transferencia de vapor de agua en la seta.

La tecnología que resulta ser significativamente ( $P < 0.05$ ) de mayor conveniencia para este parámetro es la MAP (34.78% inferior a la CB), seguida del empleo de NLS (23.18% menor que la CB) y la menos conveniente es la MAP-NLS (24.59% superior a la CB).

Los recubrimientos de polisacáridos, debido a su naturaleza hidrofílica, forman una barrera poco efectiva al agua. Los recubrimientos con mayor cantidad de NLS (con característica hidrofóbica) presentan mayor interferencia a la deshidratación, por lo tanto menor pérdida de peso (González, 2011), es esta la razón por la que la NLS sin goma + MAP resultó mejor.

### ***3.3.2 Medición de O<sub>2</sub> absorbido, CO<sub>2</sub> producido, TR y QR***

En esta ocasión se realiza el análisis puntual de los resultados obtenidos en los objetivos particulares, para posteriormente contrastarlos con las actividades preliminares y el envasado preliminar, y así establecer las condiciones óptimas para la conservación de la seta ostra. En la figura 50 se observa de manera detallada la tendencia de consumo de O<sub>2</sub> y en la figura 51 el CO<sub>2</sub> producido con cada tecnología de envasado en condiciones de refrigeración ( $T = 4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

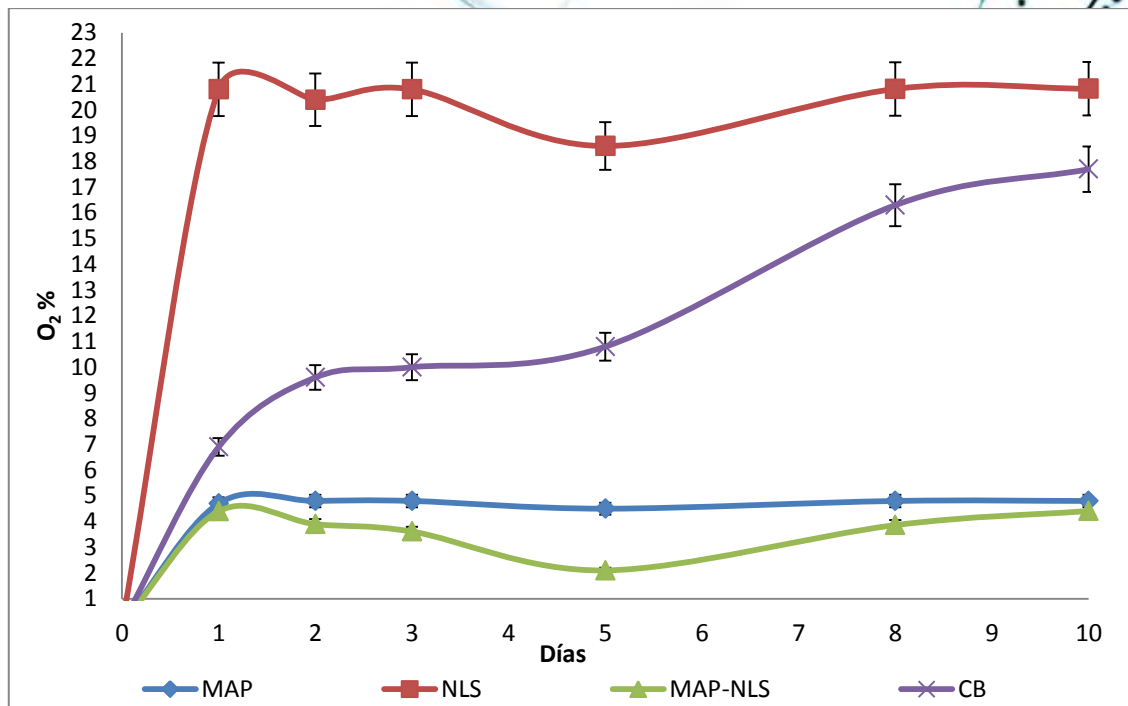


Figura 50. Concentración de O<sub>2</sub> absorbido por la seta en cada tecnología de envasado en refrigeración (4°C).

En la figura 50 se examina que al primer día de almacenamiento todas las tecnologías de conservación agotaron el O<sub>2</sub> disponible. Usando MAP se consumió 4.7% del 5% inicial desde el primer día de almacenamiento, caso semejante ocurre empleando MAP-NLS que consumió 4.4% en el mismo periodo de tiempo. Empleando NLS se consumieron los 20.8% de oxígeno disponible, ya que con esta tecnología se partió desde la concentración atmosférica. La CB fue consumiendo gradualmente el O<sub>2</sub> con el paso del tiempo, incluso notándose un importante incremento de consumo a partir del quinto día de almacenamiento.

La figura 51 muestra que la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> producido se obtiene usando MAP (98.4%), mientras que con NLS se alcanza un 97%, en la CB el valor final al término del almacenamiento es de 94.8%, sin embargo con MAP-NLS se registra un dato final de 0% de CO<sub>2</sub> producido, esto se debe a la alteración que las NLS provocan en el metabolismo de la seta, sumado a la suposición que exista la formación de algunos poros en la capa de NLS y/o alguna capa gruesa de NLS que pudiera estar obstruyendo el proceso metabólico de la seta, lo cual puede provocar daños fisiológicos.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

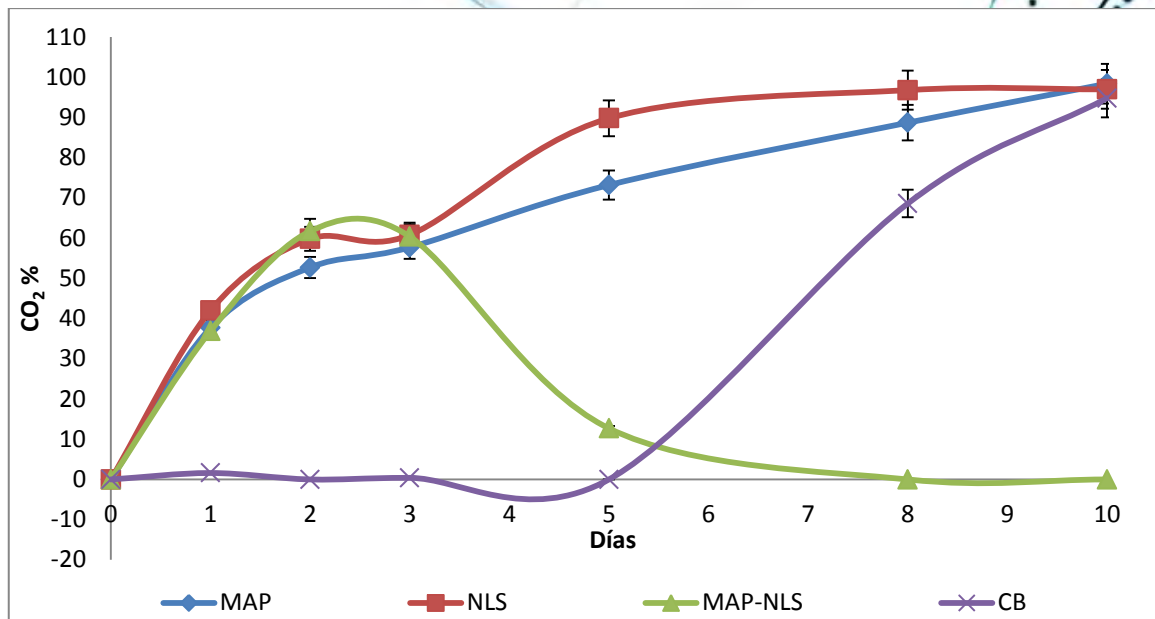


Figura 51. Concentración de CO<sub>2</sub> producido por la seta en cada tecnología de envasado en refrigeración (4°C).

Con MAP-NLS se aprecia que la producción comienza a detenerse desde el día 5 y se detiene completamente a partir del día 8, sin embargo las NLS provocan un mayor consumo de O<sub>2</sub> total desde el primer día de almacenamiento. En definitiva, el empleo de MAP mantiene un comportamiento de consumo menor de O<sub>2</sub> y de producción de CO<sub>2</sub> con mayor estabilidad.

En la figura 52 de Tasa Respiratoria se aprecia la cantidad de O<sub>2</sub> en mL por cantidad en kg de seta en 10 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración (T=4±1°C).

Se aprecia que la CB tiene mayor velocidad de respiración de O<sub>2</sub> al término del almacenamiento, pues aún se encuentra consumiendo el O<sub>2</sub>, mientras que con la MAP la TR ya se ha disminuido significativamente (P<0.05) en el mismo periodo de tiempo ya que ha agotado el O<sub>2</sub>, las NLS de la misma manera han disminuido este parámetro hasta en un 97.81% comparado con la CB, consecuencia del agotamiento del O<sub>2</sub>, por lo que ya no tiene más de este gas para absorber, mientras que la MAP-NLS tienen un 81.33% menor TR que las CB, que de la misma manera ya no cuenta con O<sub>2</sub> para absorber. El elevado

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

valor de la CB se debe a que todavía se encuentra en la fase de absorción de  $O_2$ .

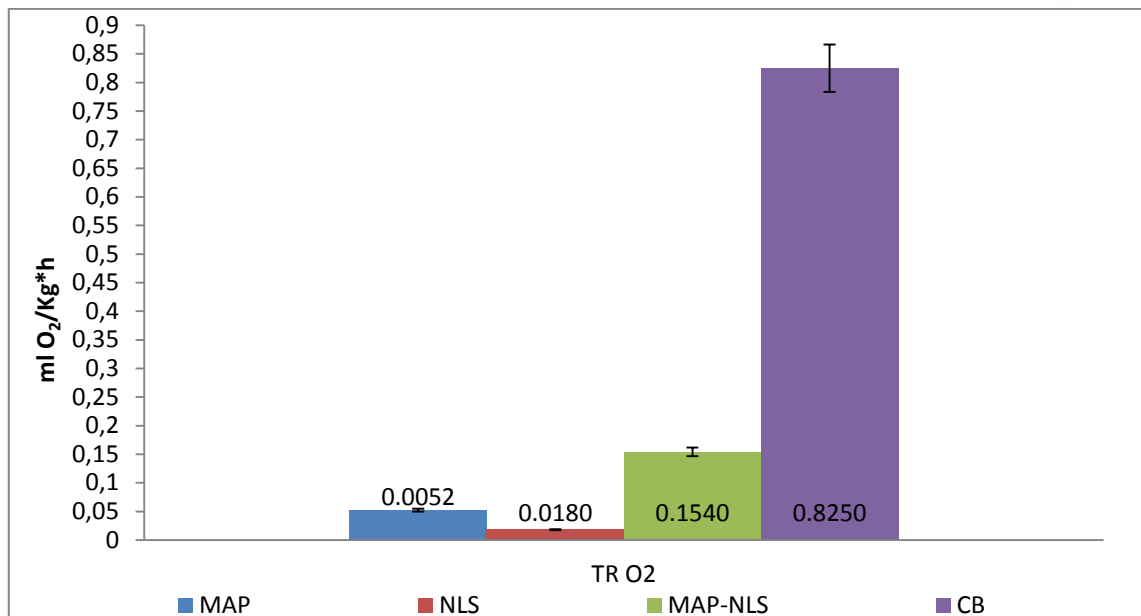


Figura 52. Tasa respiratoria de  $O_2$  ( $TR O_2$ ) en mL por cantidad en kg de seta en 10 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración ( $T=4\pm 1^\circ C$ ).

