



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**Evaluación de las propiedades físico-químicas del hongo *Pleurotus  
ostreatus* deshidratado usando diferentes métodos y condiciones de  
secado**

## **Tesis**

Que como requisito para obtener el grado de

**MAESTRA EN CIENCIAS**

en Conservación y Manejo de Recursos Naturales

Presenta:

**Rebeca Macazaga Álvarez**

Director de tesis:

**Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores**

Morelia, Mich., Julio del 2008



**DR. RICARDO MIGUEL PÉREZ MUNGUA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**DE LA FACULTAD DE BIOLOGÍA DE LA UMSNH.**  
**P R E S E N T E**




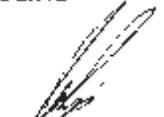

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL HONGO *Pleurotus ostreatus*, DESHIDRATADO USANDO DIFERENTES MÉTODOS Y CONDICIONES DE SECADO" presentado por la QFB. REBECA MACAZAGA ÁLVAREZ, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestro en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**

Morelia, Michoacán, 19 mayo de 2008

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA**

 DR. HÉCTOR E. MARTÍNEZ FLORES DIRECTOR DE TESIS	 DRA. YAZMÍN CARREÓN ABUD PRESIDENTE
 DR. JAVIER PONCE SAAVEDRA SECRETARIO	 DRA. CONSUELO CORTES PENAGOS VOCAL
 M.C. BERENICE YAÑEZ ALDARE VOCAL	

## **Agradecimientos**

Esta tesis no es solo un requisito para la obtención de un grado, es el esfuerzo y la dedicación de mucha gente que sin su valiosa colaboración, no se hubiera podido lograr. Personas que dejaron huella, no solo en el ámbito académico, también en el personal...

Esta tesis esta dedicada a mi Abuelito Pepe, que gracias a su confianza en mí, logró inspirarme y llenarme de ánimo para alcanzar y forjarme metas... ¡Donde quiera que estés, esto es para ti!

Agradezco a mi mamá y a mi papá por que siempre han estado a mi lado en todas las etapas de mi vida me han apoyado y han creído en mí.

A mis hermanos, Montserrate y Josemaría por quererme y apoyarme tanto en las decisiones que tomo... de todo corazón, muchas gracias. Gracias a mis sobrinas María José y Natalia por darme tanta alegría y quererme tanto.

A mi asesor, el Dr. Héctor E. Martínez Flores con quien aprendí muchísimo durante estos tres años. Gracias por darme la oportunidad de conocer el lado humano de la maestría, por haber creído en mí!

A mis sinodales la Dra. Yazmín Carreón Abud, Dr. Javier Ponce Saavedra, Dra. Consuelo de Jesús Cortés Penagos y la M.C. Berenice Yahuaca Juárez por su valiosa participación y aporte en esta tesis. Agradezco especialmente a la Dra. Yazmín y al Dr. Javier por haberme recibido e impulsarme en la Facultad a la cual pertenecen, por haberme apoyado tanto.

A Julio Vargas Medina, por su invaluable participación en este proyecto, ya que sin el, este proyecto hubiera estado incompleto. Gracias por haber compartido y aportado tantos conocimientos. Gracias, porque encontré un gran amigo en este camino!

Al profesor Juan Bosco Guzmán Pérez por haberme llevado a conocer un mundo nuevo, apoyarme en mis decisiones y ser un buen amigo. Agradezco el haber compartido sus conocimientos y emociones conmigo.

A mis incondicionales:

- Iván, porque definitivamente fue un gran impulso en el trayecto de estos años. Gracias por el sustento a mi proyecto, lo considero invaluable.
- Beto, gracias por ayudarme en los momentos de mayor estrés y haberme calmado. Gracias por ser tan buen amigo.
- Juan, gracias por estar siempre.
- Sandra, gracias por ser mi amiga en toda la extensión de la palabra.
- Toño, gracias por entenderme tanto.
- Yazmín, Brenda y Juan Pablo por ser unos excelentes compañeros; aprendí mucho con ustedes.
- Ximena, gracias por tanto años de amistad.
- Abel, gracias por ser tú y cambiarme la vida...

## ÍNDICE

INDICE . . . . .	v
INDICE DE CUADROS . . . . .	vii
INDICE DE FIGURAS . . . . .	ix
<b>CAPITULO I</b>	
1.0. RESUMEN . . . . .	x
<b>CAPITULO II</b>	
2.0. ABSTRACT . . . . .	xii
<b>CAPITULO III</b>	
3.0 INTRODUCCIÓN . . . . .	xiv
<b>CAPITULO IV</b>	
4.0. Antecedentes . . . . .	1
4.1. Características de los hongos . . . . .	1
4.2. Propiedades del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> . . . . .	2
4.2.1. Clasificación taxonómica . . . . .	2
4.2.2. Descripción morfológica . . . . .	3
4.2.3. Propiedades nutricionales . . . . .	3
4.3. Fibra Dietética . . . . .	4
4.4. Actividad de agua . . . . .	7
4.5. Deshidratación . . . . .	9
4.6. Deshidratación solar . . . . .	10
4.7. Actividad enzimática . . . . .	12
<b>CAPITULO V</b>	
5.0. JUSTIFICACIÓN . . . . .	15
<b>CAPITULO VI</b>	
6.0. HIPÓTES IS . . . . .	16
<b>CAPITULO VII</b>	
7.0. OBJETIVOS . . . . .	17
7.1. Objetivo General . . . . .	17

7.2. Objetivos Específico . . . . .	17
<b>CAPITULO VIII</b>	
8.0. MATERIALES Y MÉTODOS . . . . .	18
8.1. Materia Prima . . . . .	18
8.2. Determinación de la actividad de la enzimática . . . . .	18
8.2.1. Preparación del extracto enzimático . . . . .	19
8.2.2. Medición de la actividad de la polifenoloxidasa . . . . .	19
8.3. Procesos de deshidratación del hongo . . . . .	20
8.4. Medición de textura (dureza) en los productos deshidratados	21
8.5. Determinación de fibra dietética total, insoluble y soluble . . . . .	21
8.6. Pruebas físico-químicas . . . . .	21
8.6.1. Color . . . . .	21
8.6.2. Capacidad de absorción de agua . . . . .	22
8.6.3. Capacidad de absorción de aceite . . . . .	22
8.7. Análisis estadístico . . . . .	22
<b>CAPITULO IX</b>	
9.0. RESULTADOS . . . . .	24
9.1. Determinación de la inhibición enzimática . . . . .	24
9.2. Deshidratación . . . . .	25
9.2.1. Deshidratado en estufa eléctrica . . . . .	25
9.2.2. Deshidratación Indirecta . . . . .	26
9.2.3. Deshidratación a la intemperie . . . . .	30
9.2.4. Comparación de curvas de secado y humedades relativas . . . . .	34
9.2.5. Análisis de eficiencia térmica . . . . .	36
9.3. Efecto de la deshidratación sobre el contenido de fibra dietética. . . . .	38
9.4. Pruebas físico-químicas en los productos deshidratados . . . . .	39
9.4.1. Determinación de color en los productos deshidratados.	39
9.4.2. Determinación de textura. . . . .	45

9.4.3. Capacidad de absorción de agua.	. . .	46
9.4.4. Capacidad de absorción de aceite.	. . .	46
9.4.5. Actividad de agua ( $A_w$ ) de los productos deshidratados .		47
<b>CAPITULO X</b>		
10.0 CONCLUSIONES.	. . . . .	48
<b>CAPITULO XI</b>		
11.0 BIBLIOGRAFÍA .	. . . . .	49

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Valores de $A_w$ mínimas para el crecimiento de microorganismos . . . . .	<b>8</b>
<b>Cuadro 2.</b> Orden en cantidad que se debe de seguir en la preparación de las muestras para la medición de la polifenoloxidasas y los inhibidores . . . . .	<b>20</b>
<b>Cuadro 3.</b> Inhibición de la actividad enzimática (%) en función de los inhibidores utilizados . . . . .	<b>24</b>
<b>Cuadro 4.</b> Datos obtenidos durante la deshidratación solar indirecta.	<b>27</b>
<b>Cuadro 5.</b> Datos obtenidos durante la deshidratación a la intemperie	<b>32</b>
<b>Cuadro 6.</b> Resultados de fibra insoluble, soluble y total en hongo deshidratado. . . . .	<b>39</b>
<b>Cuadro 7.</b> Datos de color en las diferentes muestras . . . . .	<b>41</b>
<b>Cuadro 8.</b> Datos de textura en las diferentes muestras . . . . .	<b>45</b>
<b>Cuadro 9.</b> Capacidad de absorción de agua y aceite en los productos deshidratados . . . . .	<b>47</b>
<b>Cuadro 10.</b> Actividad de agua medida en los productos deshidratados	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de la fibra dietética en base a su solubilidad en agua, y sus componentes principales . . . . .	<b>5</b>
<b>Figura 2.</b> Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad acuosa a 20°C: a. oxidación de lípidos; b. reacciones hidrolíticas; d. isoterma del contenido de humedad; e. actividad enzimática; f. crecimiento de hongos; g. crecimiento de levaduras y h. crecimiento de bacterias . . . . .	<b>8</b>
<b>Figura 3.</b> Deshidratador solar construido por el CIDEM . . . . .	<b>12</b>
<b>Figura 4.</b> Acción de la PPO sobre los compuestos fenólicos. . . . .	<b>14</b>
<b>Figura 5.</b> Galeras de cultivo en Tzitzio, Michoacán . . . . .	<b>18</b>
<b>Figura 6.</b> Cultivo del <i>P. ostreatus</i> . . . . .	<b>18</b>
<b>Figura 7.</b> Gráfica de temperaturas en el interior del deshidratador Indirecto . . . . .	<b>28</b>
<b>Figura 8.</b> Modelo de regresión de T_min, T_amb y H_amb respecto a T_colector 1 . . . . .	<b>29</b>
<b>Figura 9.</b> Curva de secado en la deshidratación indirecta . . . . .	<b>31</b>
<b>Figura 10.</b> Curva de secado a la intemperie . . . . .	<b>33</b>
<b>Figura 11.</b> Comparación de curvas de secado . . . . .	<b>35</b>
<b>Figura 12.</b> Comparación de humedades tanto interior como exterior . . . . .	<b>36</b>
<b>Figura 13.</b> Hongo <i>P. ostreatus</i> deshidratado indirectamente . . . . .	<b>42</b>
<b>Figura 14.</b> Hongo deshidratado a la intemperie. . . . .	<b>42</b>
<b>Figura 15.</b> Hongo deshidratado en estufa a 50° C . . . . .	<b>43</b>
<b>Figura 16.</b> Hongo deshidratado en estufa a 60° C . . . . .	<b>44</b>
<b>Figura 17.</b> Hongo deshidratado en estufa a 70 °C . . . . .	<b>44</b>

# CAPITULO I

## 1.0 RESUMEN

El hongo *Pleurotus ostreatus* contiene aproximadamente 90% de agua, por lo que es un alimento altamente perecedero. El proceso de deshidratación es una alternativa para el aprovechamiento del hongo sin que se modifiquen substancialmente los atributos de calidad y de textura. El objetivo del presente trabajo fue obtener un producto deshidratado del hongo *Pleurotus ostreatus* como fuente de fibra dietética. Para ello, primeramente se procedió a reducir la actividad de la enzima polifenoloxidasas (PPO), responsable de impartirle una coloración café intensa al hongo durante el secado, modificándole negativamente su aspecto, olor y sabor. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo del secado del hongo usando diferentes métodos: 1) deshidratación solar a la intemperie; 2) deshidratación solar indirecta, y 3) deshidratación con estufa eléctrica. Finalmente, se le realizaron algunas pruebas físico-químicas a los diferentes productos deshidratados. Los resultados obtenidos indicaron que el inhibidor más idóneo fue el ácido cítrico, reduciendo en un 70.85% la actividad de la PPO. En relación al secado, los procesos de deshidratación solar, a la intemperie y el secado solar indirecto, requirieron menos tiempo de secado y las muestras de hongo presentaron mejor textura, comparados con el secado en estufa eléctrica. El secado por este último método presentó un hongo de una coloración oscura intensa y una textura frágil al tacto comparado con los productos secados solarmente. Con respecto a las pruebas físico-químicas, los productos deshidratados solarmente

mostraron mejores propiedades en cuanto a la capacidad de absorción de agua y aceite. También se observó que a mayor temperatura de deshidratación en la estufa eléctrica se modificaron substancialmente las características físico-químicas. Los resultados permiten concluir que el secado solar indirecto se presenta como un alternativa viable para obtener un producto deshidratado del hongo *Pleurotus ostreatus* con características físico-químicas y de color apropiadas para ser usadas como un producto fuente de fibra dietética, los cuales pueden ser utilizados en la prevención de enfermedades cardiovasculares y de cáncer de colon.

**Palabras clave:** Hongo, *Pleurotus ostreatus*, deshidratación solar directa, deshidratación solar indirecta

## CAPITULO II

### 2.0 ABSTRACT

The *Pleurotus ostreatus* mushroom had approximately 90% of water and it is highly perishable. The dehydration process is an alternative for the optimum utilization of the mushrooms without cause any substantial modifications in their quality and textural attributes. The objective of this work was to obtain a dried mushroom from *Pleurotus ostreatus* as dietary fiber source. Polyphenol-oxidase was reduced in their activity, because this enzyme is the main responsible to impair the brown color during the drying process of the mushroom, altering negatively their aspect, color, odor and flavour. After, it was done a comparative study of the drying step, using different methods: 1) dehydration of the mushroom exposure directly to the sun, 2) dehydration of the mushroom using a solar machine (indirect exposition to the sun), and 3) dehydration of the mushroom with electrical furnace. Finally, physicochemical test in the dried products were realized. The results shown that the citric acid was the more appropriated substance used to reduce the activity of the polyphenol-oxidase enzyme, reducing their activity in 70.85%. On the other hand, the exposition of the mushroom to the sun, the direct solar dehydration and indirect solar method, were more efficient to eliminate the product moisture as compared with the electrical furnace method. This latter method had a mushroom with an intensive brown colour and a very soft texture. The solar dehydration let to obtain mushroom with a better firmness. Best water absorption capacity and oil absorption capacity values were obtained with products dried by solar

methods as compared with the product dried with electrical furnace. The results let to conclude that the indirect solar method could be an viable alternative to obtain a dried product from *Pleurotus ostreatus* with physicochemical characteristics and color properties appropriated to be used as a dietary fiber source product, and could be used in the prevention of cardiovascular disease and prevent the colon cancer.