Para completar el análisis de TR, a continuación se presenta la figura 53 con los valores obtenidos para  $CO_2$ .

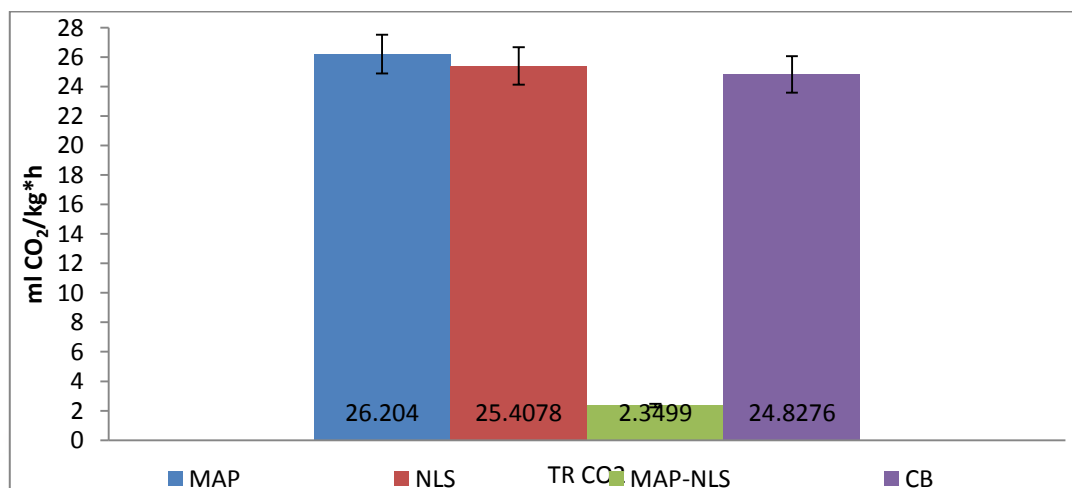


Figura 53. Tasa respiratoria de  $CO_2$  ( $TR CO_2$ ) en mL por cada kg de seta en 10 días de almacenamiento bajo condiciones de refrigeración ( $T=4\pm 1^\circ C$ ).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

Se resalta en la CB que la seta por si sola y de forma natural es capaz de producir bastante  $\text{CO}_2$  (24.8  $\text{mlCO}_2/\text{kg}^*\text{h}$ ). El uso de MAP produjo significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  que las demás tecnologías incluso que la CB (5.26% superior que la CB), esto también es consecuencia de la adición inicial de este gas al momento de ser envasado y las NLS superaron un 2.28% a la CB. En la CB la producción y por consecuencia la TR para este gas se lleva a cabo de forma gradual y sin alteración. Un caso particular es la MAP-NLS ya que la gráfica demuestra que la producción de  $\text{CO}_2$  ha cesado para estas instancias del almacenamiento (demostrado previamente en la figura 51).

Clieffe-Byrnes y O'Bernie (2007) citan datos sobre la TR de hongos obtenida mediante sistema cerrado (hermético), menciona que a  $3^\circ\text{C}$  se presenta una TR de  $\text{CO}_2$  de 25  $\text{mlCO}_2/\text{Kg}^*\text{h}$  involucrando un consumo de  $\text{O}_2$  de 27  $\text{mlO}_2/\text{Kg}^*\text{h}$ . A  $20^\circ\text{C}$  los mismos autores citan valores de producción de  $\text{CO}_2$  de 215  $\text{mlCO}_2/\text{Kg}^*\text{h}$  involucrando un consumo de  $\text{O}_2$  de 164  $\text{mlO}_2/\text{Kg}^*\text{h}$ , incluso mencionan que los hongos cortados incrementan su TR hasta un 30% a  $0^\circ\text{C}$  y un 40% a  $20^\circ\text{C}$  (estudio efectuado con 200g de muestra, envasados a concentración de aire atmosférica y empleando el método estático)


El cuadro 19 condensa y compara los valores de TR obtenidos durante las actividades preliminares, el envasado preliminar y los objetivos particulares.

El cuadro 19 muestra que en los resultados preliminares la producción de  $\text{CO}_2$  en refrigeración es significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor usando NLS (un 6.42% mayor), a temperatura ambiente de la misma manera usando NLS es significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor (7.13% mayor), por lo que las NLS no son una opción de conservación en caso de no respetar la cadena de frío. En el caso del envasado preliminar se aprecia que la goma xantana presente en la formulación de las NLS aumentan significativamente ( $P < 0.05$ ) 1.66% la TR de  $\text{CO}_2$ .



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuadro 19. Comparativo de resultados experimentales y bibliográficos de la tasa respiratoria (TR) de la seta ostra en diferentes condiciones de almacenamiento empleando distintas tecnologías de conservación.

| Comparativo de Resultados de Tasa de Respiración (TR CO <sub>2</sub> ) al final del Almacenamiento |                                   |  |                                   |                                   |                                       |  |
|--|-----------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
|                   | Actividad preliminar              |  | Envasado Preliminar               | Resultado de objetivos            | Bibliográfico                         | Bibliográfico                            |
|  | 4 °C<br>(mICO <sub>2</sub> /Kg h) | Ambiental<br>(mICO <sub>2</sub> /Kg h) | 4 °C<br>(mICO <sub>2</sub> /Kg h) | 4 °C<br>(mICO <sub>2</sub> /Kg h) | Total<br>(mICO <sub>2</sub> /Kg h)    | Total<br>(mICO <sub>2</sub> /Kg h)       |
| NLS Con Goma + MAP   |                                   |  | 1.0530                            |                                   | 25<br>A 3°C<br>Para hongos en general | 215<br>A 20 °C<br>Para hongos en general |
| NLS Sin Goma + MAP   |                                   |  | 1.0356                            |                                   |                                       |  |
| Sin NLS  | 236.4358                          | 827.5349                               |                                   |                                   |                                       |  |
| Sólo MAP   |                                   |  | 1.1739                            | 26.204                            |                                       |  |
| Con NLS  | 252.6522                          | 890.8178                               |                                   | 25.4078                           |                                       |  |
| MAP-NLS  |                                   |  |                                   | 2.3499                            |                                       |  |
| CB   |                                   |  |                                   | 24.8276                           |                                       |  |

Resultados obtenidos a las mismas condiciones que los cuadros 13, 14, 15 y 16.

La tecnología con aparentemente menor TR de CO<sub>2</sub> resultó ser la aplicación conjunta de MAP-NLS (90.53% significativamente  $P < 0.05$  menor que la CB), sin embargo, el valor es producto del paro en la producción de CO<sub>2</sub> atribuido al alteramiento metabólico que sufre la seta con la combinación de ambas tecnologías. La MAP presenta significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor TR de CO<sub>2</sub> (5.25%) comparado al emplear ninguna tecnología (caso concreto de la CB). Las NLS por si solas aumentan significativamente ( $P < 0.05$ ) un 2.28% la emisión de CO<sub>2</sub> (comparado con la CB).

Cabe resaltar, que los resultados de cantidad de CO<sub>2</sub> en los objetivos se deben al empleo de carbón activo como absorbedor, a la cantidad de muestra (30g para actividades preliminares, 70g en envasado preliminar y 100g para los objetivos), al estado de inicio de la seta, la variación de tamaño de la misma (área expuesta al medio), al tiempo transcurrido desde su cosecha hasta el momento de su envasado y por supuesto al tipo de envase empleado (frasco de

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

vidrio para actividades preliminares y película de envase co-extruida para envasado preliminar y objetivos particulares). De la misma manera, debemos de contemplar que el carbón activo sólo puede absorber entre el 10 y el 50% de su peso en impurezas, dependiendo de factores como concentración, temperatura, humedad y principalmente la naturaleza química de la sustancia a adsorber (Carbotecnia S.A. de C.V., 2014).

Teóricamente el carbón activo retiene 2.50 mlCO<sub>2</sub>/Kg 24 horas usando MAP, 2.25 mlCO<sub>2</sub>/Kg 24 horas usando NLS, 2.45 mlCO<sub>2</sub>/Kg 24 horas usando MAP-NLS y 0.16 mlCO<sub>2</sub>/Kg 24 horas. Teniendo en cuenta que lo máximo que adsorbe el carbón activo es 0.8Kg de CO<sub>2</sub> por cada Kg de carbón, y que se emplearon 0.020 Kg de carbón, representando un 2% y considerando una capacidad de retención del 100%.

En la figura 54 aparece el coeficiente respiratorio (QR), dónde será posible distinguir el sustrato respiratorio predominante en la seta con cada una de las tecnologías de envasado empleadas en condiciones de refrigeración.

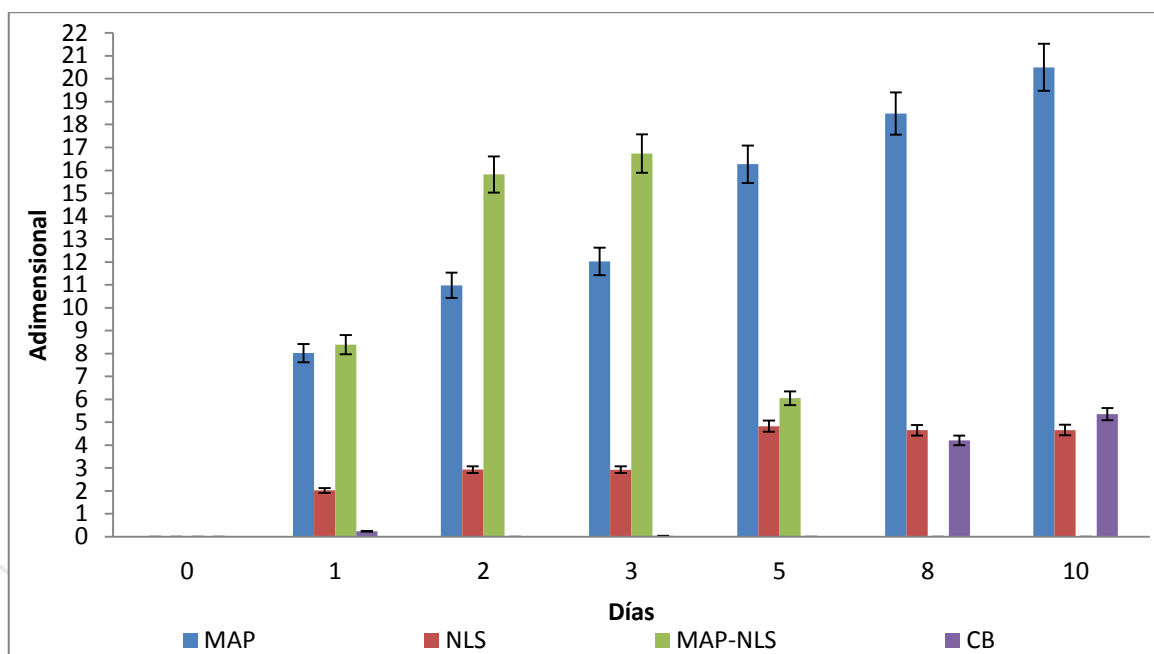


Figura 54. Coeficiente respiratorio de la seta empleando cada tecnología de conservación en condiciones de refrigeración ( $T=4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

En el primer día de almacenamiento, se aprecia que para el empleo de MAP se tiene un  $QR= 8.0$  y para el empleo combinado de MAP-NLS se tiene un  $QR= 8.3$ , lo que se sospecha que el principal sustrato respiratorio son ácidos orgánicos presentes en la seta, como consecuencia de la escasa concentración de  $O_2$ , de igual manera para el uso de NLS se tiene un  $QR= 2.0$  ( $QR \geq 1$  ácido orgánico como sustrato respiratorio), en la CB el  $QR= 0.23$ , por lo tanto, aquí teóricamente predominan los ácidos grasos ( $QR \leq 1$  ácido graso menos oxigenado que los azúcares, por oxidación incompleta en el ciclo del ATP).