Keywords: mushroom, *Pleurotus ostreatus*, direct solar dehydration, indirect solar dehydration.

## CAPITULO III

### 3.0 INTRODUCCIÓN

La fibra dietética (FD) es un factor importante en la dieta, ya que provee diversas funciones fisiológicas en los seres humanos, tales como motilidad intestinal, prevención de la constipación y regulación de los niveles de glucosa y lípidos sanguíneos (Theander *et al.*, 1993). La FD es definida como la parte comestible remanente de las plantas y carbohidratos análogos que resisten a la digestión y absorción en el intestino delgado con una parcial o completa fermentación en el intestino grueso (Prosky, 1999).

Las fuentes tradicionales de FD son granos integrales, frutas y vegetales. Sin embargo, los consumidores han empezado a demandar un gran número de productos que incluyan en su formulación un alto contenido de FD (Nelson, 2001), lo cual representa un reto para la industria manufacturera de alimentos. Así, se requieren nuevas fuentes alternas de FD para incrementar la diversidad de ingredientes disponibles para la elaboración de productos con alto contenido de FD.

Por otro lado, los hongos, son organismos muy comunes en la naturaleza, puesto que viven prácticamente en todos los medios y poseen una amplia gama de propiedades, tanto medicinales como comestibles (Ancona *et al.*, 2003).

Los hongos se encuentran presentes en la naturaleza desde tiempos remotos, sin embargo, los cultivos de las primeras especies datan desde los siglos VII, X y XI en China y Japón con los hongos *Auricularia*, *Fammulina velutipes* y *Lentinus edodes* y desde el siglo XVIII con el *Agaricus bisporus* (champiñón) en Francia. Fue en el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX que el desarrollo de esta tecnología llegó a América (Guzmán *et al.*, 1993, Ancona, 2001).

De acuerdo con una recopilación hecha por Ancona *et al.* (2005), el cultivo del *Pleurotus ostreatus*, conocido como seta, ocurre en el siglo XX y su cultivo se ha incrementado con el paso de los años de forma muy rápida y su cultivo se ha extendido a todas partes del mundo. Para su crecimiento se utilizan diversos sustratos sobre los que es capaz de crecer, además, particularmente porque se desarrolla en desechos

agropecuarios. A pesar de haber sido cultivado por menos de 30 años en México, se destaca su rápida aceptación en el mercado y un crecimiento rápido de la agroindustria relacionada. Actualmente el cultivo de esta especie representa el 7% de la producción y se disputa con el *Lentinus edodes* (shiitake) el segundo lugar en producción, después del cultivo del *Agaricus bisporus*.

Los hongos comestibles, como el *Pleurotus ostreatus*, podría representar una fuente alternativa de FD, ya que se reporta su contenido de FD en un rango de 18.4–55.5%. De tal forma, que el objetivo del presente estudio fue caracterizar el hongo *Pleurotus ostreatus*, a través de pruebas de composición química, de propiedades físico-químicas y texturales del hongo posterior a su deshidratación por diferentes métodos de secado.



## CAPITULO IV

### 4.0 ANTECEDENTES

#### 4.1. Características de los hongos

En términos generales, los hongos son organismos eucariotes heterótrofos, con un micelio característico y su forma de nutrición es por absorción. Son por lo común filamentosos. A los filamentos individuales se les denominan hifas y están rodeados por una pared que a menudo contiene quitina como componente principal. Las hifas crecen solo en extremos, por lo que los hongos presentan crecimiento apical y se ramifican dando como resultado micelios. Todos los hongos son heterótrofos, es decir, requieren materia orgánica preformada que utilizan como fuente de energía y carbono. Absorben nutrientes simples y solubles, los cuales obtienen mediante degradación de polímeros complejos, a través de enzimas extracelulares que los liberan al medio. Se reproducen tanto sexual como asexualmente, y en cualquier caso forman esporas como producto final. Las esporas difieren en tamaño y forma, no obstante, se diferencian fundamentalmente de las semillas de las plantas porque no contienen un embrión preformado (Deacon, 1990).

Los hongos pertenecen al reino *fungi*. Su clasificación actual es: Quitridiomycetes (división *Chytridiomycota*), Zigomicetes (división *Zygomycota*), Ascomycetes (división *Ascomycota*), Glomeromicetes (división *Glomeromycota*) y Basidiomicetes (división *Basidiomycota* (<http://es.beekeeping.wikia.com/wiki/Hongo>)). Entre los basidiomicetes se encuentran los de los géneros comestibles como el Shiitake, Maitake, y *Pleurotus ostreatus*, entre otros.

En México, los hongos generalmente se pueden adquirir en el mercado, y uno de los más conocidos y degustados por la población son los de la especie *Pleurotus*, comúnmente conocido con el nombre de “setas”, aunque este nombre en castellano corresponde a todos los hongos macroscópicos. Esta variedad de hongos empezó a cultivarse en los Estados Unidos en 1900 y en México en 1974; en China y en Europa su consumo es amplio, sobretodo en España y en Italia, donde se ha desarrollado una gran industria alrededor de la producción de setas ([http://www.leben.com.mx/p\\_propiedades.htm](http://www.leben.com.mx/p_propiedades.htm), 29 de mayo 2007).

Los hongos han sido utilizados desde hace miles de años alrededor del mundo con fines nutricionales, medicinales y en ritos religiosos (Guzmán, 1999). Incluir hongos comestibles en nuestra dieta es importante, no solo por su excelente sabor, aroma y textura, sino también por promover la salud al ejercer propiedades fisiológicas benéficas al ser humano (Martínez-Carrera *et al.*, 2004).

## 4.2. Propiedades del hongo *Pleurotus ostreatus*

### 4.2.1. Clasificación taxonómica

De acuerdo a la Universal Taxonomic Services en el 2008 (<http://www.taxonomy.nl/Taxonomicon/TaxonTree.aspx> 2004-2006 UTS) el hongo *Pleurotus ostreatus* se clasifica como:

Dominio ***Eukaryota***

Reino ***Fungi*** (Linnaeus, 1753) Nees, 1817 - fungi

Phylum ***Basidiomycota***

Clase ***Basidiomycetes***

Subclase ***Agaricomycetidae***

Orden ***Agaricales***

Familia ***Pleurotaceae***

Género ***Pleurotus***

***Pleurotus ostreatus*** (Jacq. ex Fr.) Kumm.

#### 4.2.2. Descripción morfológica

En lo que se refiere a su caracterización morfológica tiene las siguientes características, según Polese (2005): sombrero al principio redondo y con el borde enrollado, que se despliega y adopta la forma de una concha de ostra. Superficie lisa, gris azulada en los ejemplares más jóvenes, que se vuelve más parda y clara con la edad. Láminas de color marfil. Pie lateral, en general corto, más o menos curvado y aterciopelado en la base. Carne blanca de olor y sabor agradables. En cuanto a su hábitat, aparece desde otoño hasta principios de invierno en las regiones situadas al sur, formando colonias compactas dispuestas en escalones sobre los troncos muertos de diferentes árboles caducifolios como los álamos, sauces, nogales y robles. En la actualidad esta seta se cultiva en todo el mundo (Polese, 2005).

#### 4.2.3. Propiedades nutricionales

El hongo *Pleurotus ostreatus* es benéfico para la salud. Tradicionalmente se utiliza para fortalecer las venas y relajar los tendones. En China se usa para relajar los tendones y los músculos; lo utilizan como tratamiento efectivo contra el lumbago y molestias de los vasos sanguíneos. En la República Checa se utilizó para la prevención de colesterol alto y para mejorar la calidad de la sangre ya que contiene hierro (Hobbs, 1998).

Algunas propiedades nutricionales y medicinales lo convierten en un alimento funcional para diversos tipos de dieta como por ejemplo: a) Dietas bajas en glucosa, para el tratamiento y prevención de diabetes, b) Dietas bajas en purinas, para el tratamiento y prevención de la gota y reumatismo, c) Dietas bajas en colesterol, para el tratamiento y prevención de enfermedades cardiovasculares, d) Dietas bajas en sodio, para el tratamiento y prevención de la presión arterial y diabetes, e) Dietas ricas en fibra, para el tratamiento y prevención de colitis y estreñimiento, f) Dietas bajas en calorías, para el tratamiento y prevención de la obesidad y, g) Dietas vegetarianas, como fuente de proteínas, vitaminas, minerales y antioxidantes.

A continuación se muestran los aportes nutricionales del hongo *P. ostreatus* según Breene (1990): 1) Humedad: El hongo *P. ostreatus* contiene de 85-95% de humedad, 2) Proteína: Contiene cantidades significativas de nitrógeno en forma de quitina en las

paredes celulares, encontrándose valores del 10 al 30% de proteína en base seca, 3) Grasas: Contiene de 1.4-1.9% de grasa en base seca, 5) Minerales: Contiene aproximadamente 8% de minerales en base seca entre los que destaca el sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc, manganeso, cadmio y plomo, 6) Vitaminas: El ácido ascórbico se encuentra presente en un rango de 36–58 mg/100 g en base seca, y 7) Fibra y carbohidratos: El contenido de fibra en *P. ostreatus* es de 47.5%; a continuación se mencionan algunos de los diferentes estudios que se han realizado sobre este compuesto en el hongo (mencionados por Breene, 1990): se ha reportado 57% y 14% de carbohidratos y fibra cruda respectivamente, en base seca; además en otro estudio documentado por Breene (1990) reporta un 20-32% de carbohidratos y de 10–13% de fibra cruda, también en base seca. Otros autores mencionados por Breene (1990) reportaron valores de fibra cruda y sus componentes con los siguientes rangos: fibra cruda, 1.1–16.4%; lignina, 0.6–6.1%; pectina, 1.0–9.1%; fibra detergente neutra, 16.4–50.5%; fibra detergente ácida, 2.0–54.7%; fibra dietética total, 18.4–55.5%; celulosa, 0.0–21.0%; hemicelulosa, 7.7–38.4%.

### **4.3. Fibra Dietética**

Es necesario hacer una distinción entre fibra cruda y fibra dietética (FD). La primera es la que se consigna generalmente en las tablas de composición de los alimentos y se determina analíticamente sometiendo a los productos a un tratamiento en caliente con ácido sulfúrico y con hidróxido de sodio; bajo estas condiciones se pierde una fracción importante de polisacáridos, por disolución, entre los cuales destaca la pérdida de 70 a 80% de hemicelulosa, de 30 a 50% de celulosa y hasta 90% de lignina. Tomando en cuenta esto, se han desarrollado técnicas analíticas que permiten evaluar la proporción de dichos componentes, como fibra detergente ácida, fibra detergente neutra, FD y otros que permiten evaluar el contenido de azúcares totales en un alimento, incluyendo los digeribles y los no digeribles (Badui, 2006).

La FD es la parte comestible de vegetales y carbohidratos análogos que son resistentes a la absorción y digestión en el intestino delgado humano, con una parcial o completa fermentación en el intestino grueso (AACC, 2001). La acción fisiológica de la

fibra depende del conjunto de polisacáridos situados en la pared celular como son celulosa, hemicelulosa, pectina lignina, polifenoles, almidón resistente a la degradación, proteínas asociadas a la pared celular y algunos minerales.

Existen diversas formas de clasificar a la FD, sin embargo, una clasificación bastante utilizada es la que se basa por su solubilidad en el sistema digestivo humano. Por tanto, la FD puede dividirse en fibra soluble (FS) y fibra insoluble (FI), las cuales tienen características químicas diferentes y muestran efectos fisiológicos distintos basados en estas propiedades (Fig. 1). En realidad no es una solubilización total, sino una hidratación parcial de las fibras en agua. La fibra dietética total (FDT) se refiere a la cantidad total de FS más FI (Nelson, 2000).

## CLASIFICACIÓN DE LA FIBRA DIETÉTICA



**Figura 1.** Clasificación de la fibra dietética en base a su solubilidad en agua, y sus componentes principales.

Las propiedades funcionales de la fibra pueden agruparse en cuatro apartados según López *et al.* (1997): 1). Propiedades de hidratación: Estas dependen de la naturaleza físico-química de los constituyentes de la fibra. La solubilidad, hinchamiento, capacidad de retención y absorción de agua y viscosidad son determinadas por su

contenido de pectinas, gomas, mucílagos y hemicelulosas. Los mecanismos por los que la fibra interviene en los procesos de absorción de nutrientes en el tracto gastrointestinal son la prolongación del tiempo de vaciado gástrico y el retardo en la absorción de nutrientes. La viscosidad en la luz intestinal está dictaminada por la naturaleza de la fibra, así como por la presencia de polisacáridos solubles, su peso molecular, el número y tamaño de coloides. Una menor absorción de lípidos y glucosa en el intestino puede estar ocasionada por el incremento de la viscosidad de la FD, 2). Capacidad de intercambio catiónico: La reducción de la biodisponibilidad de determinados minerales y electrolitos debido a su adsorción y eliminación por las heces, es una de las propiedades adversas de la FD. La cantidad de fibra recomendada es de más de 20 g/día y no mayor a 35 g/día. Para la absorción mineral adversa el consumo de FD debe ser mayor a 35 g/día, 3). Tamaño de partícula, densidad y características de superficie (porosidad y capacidad de adsorción de grasa): Las fibras más porosas permiten una mayor capacidad de retención y absorción de agua, lo que facilita la penetración de bacterias del colon para su degradación. La FD es fermentada en el colon por diferentes bacterias, produciendo ácidos grasos de cadena corta como el propiónico, butírico y acético, además de gases como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>S. La forma física y el tamaño de partícula influyen en el volumen de la masa fecal disminuyendo éste cuando se reduce el tamaño de partícula y, 4). Adsorción de moléculas orgánicas: Se basa en la capacidad que tiene la lignina, pectina y goma guar para unir determinadas sustancias en el intestino como ácidos y sales biliares, colesterol, drogas, compuestos tóxicos y carcinogénicos.