En las cuatro tecnologías de envasado se incrementa el QR de manera proporcional, con excepción de la CB que presenta valores de cero en el segundo y quinto día, debido a la nula producción de  $CO_2$ , caso semejante para la MAP-NLS que tiene cero al octavo y décimo día. Para el final del almacenamiento (décimo día), el QR de la corrida blanco (CB) ha superado al empleo de las tecnologías de conservación, lográndose un valor de  $QR= 22$ , MAP es la tecnología que mayor proximidad tiene con un  $QR= 20.5$ , mientras que NLS reporta un QR total de 4.6, sin embargo, MAP-NLS en su comportamiento errático registra un  $QR=0$ .

En referencia a estos resultados se pone de manifiesto que durante los 10 días de almacenamiento y pese a las condiciones de refrigeración ( $T=4.0^{\circ}C$ ,  $HR= 95.5\%$ ), predomina la respiración anaerobia (respiración anaerobia  $\geq 1.3$  y respiración aerobia= 0.7 a 1.3 de QR), donde, el uso combinado de MAP-NLS y la CB pasan por ambos tipos de respiración y teóricamente por varios sustratos respiratorios, carbohidratos, ácidos orgánicos, ácidos grasos y vitaminas, debido a la perturbación del metabolismo de la seta con la MAP-NLS; Esto podría ser perjudicial en cuestión nutricional, consecuencia de la degradación de varios componente químicos de importancia comercial y propia del producto.

### *3.3.3 Medición de color como indicador del índice de oscurecimiento enzimático y de decaimiento*

En los cuadros 20, 21, 22 y 23 se presentan las imágenes muestreadas de la seta ostra en cada objeto particular, en las que se observan las características de textura, brillantez, sombras y relieves naturales presentes en las setas, mismas que posteriormente se promediaron.

El patrón de comparación empleado para la diferencia de color  $\Delta E$  se determinó en base al valor de  $L^*$  propuesto por Gormley (1975) con  $L^*= 93$  como excelente y hongos con valores  $<80$  o  $<60$  como inaceptable en los niveles de blancura mayoristas del consumidor para hongos en general los valores de  $a^*=-2$  y  $b^*=0$  (todos adimensionales), el  $\Delta E$  se calculó empleando la ecuación 9 descrita en la metodología de investigación experimental.


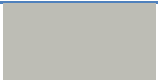



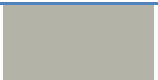
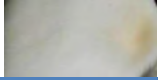
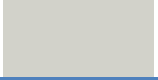
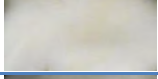
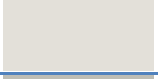


Enlazado a la medición de este parámetro, se menciona el índice de decaimiento correspondiente a cada tecnología de almacenamiento, ya que el incremento en el oscurecimiento es una clara señal de envejecimiento y un indicador de frescura (Ocaña et al, 1995).

A continuación en el cuadro 20 se muestran los resultados de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  e IO usando MAP en refrigeración a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ . Se aprecia el valor de  $L^*$  promedio de 81.33.

Debido al color blanco de la seta, en general este valor fue apenas aceptable a lo largo de los 10 días de almacenamiento (valores significativamente diferentes  $P<0.05$ ), con excepción del tercer día con 73 (que ya es un valor inaceptable si consideramos 80 como mínimo aceptable), el valor se modifica dependiendo de las condiciones de la seta, es decir, su estado al momento del envasado, como porcentaje de agua, sustrato de cultivo, tiempo transcurrido desde la cosecha hasta el envasado, frecuencia de riego durante el cultivo e incluso la temporada del año.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuadro 20. Valores de L\*, a\*, b\*, ΔE e IO promedio durante el almacenamiento usando MAP en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

| Uso de MAP      |   |   |       |       |      |       |       |
|-----------------|---|---|-------|-------|------|-------|-------|
| Día             | Seta ostra  | Imagen Promediada   | L*    | a*    | b*   | ΔE    | IO    |
| 1               |  |  | 85    | 0     | 2    | 8.26  | 56.58 |
| 2               |  |  | 83    | -1    | 7    | 12.24 | 58.23 |
| 3               |  |  | 73    | -1    | 6    | 20.90 | 58.12 |
| 5               |  |  | 84    | -1    | 5    | 10.34 | 57.43 |
| 8               |  |  | 89    | 0     | 5    | 6.40  | 57.60 |
| 10              |  |  | 77    | -1    | 4    | 16.52 | 57.17 |
| <b>Promedio</b> |   |   | 81.33 | -0.67 | 4.83 | 12.44 | 57.53 |

El valor de a\* no presenta variación significativa ( $P > 0.05$ ), significa que no existe color rojo pero si una ligera y poco significativa presencia de verde, esto se debe a la pérdida de blancura y textura de la seta a causa de la deshidratación, que en este caso no existe. Los valores de b\* demostraron que existe una significativa ( $P < 0.05$ ) aunque tenue presencia de oscurecimiento enzimático con mayor predominación en el segundo y tercer día de almacenamiento.


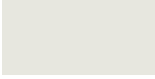


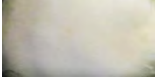







El ΔE se incrementó con forme al tiempo de almacenamiento y a los cambios individuales, los valores mayores se lograron en el décimo día con 16.52 y dando un promedio total de 12.44, sin exceder el valor máximo permitido, el valor promedio del IO se mantuvo en 57.53, por lo tanto se logró una conservación aceptable de la calidad visual. El índice de decaimiento en general para esta tecnología de conservación se mantuvo en el nivel 2 (ver cuadro 11).

En el cuadro 21 se presentan las imágenes y los valores de L\*, a\*, b\*, ΔE e IO correspondiente al empleo de NLS como recubrimiento en refrigeración.



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cuadro 21. Valores de L\*, a\*, b\*, ΔE e IO promedio durante el almacenamiento usando NLS en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

| Uso de NLS      |   |   |       |       |      |       |       |
|-----------------|---|---|-------|-------|------|-------|-------|
| Día             | Seta ( <i>Pleurotus</i><br><i>Ostreatus</i> )                                     | Imagen<br>Promediada  | L*    | a*    | b*   | ΔE    | IO    |
| 1               |  |  | 91    | -1    | 4    | 4.58  | 56.96 |
| 2               |  |  | 74    | 0     | 3    | 19.23 | 57.10 |
| 3               |  |  | 89    | 0     | 6    | 5     | 57.95 |
| 5               |  |  | 76    | -1    | 6    | 18.05 | 58.03 |
| 8               |  |  | 74    | 0     | 3    | 19.23 | 57.10 |
| 10              |  |  | 80    | -2    | 13   | 18.49 | 60.59 |
| <b>Promedio</b> |   |   | 80.66 | -0.66 | 5.83 | 14.09 | 57.96 |


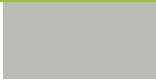


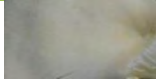



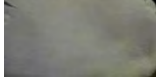

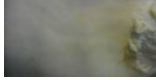

Para L\* se tienen valores próximos al 93 excelente en el primer día de almacenamiento, lo que indica un color blanco característico de la seta, el promedio de los 10 días de almacenamiento se encuentra en el rango aceptable (80.66). Los valores de a\* permanecen no significativos hasta el octavo día ( $P > 0.05$ ), únicamente se aprecia mayor tendencia al verde en el décimo día.

Para el caso de la coordenada b\* se aprecian valores positivos y significativos ( $P < 0.05$ ) en todos los días, lo que indica la tendencia al color amarillo producto de la actividad enzimática y particularmente marcado en el décimo día. Con respecto al diferencial de color ΔE, se mantuvo muy cercano al valor máximo permitido (20) con promedio total de 13, el menor valor se obtuvo en el primer y tercer día con 4.58 y 5 respectivamente, los demás días se mantuvieron en 18 y 19. El IO se mantuvo en 57.9, por lo tanto la calidad visual aceptable se cumple pese a que fueron superiores los valores de a\*, b\* y ΔE si se compara con el uso de MAP. El índice de decaimiento con NLS partió con valor de 2 y se mantuvo en 3 durante la experimentación, producto de la presencia enzimática (ver cuadro 11).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el cuadro 22 se presentan las imágenes y los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  e IO correspondiente al empleo de MAP-NLS como recubrimiento en refrigeración.

Cuadro 22. Valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  e IO promedio durante el almacenamiento usando MAP-NLS en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

| Uso de MAP-NLS  |   |   |       |       |       |            |       |
|-----------------|---|---|-------|-------|-------|------------|-------|
| Día             | Seta ( <i>Pleurotus ostreatus</i> )   | Imagen Promediada   | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ | $\Delta E$ | IO    |
| 1               |    |    | 76    | -1    | 2     | 17.14      | 56.37 |
| 2               |    |    | 70    | -2    | 3     | 23.28      | 56.54 |
| 3               |    |    | 74    | -2    | 7     | 20.34      | 58.22 |
| 5               |    |    | 76    | -2    | 8     | 18.89      | 58.59 |
| 8               |   |   | 63    | -2    | 5     | 30.47      | 57.62 |
| 10              |  |  | 61    | -2    | 6     | 32.61      | 58.22 |
| <b>Promedio</b> |   |   | 70    | -1.83 | 5.16  | 23.78      | 57.59 |




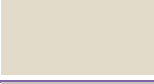








Con la tecnología combinada de MAP-NLS se percibe un valor de  $L^*$  de 61 al décimo día que ya se considera inaceptable tomando en cuenta el mínimo de 80, es decir, no es próxima a blanco y se encuentra en valores intermedios de la escala de grises, estos datos no son consecuencia del empleo de las NLS, tampoco es causado por la MAP, en este caso se debe exclusivamente a las condiciones del cultivo, ya que no se realizaron los riegos en cantidad y tiempo adecuados, por lo que las setas se encontraban deshidratadas al momento del envasado (la deshidratación está relacionada con el oscurecimiento y cuarteadura del sombrero), éste es el motivo de su opacidad y asimismo causó que en la coordenada  $a^*$  se haya manifestado una tendencia significativa ( $P < 0.05$ ) de valores negativos (color verde), por lo mismo, para esta tecnología combinada existe una tendencia más marcada hacia las tonalidades amarillas, referido a la presencia de quinonas, en comparación al empleo único de NLS.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El  $\Delta E$  comprueba que la calidad inicial de las setas no fue la adecuada, y el emplear MAP-NSL no logró mantenerla, ya que la función de una MAP y NLS es sólo de conservar los atributos de calidad por mayor tiempo, no de mejorarlos. Se superó el valor máximo permitido de  $\Delta E$  durante prácticamente todo el almacenamiento, en el primer día se tuvo un dato de 17.14 y se fue incrementando con el paso del tiempo, obteniéndose un promedio de 23.78, aunque el IO se mantuvo promediado en 57.59. El índice de decaimiento inicial fue de 3 y así se mantuvo en el almacenamiento (ver cuadro 11).

Ahora en el cuadro 23 se muestran los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  e IO para la CB en refrigeración.

Cuadro 23. Valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  e IO promedio para la corrida blanco (CB) sin tecnología coadyuvante de conservación en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

| CB              |   |   |       |       |       |            |       |
|-----------------|---|---|-------|-------|-------|------------|-------|
| Día             | Seta <i>Pleurotus</i>   | Imagen  | $L^*$ | $a^*$ | $b^*$ | $\Delta E$ | IO    |
|                 | <i>Ostreatus</i>  | Promediada  |       |       |       |            |       |
| 1               |  |  | 78    | 0     | 10    | 18.02      | 59.97 |
| 2               |  |  | 80    | 0     | 10    | 16.40      | 59.86 |
| 3               |  |  | 79    | 1     | 5     | 14.89      | 59.10 |
| 5               |  |  | 64    | -1    | 4     | 29.29      | 57.44 |
| 8               |  |  | 91    | 0     | 8     | 8.24       | 58.62 |
| 10              |  |  | 80    | -1    | 13    | 18.41      | 60.88 |
| <b>Promedio</b> |   |   | 78.66 | -0.16 | 8.33  | 17.54      | 59.31 |

En este cuadro se aprecia que se encuentra en un valor no aceptable de color blanco, que es posible notar en el promedio de la coordenada  $L^*$ , especialmente en el quinto día, ya que las condiciones del cultivo no fueron las idóneas, pero, los valores de la coordenada  $a^*$  permanecen no significativos ( $P > 0.05$ ) y prácticamente en cero. La actividad enzimática reflejada por la coordenada  $b^*$

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

---

se aprecia elevada en especial en los primeros dos días, esto a consecuencia de la exposición al O<sub>2</sub>, pues se envasó en concentración atmosférica, posteriormente se mantuvo del tercer al quinto día con valores de 5 y 4 para incrementarse en el octavo y décimo día con 8 y 13, promediando 8.33, siendo este superior al empleo de MAP, NLS y MAP-NLS si se destaca que la calidad era tampoco óptima al momento del envasado.

El  $\Delta E$  y el IO manifiestan que el comportamiento del color es muy inestable si no se emplea algún coadyuvante de conservación, pese a ello, el quinto día (29.29) fue el único que sobrepasó significativamente ( $P < 0.05$ ) el  $\Delta E$  permitido, el IO tuvo un valor promedio de 59.3, que de igual manera fue significativamente ( $P < 0.05$ ) superior a los demás. El índice de decaimiento se mantuvo en 2, ya que únicamente existía presencia enzimática pero no hubo evidencia de deshidratación (ver cuadro 11).

Como fue posible apreciar, el carácter cualitativo del promedio de las coordenadas L\*, a\*, b\* incluso es capaz de dar referencias de las condiciones del cultivo y de su comportamiento durante todo el envasado y almacenamiento, sin que la materia en estudio sufra algún tipo de daño. En la medida que la seta se deshidrata pierde luminosidad y claridad, y consiguientemente su color blanco característico. Es importante partir de materia prima de calidad, ya que tanto el envasado en MAP, como el usar NLS como recubrimiento nunca producen un incremento en la calidad del producto, simplemente frenan el proceso de deterioro natural.

El mayor control de generación de pigmentos oscuros causados por la PFO se logró empleando MAP como único colaborador a la conservación en refrigeración, las NLS no interfieren en el color de la seta, no disminuye su tonalidad ni su luminosidad de manera considerable, por lo que no se ve afectado este parámetro sensorial, el O<sub>2</sub> es lo que lo modifica, pues se envasó a concentración atmosférica. El  $\Delta E$  demuestra que la MAP es el mejor conservador de color de la seta y que no emplear alguna tecnología adicional al frío provoca que el color de la seta fluctúe y sea totalmente dependiente de la calidad inicial de la misma, sin lograr controlarla, es por eso que en todos los

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

días de almacenamiento es tan variante, aunque sólo excedió el  $\Delta E$  máximo permitido en el quinto día y el IO se mantuvo constante.

Monitorear el IO y  $\Delta E$  son una importante herramienta de control en la calidad de la seta, ya que el marchitamiento y la senescencia en los hongos manifiesta la expansión y ruptura del sombrero, al igual que elongación de las laminillas y derramamiento de esporas reproductivas; por lo tanto, esta maduración también conduce al deterioro general de las células con una concurrente pérdida de humedad e incremento en oscurecimiento, según lo reportó Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007).

La figura 55 muestra el comportamiento del índice de oscurecimiento (IO) de MAP, NLS, MAP-NLS y CB en refrigeración.

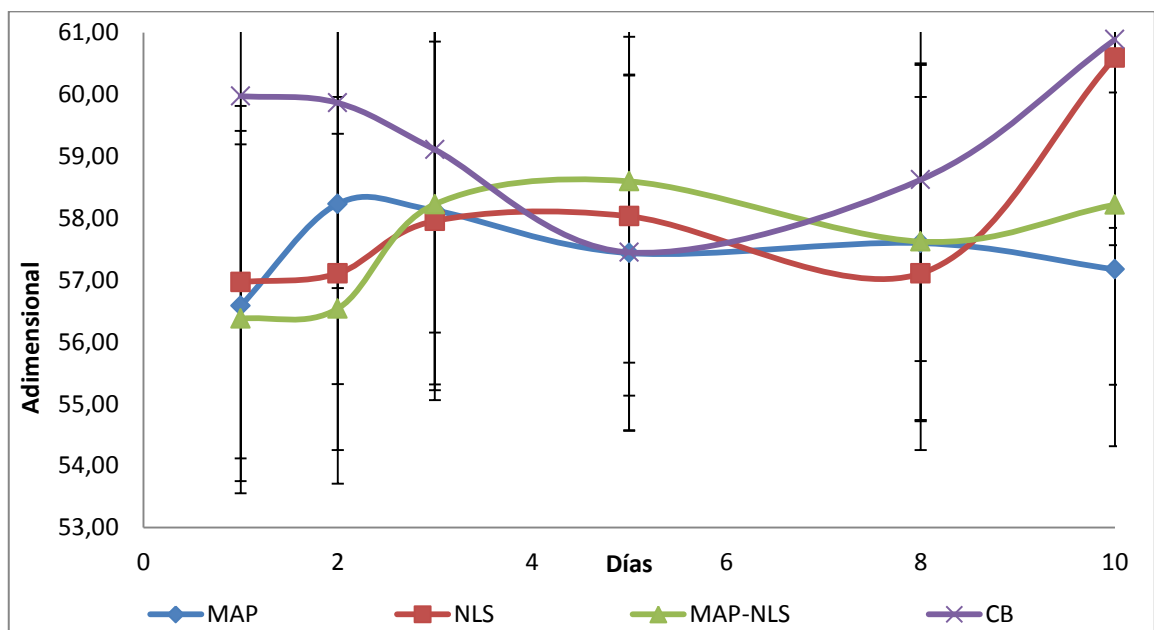


Figura 55. Comportamiento del índice de oscurecimiento para cada tecnología de conservación (MAP, NLS, MAP-NLS y CB) en refrigeración ( $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

Se aprecia la inconsistencia de IO a lo largo del almacenamiento (todos los valores son significativamente diferentes  $P < 0.05$ ), la MAP es en general la tecnología de conservación que mantiene una mayor estabilidad y una menor cantidad de éste parámetro, al décimo día reporta 57.18, por el contrario, empleando NLS se observa mayor inestabilidad, llegando a su máximo valor al



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

décimo día con 60.59, la MAP-NLS mantiene un valor intermedio con 58.22 en el último día, aunque también es inestable y la CB es la que mayor IO presenta desde el inicio (primer día) con 59.9 hasta el final con 60.88 (décimo día).

### 3.3.4 Cuantificación de Polifenoloxidasas (PFO)

Para complementar el análisis de color y particularmente la tendencia hacia el color amarillo-café y el IO, se procederá a exponer los valores obtenidos de la cuantificación de la enzima responsable de dichos cambios, que es la PFO. A continuación se presenta el cuadro 24 que muestra los resultados alcanzados en cada coadyuvante de conservación.

Cuadro 24. Actividad de la PFO en cada tecnología de conservación.

| Días | MAP                       |                      | NLS                       |                      | MAP-NLS                   |                      | CB                        |                      |
|------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
|      | Unidades de Actividad (U) | Unidad Relativa U/mL | Unidades de Actividad (U) | Unidad Relativa U/mL | Unidades de Actividad (U) | Unidad Relativa U/mL | Unidades de Actividad (U) | Unidad Relativa U/mL |
| 0    | 0                         | 0                    | 0                         | 0                    | 0                         | 0                    | 0                         | 0                    |
| 1    | 3                         | 15                   | 23.2                      | 116                  | 19.8                      | 99                   | 23                        | 115                  |
| 2    | 4                         | 20                   | 8.5                       | 42.5                 | 4.8                       | 24                   | 17                        | 85                   |
| 3    | 2                         | 10                   | 11.5                      | 57.5                 | 19.5                      | 97.5                 | 23.5                      | 117.5                |
| 5    | 17.5                      | 87.5                 | 9                         | 45                   | 36.5                      | 182.5                | 20.5                      | 102.5                |
| 8    | 19                        | 95                   | 19                        | 95                   | 3.8                       | 19                   | 30.5                      | 152.5                |
| 10   | 6                         | 30                   | 13.5                      | 67.5                 | 10.8                      | 54                   | 40.5                      | 202.5                |

Los valores promedio de U/mL son concordantes con los resultados de IO como se podrá visualizar con claridad en la figura 56 y así observar el avance de la PFO en el almacenamiento donde se aprecia que usando MAP se obtiene significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor control y estabilidad en el comportamiento y actividad de la PFO (85.18% menor que la CB), si se combina la MAP-NLS se obtiene un valor final 73.33% significativamente ( $P < 0.05$ ) inferior a la CB, pero con mayor inestabilidad en comportamiento. Las NLS no lo logran controlar la actividad de la PFO, debido a que está en función de la concentración de  $O_2$ ,

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

aunque el valor final se encuentra significativamente ( $P < 0.05$ ) distante del valor de la CB (66.66% de diferencia).