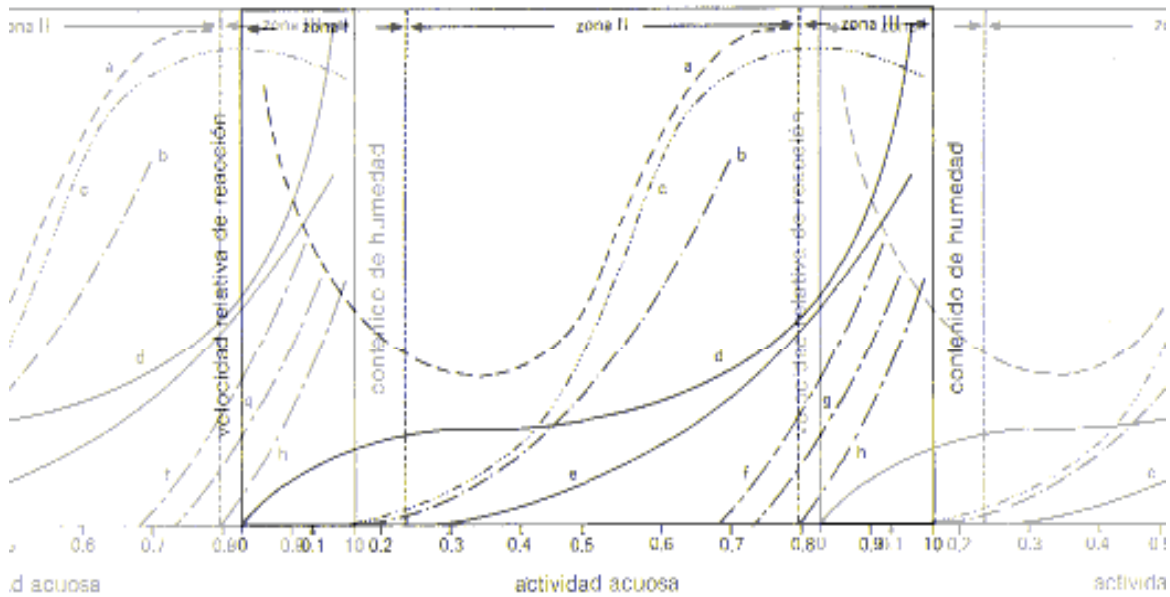
Por lo tanto, la ingestión de FD en los niveles recomendados (20 a 25 g/día), es un medio eficaz para la regulación de los niveles plasmáticos de glucosa, colesterol y triglicéridos, además de prevenir ciertas enfermedades crónico-degenerativas como cáncer de colon y recto (Hughes y Rowland, 2001; Topping y Clifton, 2001; Mori y col. 1996), y enfermedades relacionadas con altos niveles de colesterol y triglicéridos (Martínez-Flores y col., 2004; Stark y Madar, 1994).

#### 4.4. Actividad de agua

El contenido de humedad de un alimento se refiere al contenido de agua total en el mismo, sin considerar que en la mayoría de los productos existen zonas o regiones microscópicas que debido a una alta acumulación de lípidos no permiten su presencia y la obligan a distribuirse en forma heterogénea. El citoplasma de las células tiene un alto porcentaje de proteínas capaces de retener más agua que los organelos que carecen de macromoléculas hidrófilas semejantes. Lo anterior es importante, ya que no toda el agua de un producto presenta las mismas propiedades (Badui, 2006).

Las propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento, dependen de su contenido de agua, influyendo también en las reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas. El agua en un alimento se puede dividir en *libre* y *ligada*. La primera sería la única disponible para el crecimiento de los microorganismos y la segunda está unida a la superficie sólida y no actúa por estar “no disponible o inmóvil”; es decir, sólo una fracción del agua, llamada actividad de agua ( $A_w$ ), es capaz de proporcionar estos cambios y es aquella que tiene movilidad y disponibilidad. Es con base a este valor que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto y no con su contenido total de agua (Badui, 2006).

En la Fig. 2 se muestra una gráfica donde se observan las tres zonas en las que se puede dividir el agua en un alimento: Zona III. Se considera *libre*; se encuentra en macrocapilares y forma parte de las soluciones que disuelven las sustancias de bajo peso molecular; es la más abundante y fácil de congelar y evaporar; su eliminación reduce la actividad acuosa a 0.8. Zona II. El agua se localiza en diferentes capas más estructuradas y en microcapilares; es más difícil de eliminar que la anterior, y al lograrlo el valor de  $A_w$  se reduce hasta 0.25. Esta fracción, junto con la monocapa, se le conoce como agua *ligada*. Zona I. Equivale a la capa monomolecular; es la más difícil de eliminar en los procesos térmicos de secado comerciales; en algunos casos reduce parcialmente, aunque no es recomendable, ya que requiere mayor gasto energético y se puede dañar el alimento; su presencia protege contra reacciones de oxidación de lípidos, al actuar como barrera del oxígeno.



**Figura 2.** Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad acuosa a 20°C: a) oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma del agua; e) contenido de humedad; f) actividad enzimática; g) crecimiento de levaduras; h) crecimiento de bacterias.

En el Cuadro 1 se muestran los valores de  $A_w$  mínima para el crecimiento de microorganismos de importancia en alimentos.

**Cuadro 1.** Valores de  $A_w$  mínimas para el crecimiento de microorganismos.

Organismo	$A_w$ Mínima
Mayoría de bacterias dañinas	0.91
Mayoría de levaduras dañinas	0.88
Mayoría de hongos dañinos	0.80
<i>Salmonella</i>	0.95
<i>Escherichia coli</i>	0.96
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.86

#### 4.5. Deshidratación

El secado ha sido, desde los tiempos más remotos, un medio de conservación de los alimentos. En el campo se secan los granos por medio de la exposición al sol y se logra una humedad final que va desde 10 al 14% (Potter, 1973).

El hongo *Pleurotus* tiene aproximadamente 90% de agua en su composición (Sadler, 2003). Este es un factor a tomar en cuenta para el manejo del hongo, ya que así como el agua es un componente mayoritario de los alimentos, que contribuye a las características de textura, apariencia y sabor, entre otras propiedades, también el agua es un determinante en el deterioro de alimentos por el papel que desempeña en diferentes reacciones químicas y enzimáticas y en la descomposición microbiana (Welti y Vergara, 2002).