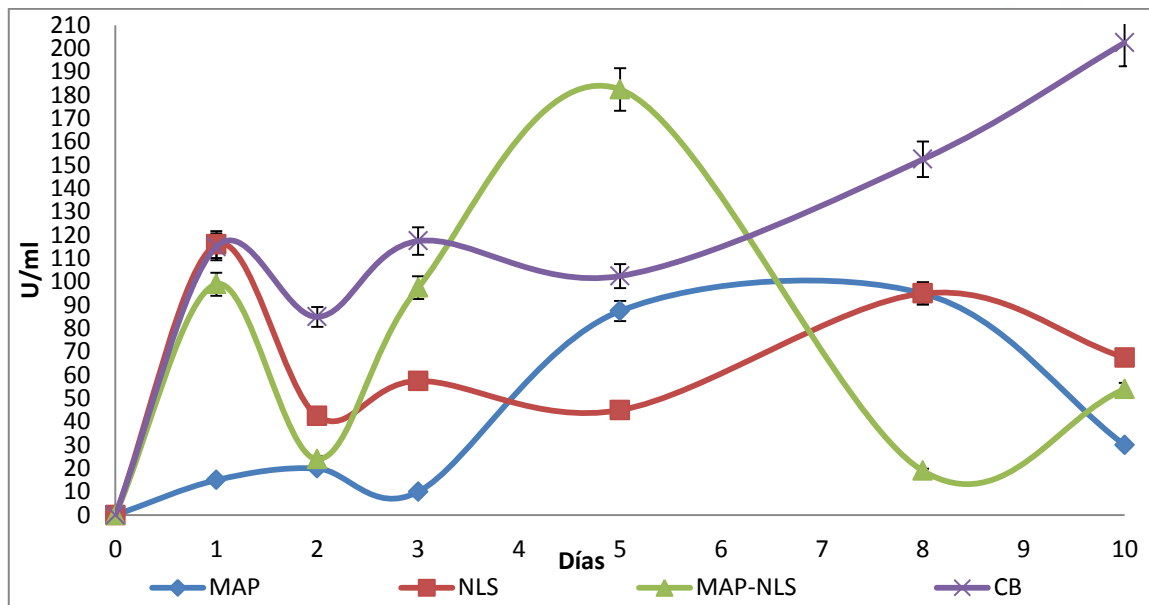


Figura 56. Actividad de la PFO con cada tecnología de almacenamiento en refrigeración.

Como se supuso, las condiciones de almacenamiento de la CB, es decir, el no emplear coadyuvante de almacenamiento y el envasar en concentraciones atmosféricas propicia que aumente la actividad de la PFO.

### 3.3.5 Carga térmica a retirar por refrigeración

Se presentan los valores de calor vital a retirar por cada envase en 24 horas de almacenamiento de los objetivos particulares. Para comenzar el análisis, se exponen en la figura 57 los resultados del calor vital total en Kcal por cada 1000 Kg en 24 horas de refrigeración a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ . Para éste fin se emplearon las ecuaciones 12 y 13 descritas en la metodología.

Debido a que el calor vital se encuentra en función de la producción de  $\text{CO}_2$ , el empleo de la MAP resulta ser la tecnología que significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor calor produce, ya que se parte de una producción de  $\text{CO}_2$  muy acelerada durante las primeras 24 horas, además del 10% adicionado desde el envasado,

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

este se traduce en calor que debe retirarse dentro del recinto frigorífico. MAP-NLS presenta un valor semejante a la MAP, pero 93.14% significativamente ( $P < 0.05$ ) mayor que la CB. La CB produce significativamente ( $P < 0.05$ ) menor calor vital, debido a que la producción de  $\text{CO}_2$  comienza a manifestarse de manera lenta, pero al final del almacenamiento se incrementa de forma incontrolable.

Nota: Los cálculos se efectuaron con el porcentaje total de  $\text{CO}_2$ .

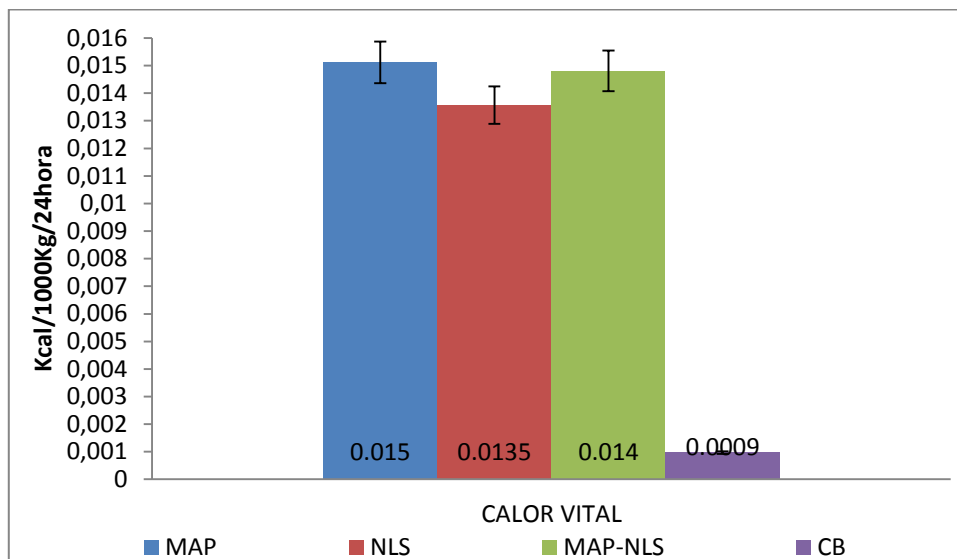


Figura 57. Comparativo de calor vital a retirar por refrigeración a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  empleando cada tecnología de conservación.

Las concentraciones de  $\text{CO}_2$  por encima del 5% inhibe el crecimiento de la mayor parte de las bacterias que provocan alteraciones, especialmente las especies psicrófilas, que crecen en una amplia gama de alimentos refrigerados (Parry, 1993), por supuesto que la seta ostra no queda exenta de esto, sin embargo, la seta comienza a emplear más energía metabólica a elevadas concentraciones de  $\text{CO}_2$ , misma energía que se traduce en carga térmica a retirar, es por esta razón que la demanda de potencia frigorífica es mayor con la MAP, además, al limitar el  $\text{O}_2$  a la seta, ocurre una alteración metabólica consecuencia de la asfixia que experimentan, entrando en estrés y acelerando la respiración junto con el calor metabólico.

### CONCLUSIONES

Aplicando MAP se obtiene mejor control de peso durante el almacenamiento en refrigeración (20.91% menos peso perdido que usando NLS y 3.9% menos peso perdido comparado con la CB). De igual manera es la tecnología que mejor controla el índice de permeabilidad al vapor de agua (WVTR) (33.78% menor que la CB), la permeabilidad (33.96% menor en comparación con la CB) y la permeabilidad al vapor de agua (WVP) (34.78% inferior a la CB). Pero, agota el O<sub>2</sub> desde el primer día de envasado, y por lo tanto es la tecnología que mayor producción de CO<sub>2</sub> registra (98.4% de este gas al décimo día de almacenamiento). Al agotar rápidamente el O<sub>2</sub>, su TR al décimo día se ve disminuida un 99.3%, menor que la CB y por consecuencia la TR del CO<sub>2</sub> es de mayor valor que las demás tecnologías (5.26% superior que la CB) y el QR se mantiene muy superior a la unidad durante todo el almacenamiento (8-20.5). También es la tecnología que mejor controla los valores L\*, a\*, b\* y ΔE, ya que es la que mejor control de color aporta y contribuye a un menor valor de IO (6.0% menor que la CB y 5.6% menor que las NLS). Enzimáticamente es la mejor tecnología para detener la acción de la PFO (85.18% menor que la CB) y por consecuencia es la indicada para retardar el decaimiento de la seta ostra. El inconveniente es que las condiciones anaerobias que genera la MAP aumentan el riesgo de *Clostridium botulinum* tal como lo reportó Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007), y además va a demandar mayor potencia frigorífica durante el almacenamiento.

Emplear NLS es una buena opción para el control de la pérdida de peso (17.64% superior a la CB), mantiene a la WVTR en un valor aceptable (22.97% menor que CB), lo mismo genera con la permeabilidad (22.64% menor que la CB) y por consecuencia ocurre lo mismo con la WVP (23.18% menor que la CB). Las NLS provocan un cambio en la atmósfera superficial de la seta que

## CONCLUSIONES

---

promueve un aumento en la actividad respiratoria del producto, es la tecnología que más rápido agota el  $O_2$  (consumiendo 20.8% en el primer día) y además produce un 97% de  $CO_2$  en el décimo día. Su TR de  $O_2$  al décimo día se encuentra prácticamente detenida debido a que ya no tiene más  $O_2$  que consumir, pero la TR de  $CO_2$  es apenas 2.28% superior a la TR de la CB. Su QR no es tan elevado como el de la MAP, pero sigue siendo superior a la unidad (2-4.82). Las NLS recién aplicadas no interfieren en el color de la seta, no disminuye su tonalidad ni su luminosidad, durante el almacenamiento mantiene el  $\Delta E$  por debajo del límite máximo, pero el IO resultó ser superior a las demás tecnologías de almacenamiento (5.67% superior que la MAP) y no logran controlar la actividad de la PFO (55.5% superior que la MAP y 66.6% inferior que la CB), ya que se encuentra sólo en función del  $O_2$  inicial. Por su concentración inicial de  $CO_2$  (atmosférica) la carga a retirar por refrigeración resultó menor que la MAP.

Con las NLS no se logra controlar eficientemente al índice de decaimiento.

Emplear conjuntamente MAP-NLS no resulta positivo para la conservación de la seta, pues le produce alteración metabólica, lo que promueve una mayor pérdida de peso (36.21% superior a la CB), además de no controlar el WVTR, la permeabilidad, ni el WVP, también agota el  $O_2$  desde el primer día de almacenamiento (4.4% de  $O_2$  agotado de 5% inicial), produce  $CO_2$  de manera acelerada a tal grado que su producción se detiene a partir del quinto día de almacenamiento, causando que el TR del  $O_2$  y del  $CO_2$  se detengan en el décimo día, lo que propicia condiciones anaerobias originando acetaldehídos y etanol, que son percibidos como sabor, además aceleran la descomposición del tejido y el proceso de deterioro poscosecha. Como consecuencia el QR es demasiado inestable. Debido a la concentración inicial del  $O_2$ , el IO y la polifenoloxidasas se controlan adecuadamente (IO 4.36% inferior que la CB y PFO 73.33% inferior que la CB). El calor a retirar es 3.6% superior que si empleáramos únicamente a las NLS, aparte, los costos se incrementan, ya que son dos tecnologías actuando, por lo tanto la inversión es doble.

Por lo tanto, la MAP es la tecnología que mayores ventajas aporta a la conservación de la seta ostra.



# RECOMENDACIONES

---

Capítulo IV

**CAPÍTULO IV**

---

**2014**

### CAPÍTULO IV RECOMENDACIONES

#### *4.1 Propuesta de envasado para la seta ostra*

Para cubrir las especificaciones de envasado requeridas para un producto en específico, es preciso efectuar una combinación de películas de polímeros, ya que de esta manera se logra conjuntar los atributos de varios materiales y crear una condición única que se ajuste al producto. En necesario considerar tanto los atributos técnicos como los de comerciabilidad del material, que son:

- ✓ Permeabilidad al CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y vapor de agua
- ✓ Características de soldabilidad.
- ✓ Aptitud para el termoformado.
- ✓ Propiedades anti-vaho y claridad.
- ✓ Nivel de rigidez requerido y resistencia a la punción.
- ✓ Coste por metro cuadrado.
- ✓ Aptitud para unir con otras películas / pintar la superficie y admitir códigos y etiquetas.
- ✓ Disponibilidad de la película y tiempo necesario para suministro.

(Parry, 1993)

Basado en estos parámetros, se propone un envase multicapa laminado, de formado-horizontal-llenado-soldado, este sistema permite descargar el producto directamente en la lámina flexible para inyección de gas facilitando la transferencia del mismo y minimizando los daños mecánicos (Parry, 1993) en la seta ostra.

Una propuesta de gran viabilidad es el Film PD-960 de la marca CRYOVAC<sup>®</sup>, creado especialmente para preservar frescura de vegetales en función a sus

## RECOMENDACIONES

---

tasas de respiración natural, controlar la pérdida de aromas y sabores pronosticado a temperaturas mantenidas de 1-4°C. Es una película de alto brillo, excelente claridad y a prueba de fugas para MAP. Las propiedades de éste material se pueden apreciar en el Anexo II.

EDV Packaging recomienda un envase denominado ENVAHOT 61, para conservas de fruta, ensaladas de frutas, aceitunas, entre otras, incluso envasado en MAP; compuesto de PP/EVOH/PP, de espesor mínimo de 300 micras y espesor máximo de 2500 micras, con propiedades de antiestático, barrera UV, brillo extremo, color, translúcido, barrera a gas, barrera a vapor de agua, resistencia a grasas y barrera de aromas. Las propiedades de este envase las puede consultar en el anexo III.

En el cuadro 25 se presenta el comparativo de permeabilidad al O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y WVTR de cada película flexible propuesta con los resultados experimentales de la seta. Se exponen los datos de consumo de O<sub>2</sub> por parte de la seta en 9 horas de almacenamiento a temperatura ambiente (condiciones críticas de almacenamiento), esto se efectúa para cubrir la posibilidad de no respetar la cadena de frío, así que el empaque flexible debe ser capaz de mantener su funcionalidad deseada, que para este caso es dosificar en mínima cantidad la entrada de O<sub>2</sub> al interior del envase y permitir el intercambio de CO<sub>2</sub> con el ambiente, pero restringiendo la salida de vapor de agua de su interior.

Experimentalmente se observó que la seta posee máximo consumo de O<sub>2</sub> durante las primeras cinco horas de almacenamiento tal como lo reportó Kim (2005), se comprobó que es posible alcanzar condiciones de anaerobiosis, ya que la seta consume más O<sub>2</sub> del que el envase consigue reincorporar a su interior, simplemente la seta a las 2 horas de envasado produce 950.79 cm<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/Kg\*2hrs. Un fenómeno semejante se aprecia si se empleara el envase ENVAHOT 61, cuya permeabilidad es aún menor al envase utilizado durante la experimentación. De manera contraria, si se empleara el PD-960 Film de CRYOVAC® cabría la posibilidad de que ocurrieran oscurecimientos enzimáticos, ya que permite demasiado intercambio de O<sub>2</sub> con el medio, haciendo de esto su principal desventaja.



## RECOMENDACIONES

Cuadro 25. Comparativo de permeabilidades al CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y WVTR del envase empleado durante la experimentación, los envases propuestos y resultados experimentales de la seta.

|  | Dato Experimental de la Seta ostra  | Película plástica VACUUM BAG (3MIL). ITISA <sup>®</sup> Empleado   | CRYOVAC <sup>®</sup> PD-960 Film Propuesto                                       | EDV Packaging <sup>®</sup> , ENVAHOT 61 PP/EVOH/PP Propuesto                    |
|--|---|--|--|---|
| <b>Permeabilidad O<sub>2</sub></b>                     | <b>2.5090</b><br>(cm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /Kg 9hrs)<br>(26°C., 1 atm)    | <b>70.0</b><br>cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> 24hrs               | <b>6000-8000</b><br>cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /24 hrs.<br>(22°C., 1 atm)   | <b>0.01-0.10</b><br>(cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /24hrs)<br>(23°C: 0% H.R.) |
| <b>Permeabilidad CO<sub>2</sub></b>                    | <b>827.5349</b><br>(cm <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /Kg 9hrs)<br>(26°C., 1 atm) | -  | <b>19000-22000</b><br>cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /24 hrs.<br>(22°C., 1 atm) | -   |
| <b>Índice de Permeabilidad al Vapor de Agua (WVTR)</b> | <b>0.4069</b><br>g/m <sup>2</sup> 24hrs<br>(29°C,<br>95.5% HR)                  | <b>7.5</b><br>g / m <sup>2</sup> 24hrs<br>A 38.2 +- 2°C,<br>90% RH | <b>0.90-1.10</b><br>g/100sq.m <sup>2</sup> /24hrs<br>(22°C, 100% HR)             | <b>0.10-0.30</b><br>g8/m <sup>2</sup> /24hrs<br>(38°C, 0% HR)                   |

(-) Dato no proporcionado por el proveedor.

El CO<sub>2</sub> es un parámetro de mayor interés, sin embargo, no se tienen datos de permeabilidad de este gas para todos los envases. De manera experimental se observó que la producción de CO<sub>2</sub> es de forma exponencial; el envase empleado no logró extraer el CO<sub>2</sub>, lo cual permitió incluso que se obtuvieran valores del 98% de concentración en los 10 días de almacenamiento. Esta situación se soluciona al emplear el PD-960 Film de CRYOVAC<sup>®</sup>, que permite que a las 9 horas de almacenamiento se controle la emisión de CO<sub>2</sub> de la seta que es de 827.53 cm<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>/Kg\*9hrs y de 1536.55 cm<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>/Kg\*2hrs, pues a las 9 horas el PD-960 tiene una permeabilidad al CO<sub>2</sub> de 7125 cm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>/Kg\*9hrs y a las 2 horas de 1583.33 cm<sup>3</sup>CO<sub>2</sub>/Kg\*9hrs, lo que únicamente permite una evacuación completa de CO<sub>2</sub>, sin embargo, esto ya no sería viable si se

## RECOMENDACIONES

---

pretende envasar con una MAP, pero sí, si se requiere que sea un envasado simple.

Cliffe-Byrnes y O'Beirne (2007) calculó que la MAP adecuada para hongos debe de ser de 5% O<sub>2</sub> y 5% CO<sub>2</sub> basado en su TR y en un rango de temperatura de 4 a 16°C, de la misma manera calculó que el empaque comercial debe de tener un espesor de 1 mm (25.1 μm) y dimensiones de 10 cm X 20 cm (área 400 cm<sup>2</sup>) conteniendo 100 g de producto. Con estas características se requiere que la permeabilidad del envase sea de 7500 ml/m<sup>2</sup>\*24h\*atm a 4°C para O<sub>2</sub> y de 24000 ml/m<sup>2</sup>\*24h\*atm para CO<sub>2</sub> a la misma temperatura. Los mismos autores indican que para una aplicación exitosa de la MAP a productos como los hongos con elevada TR se requieren valores de permeabilidad elevados del envase, ya que si los coeficientes absolutos de permeabilidad son muy pequeños, existe una posibilidad muy alta de anoxia y un indeseado alto nivel de CO<sub>2</sub> dentro del empaque; tal como ocurrió experimentalmente con el envase empleado.

Al discutir el parámetro de humedad y comparar el WVTR de la seta con el WVTR del envase empleado para la experimentación, es notable que existe mayor permeabilidad al vapor de agua por parte del envase experimental, sin embargo, esto no ocurrió así en refrigeración a 4°C, ya que los envases en general presentaban demasiado condensado para las tres tecnologías de conservación (MAP, NLS y MAP-NLS). Si lo comparamos con los demás envases, se aprecia que el PD-960 permitiría 55.5% mayor intercambio significativo (P<0.05) de vapor de agua con el medio ambiente si se compara con el ENVAHOT 61, que admitiría 25% mayor control significativo (P<0.05) en este parámetro y por consecuencia en la pérdida de peso de la seta durante el almacenamiento.

Envases microperforados han sido desarrollados para crear atmósferas modificadas con moderadamente bajo, pero aceptables niveles de O<sub>2</sub> (Cliffe-Byrnes and O'Beirne, 2007).






## RECOMENDACIONES

### 4.2 Consecuencia de un envasado inadecuado para la seta ostra

En el cuadro 26 se muestra el daño que se le ocasiona a la seta ostra si no se realiza una adecuada selección del material de envasado pese a que las condiciones de almacenamiento sean las idóneas.

Si no se tiene cuidado con la elección del envase para la seta ostra, por ejemplo, si se escoge un envase de alta barrera, se acumulará el CO<sub>2</sub>, logrando incluso que se infle el envase, se producirá una fermentación producto de la anaerobiosis con liberación de subproductos como etanol, formaldehidos, entre otros, que otorgarán un sabor alcohólico, un ablandamiento textural y un color café generalizado en la seta ocasionado por el etanol, de la misma manera, la humedad desprendida por la seta permanecerá en forma de condensado en el interior del envase, lo que dará pie al desarrollo de hongos (microorganismos) característicos de la seta, en especial al romper la cadena de frío.

Cuadro 26. Deterioro de la seta ostra durante el almacenamiento como consecuencia de un envase incorrecto.

| Imagen  | Deterioro durante el almacenamiento   |
|---|---|
|  | <p>Figura 58.<br/>Envase inflado por efecto del CO<sub>2</sub> y de subproductos de fermentación.</p>                       |
|  | <p>Figura 59.<br/>Modificación textural de la seta por consecuencia del etanol (ablandamiento y oscurecimiento).</p>        |
|  | <p>Figura 60.<br/>Condensado dentro del envase por mal control de HR y baja permeabilidad al WVTR por parte del envase.</p> |

# ANEXOS

---

## ANEXO I



Cuadro 27. Propiedades y especificaciones del material de envasado (datos proporcionados por el proveedor).

| PROPIEDADES   |    | UNIDAD   | VALOR TÍPICO | MÉTODO DE PRUEBA |
|---|----|--|--------------|------------------|
| <b>Espesor</b>  |    | mil (MIC)  | 3 (75)       | FTM              |
| <b>Espesor Desviación</b>                                 |    | %  | +11% / - 5%  | FTM              |
| <b>Resistencia a la tracción @ Punto de Ruptura</b>       | MD | Mpa  | 24           | ASTM D882        |
|   | TD | Mpa  | 24           | ASTM D882        |
| <b>Elongación @ Punto de Ruptura</b>                      | MD | %  | 320          | ASTM D882        |
|   | TD | %  | 320          | ASTM D882        |
| <b>Coefficiente de Fricción (C.O.F) (IN/IN)</b>           | US |  | 0.35         | ASTM D1894       |
|   | UK |  | 0.35         | ASTM D1894       |
| <b>Tasa de Transmisión de Luz</b>                         |    | %  | 15           | ASTM D1003       |
| <b>Calor de sellado recomendado. Rango de Temperatura</b> |    | °C   | 150-180      | FTM              |
| <b>Fuerza de Sellado por Calor</b>                        |    | N/15mm   | 20@160°C     | FTM              |
| <b>Resistencia al Rasgado (90°)</b>                       | MD | KN/m   | 100          | FTM              |
|   | TD | KN/m   | 110          | FTM              |
| <b>Tamaño del Gel</b>                                     |    | mm   | 1.0 less     | FTM              |
| <b>Conteo de Gel</b>                                      |    | No./m <sup>2</sup>   | 15 less      | FTM              |
| <b>O<sup>2</sup>TR (A 23 +- 2°C, Seco)</b>                |    | cc / 100in <sup>2</sup> . 24hr<br>(cc/m <sup>2</sup> . 24hr) | 4.52 (70.0)  | ASTM D3985       |
| <b>WVTR (A 38.2 +- 2°C, 90% RH)</b>                       |    | g / 100in <sup>2</sup> . 24hr<br>(g / m <sup>2</sup> . 24hr) | 0.48 (7.5)   | ASTM F1249       |