De tal forma, que por el elevado contenido de agua, el hongo es un alimento altamente perecedero, que se descompone después de dos a tres días de ser colectado, por lo que su tiempo de manejo es corto. Lo anterior debido a que después de colectado el hongo, éste continúa con los procesos de respiración y transpiración, los cuales producen cambios físicos y químicos irreversibles. De hecho, los métodos tradicionales de deshidratación generan oscurecimiento a los productos, provoca la pérdida de nutrientes debido a los largos tiempos de exposición del producto a temperaturas elevadas, y un alto consumo energético (Thipayarat, 2007).

La deshidratación de alimentos se entiende como la eliminación casi completa del agua que contienen estos, bajo condiciones de control que producirían solo un mínimo de cambios, o idealmente, ningún cambio, en las propiedades del alimento. La humedad final de estos alimentos deshidratados es del 1 al 15%, según el producto. En la deshidratación de alimentos, el desafío tecnológico es grande, ya que los niveles bajos de humedad requeridos para la estabilidad máxima del producto no se obtienen fácilmente con un mínimo de cambio en los materiales alimenticios (Potter, 1973).

La conservación, es el motivo principal de la deshidratación de alimentos, aunque no el único, también puede ser para disminuir su peso y volumen. Cualquiera que sea el método de secado, la deshidratación de un alimento consta de dos etapas: 1) Introducción de calor al producto y, 2) Extracción de humedad del producto. Al

deshidratar los alimentos, se procura obtener la velocidad máxima en el secado, de manera que se hacen todos los esfuerzos posibles para acelerar las velocidades de transmisión de calor y transferencia de masa. Las siguientes consideraciones son importantes (Potter, 1973): Área de superficie: Generalmente se corta el alimento para acelerar la transmisión de calor y la transferencia de masa, debido a que hay una mayor superficie de contacto con el medio de calentamiento y porque las partículas más delgadas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del alimento. Temperatura: Cuanto mayor sea la temperatura entre el medio de calentamiento y el alimento, mayor será la velocidad de transmisión de calor al alimento, proporcionando la fuerza impulsora para la eliminación de la humedad. Velocidad del aire: El aire caliente recoge más humedad que el aire fresco, pero el aire en movimiento es más efectivo todavía. El aire en movimiento además de recoger la humedad, la barre de la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmósfera saturada que disminuiría la velocidad de la eliminación subsiguiente de humedad. Sequedad del aire: Cuando el aire es el medio de secado, cuanto más seco esté, mayor será la velocidad del proceso de secado. El aire seco tiene el poder de absorber y retener la humedad del material. Evaporación y temperatura: A medida que el agua se evapora de una superficie, la enfría. El enfriamiento es en gran parte el resultado del calor latente proveniente del cambio del líquido a gas, es decir, el calor de vaporización al hacer el cambio de agua a vapor de agua. En este proceso, el calor se elimina del aire empleado para secar o de la superficie empleada para calentar, lo mismo que del alimento en agua caliente, de manera que la pieza o gota de alimento se enfría. Tiempo y temperatura: Ya que todos los métodos importantes de deshidratación de alimentos emplean calor y que los componentes de los alimentos son sensibles al mismo, es preciso encontrar términos medios entre la máxima velocidad del secado y el óptimo mantenimiento de la calidad de los alimentos (Potter, 1973).

#### **4.6. Deshidratación solar**

Una práctica antigua eficiente de poscosecha es la deshidratación solar. Hay dispositivos sencillos y económicos llamados deshidratadores o secadores solares que permiten mejorar sustancialmente el proceso y pueden dar valor agregado de manera

sustentable a los productos hortofrutícolas y agrícolas en general. Las ventajas de un proceso de deshidratación solar son: 1) Los productos deshidratados se conservan más tiempo antes de su consumo, 2) El proceso es sencillo, seguro y eficiente, 3) Los productos deshidratados no pierden sus propiedades nutritivas y sensoriales como color, sabor y textura, 4) La deshidratación permite comercializar los productos a precios mayores en los mercados locales y globales, 5) Ahorro de energía. Con el uso de otro tipo de deshidratadores (eléctricos o de combustión) el productor gastaría dinero en suministrar la energía necesaria para su operación en comparación a la energía solar que es gratuita (Potter, 1973).

Los deshidratadores solares se construyen en una caja poco profunda con interiores pintados de negro y un panel de vidrio en la parte superior. El aire caliente así recogido asciende a través de un gabinete que contiene bandejas apiladas en las que se carga el producto a secar (Potter, 1973).

Este deshidratador tiene la ventaja de que los rayos ultravioleta no inciden directamente en el producto, evitando así su decoloración. Además el flujo del aire y la temperatura están mejor controlados. Todo esto resulta en una mejor calidad del producto final deshidratado.

El Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán (CIDEM) de Morelia, Mich., construyó un deshidratador solar indirecto. Tiene la capacidad para deshidratar hasta 5 kg de producto fresco. Contiene tres charolas para colocar el producto. El gabinete tiene una altura de 1.10 m y una base de 0.25 m; está recubierto y aislado con placas de aglomerado de madera (MDF) y la estructura está construida con listones de madera de pino de 4 cm x 4 cm. El captador solar tiene un área de 0.46 m<sup>2</sup>, tiene una estructura de madera aislada en su parte inferior con MDF y con una cubierta de vidrio de 3 mm de espesor. En medio tiene una lámina de aluminio pintada con pintura de aerosol color negro mate. A continuación se muestra la fotografía (Fig. 3) del deshidratador solar construido por el CIDEM. La información acerca de la deshidratación solar es descrita por Vargas Medina y Ayala-Virelas (2006).



**Figura 3.** Deshidratador solar construido por el CIDEM.

#### **4.7. Actividad enzimática**

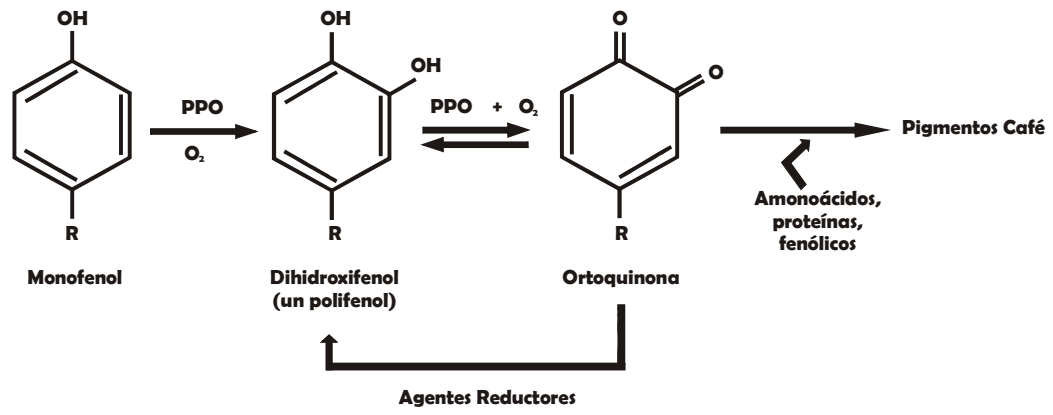
El pardeamiento enzimático puede ser un problema al producir alteraciones en el color, olor y sabor, ya que reducen el valor comercial del hongo o incluso los hacen inaceptables para el consumidor. Las enzimas que catalizan estas transformaciones son oxidoreductasas (Badui, 2006). Las enzimas oxidativas tirosinasa, lacasa y peroxidasa, conocidas como polifenoloxidasas (PPO) son las responsables de ocasionar las reacciones de obscurecimiento en hongos (Ratcliffe *et al.*, 1994).