## ANEXO II

Cuadro 28. Propiedades y especificaciones de la propuesta de material de envasado (datos proporcionados por el proveedor). **CRYOVAC PD-960 Film.**

| PROPIEDADES  | VALORES TÍPICOS |
|--|-----------------|
| Esesor (mic)   | 125             |
| Temperatura Mínima de Uso  | 0°F (-17.77°C)  |
| Temperatura Máxima de Almacenamiento (máximo dos años)                                   | 90°F (32.22°C)  |
| Densidad @ 73 °C. (g/cc)   | 0.92            |
| Claridad (%)   | 75              |
| Opacidad (%)   | 6.5             |
| Brillo (%)   | 84              |
| Velocidad de Transmisión de O <sub>2</sub>   | 6000-8000       |
| Velocidad de Transmisión de CO <sub>2</sub><br>Cc /m <sup>2</sup> /24 hrs. (73°F.,1 atm) | 19000-22000     |
| Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua<br>gms/100sq.in./24hrs.,(73°F.,100% HR)        | 0.90-1.10       |
| Resistencia al Impacto (cm/Kg)   | 26              |
| Coefficiente de Fricción<br>(Película-a-Película, estática)                              | 0.25            |
| Resistencia a la Tracción (psi)  | 12000           |
| Elongación @ Punto de Ruptura (%)  | 105             |
| Módulo de Elasticidad (psi)  | 33000           |
| Resistencia al Rasgado (gms)   | 30              |

Fuente: CRYOVAC ®. Sealed Air Corporation.

## ANEXO III

Cuadro 29. Propiedades y especificaciones de la propuesta de material de envasado (datos proporcionados por el proveedor).



| PROPIEDADES  | VALORES TÍPICOS | MÉTODO DE PRUEBA |
|--|-----------------|------------------|
| <b>Espesor (mm)</b>  | 0.3-2.4         |                  |
| <b>Ancho (mm)</b>  | 160-1100        |                  |
| <b>Diámetro exterior (mm)</b>  | Max. 1200       |                  |
| <b>Diámetro interior (mm)</b>  | 76/152/202      |                  |
| <b>Densidad (g/cc)</b>   | 0.92-0.94       |                  |
| <b>Contracción longitudinal (%)</b>  | <16             | ISO 11501        |
| <b>Contracción transversal (%)</b>   | <2              | ISO 11501        |
| <b>*Permeabilidad O<sub>2</sub><br/>(23 °C: 0% HR) cc/m<sup>2</sup>/24h</b>  | 0.01-0.10       | ASTM D3985-81    |
| <b>*Permeabilidad H<sub>2</sub>O<br/>(38 °C: 90% HR) g/m<sup>2</sup>/24h</b> | 0.10-0.30       | ASTM F1249-90    |

\*Aplicable a la lámina de 1 mm,



# BIBLIOGRAFÍA

---

### BIBLIOGRAFÍA

Abcagro. (2011). *Cultivo industrial de setas (Apartado del 1. al 13.)*. Recuperado el 22 Marzo de 2012, de <http://www.abcagro.com/forestales/setas3.asp>.

AIDO. (2004). *Estandarización del Color Según ISO 12647-2*, Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen. Recuperado el 7 de Octubre de 2012 de <http://www.gestiondecOLOR.com/rs/34/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/be0dae633d8e960859a4c4aaaaea32201/rclang/es-ES/filename/estandarizacion.pdf>

Alonso, J. (2006). *Conceptos Básicos Sobre Macromicetos, Curso Orientado Para Aficionados de la Micología*. Recuperado el 9 de mayo de 2012, de <http://www.smlucus.org/UserFiles/Files/CURSO%20COMPLETO%20con%20citas.pdf>

Artés. (2006). *El Envasado en Atmósfera Modificada Mejora la Calidad de Consumo de los Productos Hortifrutícolas Intactos y Mínimamente Procesados en Fresco*, Recuperado el 27 de Febrero de 2012, de Redalyc, de <http://redalyc.uaemex.mx>.

Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). *Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas*. Venezuela: Equinoccio, Universidad Simón Bolívar.

Bidwell, R. G. (1979). *Fisiología Vegetal*. México D. F.: A. G. T. Editors S. A.

Bird, B., Steward, W. y Lightfoot, E. (1992). *Fenómenos de Transporte*. Barcelona: Reverté S. A.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Bonner, J. (1973). *Principios de Fisiología Vegetal*. Madrid: Aguilar S. A. Ediciones.
- Buzby, J. C. (2010). *Nanotechnology for Food Applications: More Questions Than Answers*. *The Journal of Consumer Affairs*, 528.
- Cáceres, M. R. (2005). *Conservación de productor Hortifrutícolas*, de Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropic. Recuperado el 22 de Febrero de 20012 de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5012/cuf0127s.pdf>.
- Carbotecnia S.A. de C.V. (Septiembre del 2004). *Capacidad de Adsorción del Carbón Activo en Fase Gas, Tratamiento de Aire y Gases*, Carbotecnia Boletín Técnico GA-001. Recuperado el 08 de febrero de 2014 de <http://www.carbotecnia.com.mx/PDF/boletines/GA-001.pdf>
- Cardona. (2010). *Hongos: Alimento y Medicina*. de Universidad de Biociencias, Colombia Sede Medellín. Recuperado el 30 de Marzo de 2012 [http://www.reuna.unalmed.edu.co/temporales/memorias/especies/Magistrales/38\\_CONFERENCIA%20hongos%20medicinales-%20UN.2003.htm](http://www.reuna.unalmed.edu.co/temporales/memorias/especies/Magistrales/38_CONFERENCIA%20hongos%20medicinales-%20UN.2003.htm).
- Catalán, R. (2010). *Materiales para Envasado de Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesados*. CSIC, de Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos. Recuperado el 15 de Marzo de 2012, [www.horticom.com773170](http://www.horticom.com773170).
- Chica, B. A. y Osorio, L. S. (2003). *Determinación de la Vida de Anaquel del Chocolate de Mesa sin Azúcar en Una Película de Polipropileno Biorientado*, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manzanales. Recuperado el 6 de Noviembre de 2012 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1518/1/bibianachicasandraosorio.2003.pdf>
- CID-CI, C. D. (28 de Octubre de 2006). *Manipulación y Almacenamiento de Alimentos*. Sociedad Cubana de Logística y Marqueting, Editorial



## BIBLIOGRAFÍA

---

Logicuba. Recuperado el 26 de Febrero de 2012 de <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/archives/HASH3a17.dir/doc.pdf>.

Cliffe-Byrnes, V. & O'Beirne, D. (2007). *Effect of Gas Atmosphere and Temperature on the Respiration Rates of Whole and Sliced Mushrooms (Agaricus Bisporus) - Implications for Film Permeability in Modified Atmosphere Packages*. Journal of Food Science, 72, 197-204.

CODEX STAN 38 (1981). *Norma General del Codex para los Hongos Comestibles y sus Productos*, p. 1, 2, 3, 4 y 10.

Cuesta, J. (2011). *Pleurotus Ostreatus*, Asociación Micológica El Rollo. Recuperado el 22 de Marzo de 2012, de [amanitacesarea.com](http://www.amanitacesarea.com): <http://www.amanitacesarea.com/pleurotus-ostreatus.html>.

Díaz, A., Bárcena, A., Fernández, E., Galván, A., Jorrín, J., Peinado, J., Meléndez-Valdéz, F. T. y Túnez, I. (2012). *Espectros de Absorción y Cuantificación Colorimétrica de Biomoléculas*. Universidad de Rabanales, Colombia, Cap. 8, [http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf](http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf)

Figueroa, I. (2004). *Importancia del Etileno en la Postcosecha de Flores*. Facultad de Agronomía de la Facultad de Concepción, Chile , 4-9.

Galicia, R. M. (2001). *Efecto de una Atmósfera Rica en CO<sub>2</sub> en la Acumulación de Etanol y Actividad de la Polifenoloxidasa Mediante la Formación de Pigmentos en Papa* (Tesis de Maestría). UAM. Iztapalapa, D.F.

Galindo, M. J. (2011). *Influencia del Tamaño de Partículas Coloidales de  $\alpha$ -Tocoferol Sobre la Actividad Polifenoloxidasa, Aplicadas en Manzana (Red Delicious) Cortada-Refrigerada* (Tesis de Licenciatura), UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

- García, C. I. (2011). *Cambios en la Concentración de Polifenoles Presentes en la Guayaba (Psidium Guajava) Variedad Media China, Recubierta con Nanopartículas Lipídicas Sólidas y Almacenadas en Refrigeración* (Tesis de Licenciatura), UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- García, G. F. (2006). *Tecnología de Envasado en Atmósfera Protectora*. Informe de Vigilancia Tecnológica, 19. [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)
- García, G. M. (24 de Abril de 2006). *Cinética Enzimática de la Polifenol Oxidasa del Banano Gros Michel en Diferentes Estados de Mduración*. Recuperado el 9 de Abril de 2012, de Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Redalyc, <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=169813258002>
- Geankoplis, C. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. México: Compañía editorial continental S. A. de C. V.
- González, I. (2010). *Caracterización Química del Color de Diferentes Variedades de Guayaba (Psidium Guajava L.) Colombiana*. Tesis de Magister en Ciencias. Recuperado el 10 de Noviembre de 2012, de Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Sede Bogotá D. C., de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2815/1/197449.2010.pdf>.
- González, A. (2011). *Desarrollo de Recubrimiento Comestible Goma Xantana-Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) para la Conservación de Guayaba a Baja Temperatura* (Tesis de Licenciatura), UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- Gormley, T. R., (1975). Chill Storage of Mushrooms. *Journal of Science and Food Agricultura* 26, 401-411.



## BIBLIOGRAFÍA

---

Granados, R. (2011). *El Cultivo del Hongo Ostra*, Programa de Apoyo al Desarrollo Rural en Chichicastenango. Recuperado el 22 de Marzo de 2012 de [http://www.cafeycaffe.org/web/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=20&tmpl=component&format=raw&Itemid=14&lang=es](http://www.cafeycaffe.org/web/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=20&tmpl=component&format=raw&Itemid=14&lang=es)

Guerrero, C. A. (11 de Marzo de 2012). *Inhibición de la Actividad Enzimática de la Polifenol Oxidasa Extraída del Banana (Cavendish Valery) Mediante Sistemas Bifásicos Acuoso con Isoespintanol y Ácido Ascórbico* (Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede de Medellín. Recuperado de [www.bdigital.unal.edu.co/1820/1/98380674.2009.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/1820/1/98380674.2009.pdf)

Guerrero, J. A. (2011). *Reducción del Índice de Blancura Sobre Frutos Post-Almacenamiento Refrigerada Recubiertos con Nanopartículas Lipídicas Sólidas en Presencia de un Ambiente Húmedo* (Tesis de Licenciatura), UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Guía para entender la Comunicación del Color. (05 de Octubre de 2012). Obtenido de X-Rite: [www.x-rite.com](http://www.x-rite.com)

Guillermo, A. V. (2011). *Diseño de envases y embalajes*, Universidad de Londres. 5, 6, 56-86, Recuperado de [http://www.astraph.com/udl/biblioteca/antologias/disenos\\_envases\\_embalajes.pdf](http://www.astraph.com/udl/biblioteca/antologias/disenos_envases_embalajes.pdf)

Infra. (2012). *Atmósferas Modificadas*. Recuperado el 18 de Febrero de 2012, de [Infra: http://www.infra.com.mx/sectores/sectores/alimentos/atmosferas.html](http://www.infra.com.mx/sectores/sectores/alimentos/atmosferas.html)

Jafri, M., Jha, A., Shankar, D. & Chandra R. (2012). Quality Retention of Oyster Mushroom (*Pleurotus Florida*) by a Combination of Chemical Treatments

## BIBLIOGRAFÍA

---

and Modified Atmosphere Packing. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 112-118.

Jayathunge, I. (2005). *Extension of Postharvest Life of Oyster Mushroom by Modified Atmosphere Packaging Techniques*. *Food Engineering and Physical Properties, JFLS*, 573-577.

Kader, A. A. (1992) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. California: University of California.

Kim, B. S. (2005). *Almacenamiento y Procesado de los Hongos. Parte II Hongos Ostra*. Mushwrold, 1-3.

Kim, K. M., Ko, J. A., Lee, J. S., Park, H. J. & Hanna, M. A. (2006). *Effect of Modified Atmosphere Packing on the Shelf-Life of Coated Whole and Sliced Mushrooms*. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 39, 364-371.

Laessoe, T. (1998). *Manual de Identificación de Hongos*. Barcelona: Ediciones Omega S. A.

López, A. F. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas, Del Campo al Mercado*. Roma: Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación.

López, R., Torres, T., y Giraldo, G. (2008). *Tecnología de envasado y conservación de alimentos*, Laboratorio de Procesos Químicos de la Carne. Recuperado el 20 de Febrero de 2012, de [http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info49/articulos/Envasado%20y%20Conservacion%20de%20Alimentos%20\(1\).pdf](http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info49/articulos/Envasado%20y%20Conservacion%20de%20Alimentos%20(1).pdf)

López-Rodríguez, Hernández-Corredor y Suárez-Franco. (14 de Octubre de 2008). *Evaluación del Crecimiento y Producción de Pleurotus Ostreatus Sobre Diferentes Residuos Agroindustriales del Departamento de*

## BIBLIOGRAFÍA

---

*Cundinamarca*. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Recuperado el 24 de Febrero de 2012, de [www.javeriana.edu.co/universitas\\_scientiarum](http://www.javeriana.edu.co/universitas_scientiarum)

Macazaga, R. (2008). *Evaluación de las Propiedades Fisico-Químicas del Hongo Pleurotus Ostreatus Deshidratado usando diferentes Métodos y Condiciones de Secado* (Tesis de Maestría en Ciencias). Recuperado el 22 de Junio de 2012, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo de <http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/1289/4672/1>

Mahajan, O. (8 de Mayo de 2007). *Effect of Temperature and Humidity on the Transpiration Rate of Whole Mushrooms*. Recuperado el 25 de Febrero de 2012, de *Journal of Food Engineering. ScienceDirect*, de [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng)

Martínez-Carrera, D. P. (2007). *México Ante la Globalización en el Siglo XXI: El Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles*. Colegio de Ciencias Agrícolas Campus, Puebla, 20. Recuperado de <http://hongoscomestibles-latinoamerica.com/P/P/8.pdf>

Muñoz, et. a. (2007). *Caracterización Preliminar del Enzima Polifenol Oxidasa en Frutas Tropicales: Implicaciones en su Proceso de Industrialización*. Recuperado el 2 de Abril del 2012, de REDALYC <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84903337>, 164.

Muñoz-Delgado, José A. (1985). *Refrigeración y Congelación de Alimentos Vegetales*. Madrid: Publicaciones Serie Informes.

Nieves, A. et. al. (2012). *Espectrofotetría: Espectros de Absorción y Cuantificación Colorimétrica de Biomoléculas*. Recuperado el 19 de Marzo de 2012, de Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Campus Universitario de Rabanales. Recuperado de [http://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf](http://www.uco.es/organiza/departamentos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf).

McCabe, W. L. (2003). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: McGrawhill.

M-Cravzov, et. al. (2009). *Estudio de la Actividad de la Peroxidasa, Pectinesterasa y Polifenoloxidasa en Extracto Enzimático de Sandía (Citrullus Vulgaris Schard)*. Facultad de Agroindustrias-UNNE. Recuperado el 13 de Marzo de 2012, de <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/7-Tecnologicas/T-074.pdf>.

Metrólogos (2009). *Medición de Color*. La Guía MetAs, es el boletín electrónico de difusión periódica de MetAs & Metrólogos Asociados, 09(7), 12-13, <http://www.metas.com.mx/guiametAs/La-Guia-MetAs-09-07-Medicion-de-color.pdf>.

Morgado, A. (2011). *Caracterización y Selección de Genotipos de Cepas Comerciales de "Setas" (Pleurotus Ostreatus), Como Acción Estratégica Para la Producción Rural en Cuyoaco, Puebla* (Tesis Colegio de Postgraduados). Puebla, Puebla. Recuperado de <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/445>.

Ocaña et al (1 de Noviembre de 1995). *Tecnología para la Producción y Conservación de Setas (Pleurotus Ostreatus)*. Acta Universitaria, vol. 1, No. 1, Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Guanajuato, p. 57-62.

Oro, T., Ogliari, J., Días de Medellín, R., Barrera-Arellano, D. y Block, M. (Junio de 2012). *Evaluación de la Calidad de Almacenamiento de Nueces Pecán (Wangenh) Acondicionadas en Diferentes Envases*. Centro de Ciencias Agrárias, Departamento de Ciencia de los Alimentos. Recuperado el 30 de Noviembre de 2012, de, UFSC-Florianópolis-SC, Brasil. [http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CEoQFjAF&url=http%3A%2Fgrasasyaceites.revistas.csic.es%](http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CEoQFjAF&url=http%3A%2Fgrasasyaceites.revistas.csic.es%2F).

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Ospina, M. S. (2008). *La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos*. Revista Lasarilla de Investigación, 5(02), 5-13. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/695/695502.pdf>.
- Parry, R. T. (1995). *Envasado en Atmósfera Modificada*. Madrid: A. Madrid Vicente, Ediciones.
- Pérez, M. (2002). *Selección de cepas de Pleurotus Ostreatus (jacq.ex Fr.) kumm. y la Pleurotus Pulmonarius (fr) y la factibilidad de reutilizar la madera de Pinus ssp para su cultivo*. Universidad Veracruzana, (4). 001-1-6. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/497/49740106.pdf>
- Pérez, Martha. (2009). *Post-recolección y transporte de frutas y hortalizas*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, 15. Recuperado de Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- Petrón, M. D. (2011). *Efectos de la Concentración de Nanopartículas Lipídicas Sólidas Sobre las Propiedades Ópticas y Mecánicas de Recubrimientos "IN VITRO"* (Tesis de licenciatura) UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
- SAGARPA. (2012). *Producción de Hongo Seta (Pleurotus Ostreatus)* Recuperado el 2 de Marzo de 2012, de Subsecretaría de Desarrollo Rural: [www.ssaa.gob.mx](http://www.ssaa.gob.mx)
- Sellés, S. (24 de Abril de 2007) *Pardeamiento Enzimático del Fruto de Nisper (Eriobotrya Japonica cv.Algerie): Enzimología y Fisiología de las Polifenol Oxidasas*. Universidad de Alicante, Facultad de Agroquímica y Bioquímica. Recuperado el 13 de Marzo de 2012, de, [www.eltallerdigital.com](http://www.eltallerdigital.com)
- Serra, G. (2009). *Las Nanopartículas Sólidas Lipídicas y los Acarreadores Lipídicos Nanoestructurados en usos Terapéuticos*. Primera Revista Digital en América Latina Especializada en Tópicos de Comunicación , 5-



12. Recuperado de <http://www.razonypalabra.org.mx/N/n68/8GarzonGarcia.pdf>
- Sevilla, U. (12 de Abril de 2012). *Manual del Carbón Activo*, Recuperado de Máster en Ingeniería del Agua E. U. Politécnica. p. 10, 13, 16, 32, 37, 39. [www.aguapedia.net](http://www.aguapedia.net)
- Shashi, P. & Deepak, R. (2008). *An Empirical Approach for Assessment of Safe Storage Period for Button Mushroom (Agaricus Bisporus) Based Upon Color Changes Under Atmosphere Packaging*. Journal of Food Processing and Preservation Wiley Periodicals, Inc, 559-560.
- Tao, Z. H. (2005). *Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling*. Journal of Food Engineering. ScienceDirect, 5. Recuperado de [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng).
- Terrádez, Á. (2007). UOC. Recuperado el 26 de Marzo de 2012, de Análisis de Varianza (ANOVA): <http://www.uoc.com>
- Thompson, A. K. (1998). *Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables*. London: Cab Continental.
- Tokeer, A. (2010). *Principles of nanoscience and nanotechnology*. Alpha science International Ltd.
- Trejo, V., Aragón, N. y Miranda, P. (2001). *Estimación de la Permeabilidad al Vapor de Agua en Películas a Base de Quitosán*. Journal of the Mexican Chemical Society, 1, 2, 3.
- UNAM. (2011). *La Actividad de la Enzima Polifenol Oxidasa como Indicador del Efecto del Manejo de los Productos Hortifrutícolas en Campo y de su Traslado a su Centro de Acopio*. Recuperado el 9 de Abril de 2012, de

## BIBLIOGRAFÍA

---

docencia.izt.unam:

docencia.izt.uam.mx/lyanez/uueeaa/.../PRACTICA%20FENOLASA.DOC

University of Maryland (2002). *Temas de Garantía de la Calidad y la Seguridad Alimenticia*, Sección V. *Mejorando la Seguridad de Frutas y Hortalizas: Manal de Formación para Instructores*, 1-31,

Uruguay, F. d. (2010-2012). *Portal.fagro.edu.uy*. Recuperado el 1 de marzo de 2012, de UnEAM: <http://www.fagro.edu.uy>

Velázquez, A. G. (2011). *Desarrollo de un Recubrimiento Comestible Goma Xantana-Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS) para la Conservación de Guayaba a Baja Temperatura* (Tesis de licenciatura), UNAM. Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Weaver, D. (2003). *The food chemistry laboratory. A manual for experimental foods, dietetics, and food scientists*. Florida: CRC Press.