Las PPO son enzimas que presentan un centro activo de dos átomos de cobre unidos cada uno a tres histidinas. En su entorno se sitúan una serie de aminoácidos hidrófobos con anillos aromáticos, importantes para la actividad de la enzima, ya que permiten unir la enzima a los sustratos. La PPO en el hongo forma pequeñas vesículas que cuando se rompen por daño mecánico, corte o temperatura, producen la reacción de pardeamiento.

La Fig. 4, muestra las dos reacciones que cataliza la PPO en el hongo; la primera es hidroxilando monofenoles a dihidroxifenol y la segunda oxidando el dihidroxifenol a quinona (pigmentos cafés), utilizando oxígeno molecular (Vámos-Vigyazo 1981). Al momento del daño mecánico o térmico se oxida la tirosina en una quinona produciendo color y olor desagradables (Miller 2004), esto debido a los productos finales de estructura química compleja (melanina); dependiendo de la intensidad de esta transformación, las melaninas varían su color desde un ligero amarillo hasta un café oscuro. Las enzimas requieren de iones cobre como cofactor, en este caso, en estado monovalente; su pH óptimo de actividad es de 5 a 7.

Algunas operaciones que pueden ayudar a disminuir o evitar el pardeamiento enzimático son: evitar el contacto con oxígeno, bajar la temperatura, reducir el pH y desnaturalizar la enzima utilizando algún tipo de inhibidor enzimático como ácido ascórbico, sulfitos, ácido cítrico, EDTA (Calvo s.f). Para utilizar cualquier inhibidor se debe tomar en cuenta las dosis legales permitidas, plasmadas en las normas oficiales mexicanas.

Existen diferentes tipos de inhibidores: a) los agentes reductores actúan revirtiendo la quinona a fenol, b) inhibidores competitivos y c) agentes quelantes. El inhibidor más utilizado es el sulfito, pero debido a los reportes negativos en algunas personas asmáticas, aún en dosis permisibles, no se puede utilizar. En este caso se proponen la cisteína, el ácido cítrico y el ácido benzóico estudiando su actividad individual.



**Figura 4.** Acción de la PPO sobre los compuestos fenólicos.

## CAPITULO V

### 5.0. JUSTIFICACIÓN

En el estado de Michoacán se ha reportado un incremento en el cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* (C.P.) destinándose principalmente al consumo humano. Tal hecho es de importancia considerando que el cultivo puede ser aprovechado nutricionalmente por el consumidor y económicamente por el productor, para cumplir tal propósito sería útil incrementar el valor agregado del producto a través del procesamiento del hongo, permitiendo obtener diferentes formas de presentación y así ofertarlo al público consumidor.

Una forma de consumo del producto con mayor valor agregado es deshidratando el hongo *P. ostreatus* haciendo uso de una metodología tal que permita obtener un producto de igual o semejante calidad nutricional al hongo fresco destacando como elemento funcional importante su contenido en fibra. Dicha tecnología es el deshidratador solar de tipo indirecto.

## **CAPITULO VI**

### **6.0. HIPÓTESIS**

Utilizando inhibidores químicos para controlar las reacciones de oscurecimiento durante la deshidratación solar del hongo *Pleurotus ostreatus*, se pueden conservar sus propiedades de color, olor y textura, así como las físico-químicas.

## CAPITULO VII

### 7.0. OBJETIVOS

#### 7.1. Objetivo General

Caracterizar el hongo *Pleurotus ostreatus*, a través de pruebas sensoriales y de propiedades físico-químicas posterior a su deshidratación.

#### 7.2. Objetivos Específicos

1. Reducir la actividad de la enzima causante del pardeamiento en el hongo estableciendo su inhibidor idóneo.
2. Seleccionar el tipo de deshidratador usado para secar el hongo *Pleurotus ostreatus*.
3. Caracterizar el contenido de fibra dietética y medir algunas propiedades sensoriales del hongo *Pleurotus ostreatus* después de deshidratarlo, tales como color y textura.
4. Realizar pruebas físico-químicas del hongo *P. ostreatus* deshidratado, como capacidad de absorción de agua y de aceite, y actividad de agua.

## CAPITULO VIII

### 8.0. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 8.1. Materia Prima

Se utilizó hongo *Pleurotus ostreatus* fresco proveniente de Tzitzio, Michoacán, proporcionado por el Ing. Enrique Villaseñor. En la Fig. 5 se muestran las galeras donde se hizo el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*. La Fig. 6 muestra una bolsa conteniendo el sustrato sobre el cual crece el hongo *P. ostreatus*; para el crecimiento del hongo, la “semilla” o micelio, fue colocado sobre el sustrato, el cual consistió de rastrojos de maíz y de trigo (70:30); el rastrojo de maíz fue reducido de tamaño, por molienda, a una pulgada de diámetro. El riego, fue aplicado por aspersión cada hora en el ambiente, para mantener una humedad aproximada del 70% en la galera. La temperatura de crecimiento estuvo en un rango de 18 a 24 °C. La ventilación se llevó a cabo diariamente a través de la apertura de ventanas superiores, para promover la ventilación e intercambio de gases.



**Figura 5.** Galeras de cultivo en Tzitzio, Michoacán.



**Figura 6.** Cultivo del *P. ostreatus*.

#### 8.2. Determinación de la actividad de la enzimática

En estudios preliminares de secado del hongo *P. ostreatus* se observó que existió un oscurecimiento marcado en el producto final, con mal aspecto y desarrollando un olor

desagradable. Por lo anterior, previo a las pruebas finales de deshidratación, se probaron diferentes sustancias para prevenir las reacciones de oscurecimiento, favorecidas con las temperaturas de secado planteadas en el estudio.

Para la determinación enzimática se utilizaron los siguientes materiales:

- Hongo *Pleurotus ostreatus*
- Hielo
- Solución amortiguadora A: buffer de fosfato de sodio 0.1M pH de 6.8, ajustado con NaF 0.1M
- Solución amortiguadora B: buffer de fosfato de sodio 0.1M, pH de 6.8
- Sulfito de sodio 0.5 % (p/v) en solución amortiguadora de fosfato de sodio 0.1M, pH de 6.8
- Solución de ácido cítrico 1%
- Cisteína 0.8%
- Ácido benzoico 1%
- Catecol: 4 mg / mL en solución amortiguadora B

### **8.2.1. Preparación del extracto enzimático**

El hongo adquirido de Tzitzio, fue refrigerado a  $8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se homogenizaron 50 g del hongo con la solución amortiguadora A, la mezcla fue agitada a  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 12 h. La suspensión fue centrifugada a 4000 rpm durante 15 min a  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Luego de separar el sólido, el líquido colectado se centrifugó nuevamente durante 15 min a 4000 rpm a  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El sobrenadante colectado fue el extracto que se utilizó para la cinética enzimática, preparándose en el momento justo de la lectura de cada serie de tubos.

### **8.2.2. Medición de la actividad de la polifenoloxidasas**

Una vez extraída la polifenoloxidasas del hongo se hizo el ensayo utilizando catecol como sustrato. En el progreso de la reacción se registró la formación de indol-quinona (IQ). La IQ absorbe intensamente a 475 nm (Miller, 2004) de tal modo que se utilizó la absorbancia a 475 nm para cuantificar la producción de la misma; leyéndola cada 15 segundos. La actividad fue determinada utilizando un espectrofotómetro BioRad Smar

Spec Plus en cubetas desechables micro de 1.5 mL. En el Cuadro 2, se presentan el orden y la cantidad de los reactivos presentes en cada tubo.

**Cuadro 2.** Orden en cantidad que se debe de seguir en la preparación de las muestras para la medición de la polifenoloxidasa y los inhibidores.

<b>Solución (ml/tubo)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Buffer B	2.5	2.4	2.35	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	0.8	0.7	0.6	X	X	X	X
Sulfito de sodio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2.0	X	X	X
Acido cítrico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2.0	X	X
Cisteína	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2.0	X
Acido benzoico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	2.0
Catecol	X	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	2.0	2.0	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Extracto de enzima	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5

### 8.3. Procesos de deshidratación del hongo

Una vez encontrada la sustancia idónea para inhibir las reacciones de oscurecimiento del hongo *P. ostreatus*, éste se lavó con agua destilada y se cortó en tiras de aproximadamente 1.0 cm de ancho.

Para los ensayos de deshidratación se utilizaron tres métodos de secado: 1) Estufa eléctrica de laboratorio marca Felisa, 2) Deshidratador solar indirecto (equipo deshidratador), 3) Deshidratación a la intemperie (exposición directa al sol).

En la estufa eléctrica se tomó el peso al inicio y al final del proceso de secado. Las temperaturas de trabajo fueron de 50, 60 y 70 °C durante 24 h cada una.

Para el deshidratador solar (deshidratación indirecta) se realizaron mediciones cada 15 min de: la temperatura interna del gabinete (T<sub>interior</sub>), la temperatura del medio ambiente (T<sub>ambiente</sub>), la temperatura del colector (T<sub>colector 1</sub>) y la temperatura del vidrio (T<sub>colector 2</sub>). Además, se hicieron mediciones tanto de la humedad al interior del gabinete de secado (H<sub>interior</sub>) como de la humedad del medio

ambiente ( $H_{\text{exterior}}$ ). Se monitoreó la pérdida de humedad del producto durante todo el proceso de secado. La deshidratación se realizó el día 15 de mayo del 2007, siendo un día con nublado parcial.

En la deshidratación a la intemperie se monitoreó el peso, la temperatura del producto y de la humedad y, temperatura del medio ambiente; también se tomaron lecturas en intervalos de 15 min, el mismo día que se llevó a cabo la deshidratación solar indirecta.

#### **8.4. Medición de textura (dureza) en los productos deshidratados**

Cortes circulares de los hongos deshidratados fueron utilizados para determinar su dureza. Para la determinación se midió la fuerza de resistencia a la compresión del hongo. El aditamento utilizado en la prueba fue un cilindro de acero inoxidable, el cual se desplazó a una velocidad de ensayo de 1.0 mm/s, penetrando una distancia de 15.0 mm en un tiempo de 5 seg. Se realizaron 10 repeticiones para cada uno de los tratamientos de deshidratación. Se usó el equipo Texture Analyzer TA-XT2.

#### **8.5. Determinación de fibra dietética total, insoluble y soluble**

La fibra dietética total, la soluble y la insoluble se cuantificaron con el método Prosky *et al.* (1988).

#### **8.6. Pruebas físico-químicas**

Las muestras deshidratadas se molieron en molino de cuchillas (marca Reisch) hasta obtener un tamaño de partícula medio cercano a 250  $\mu$ , y posteriormente se les realizaron las mediciones de color, y las pruebas físico-químicas.

##### **8.6.1. Color**

La medición de color se hizo en muestras de los hongos provenientes de los tres tratamientos de deshidratación. La determinación se efectuó con un colorímetro Mini Scan Hunter Lab (Reston, Virginia), que midió el color de superficies planas, simulando la luz de día. El principio de la medición se basó en registrar la intensidad de luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la

descomposición de la luz en los colores rojo, verde, amarillo y azul. El colorímetro se calibró con una placa negra de porcelana (0% de reflectancia) y una placa blanca (100% de reflectancia). Las muestras se colocaron en una celda, compactándola hasta dejar una superficie lisa y posteriormente se realizó la lectura. Los resultados se reportaron por medio de los parámetros  $\Delta L$ ,  $\Delta a$  y  $\Delta b$ ; el parámetro  $\Delta L$  indica la luminosidad y varía de 100 (blanco perfecto) a 0 (negro); los parámetros  $\Delta a$  y  $\Delta b$  indican la cromaticidad; los valores positivos de  $\Delta a$ , se relacionan con el color rojo y los negativos con el verde; mientras que los valores positivos de  $\Delta b$  se asocian con el color amarillo y los negativos con el azul. Las lecturas se hicieron por triplicado.

### **8.6.2. Capacidad de absorción de agua**

Se mezcló 1 g de muestra con 10 mL de agua y se centrifugó a 4000 rpm. El sobrenadante se retiró y se pesó la cantidad de sólidos más el agua retenida. La capacidad de absorción de agua se expresó como g de agua retenida/g de muestra. Se usó el método de la AACC (2000).

### **8.6.3. Capacidad de absorción de aceite**

Se mezcló 1 g de muestra con 10 mL de aceite de maíz y se centrifugó a 4000 rpm. El sobrenadante se retiró y se pesó la cantidad de sólidos más aceite retenido. La capacidad de absorción de aceite se expresó como g de aceite retenido/g de muestra. Se usó el método de la AACC (2000).

## **8.7. Análisis estadístico**

Para evaluar la inhibición enzimática, se aplicó un Análisis de Regresión Múltiple considerando el tipo y la concentración del inhibidor como variables independientes y el tiempo como variable predictiva.

Para comparar los resultados obtenidos con los distintos métodos de deshidratación, se utilizó el ANOVA de una vía con: a) El tipo de deshidratador como tratamiento y, b) El tiempo para cada uno de los tipos de deshidratación.

En estufa eléctrica se utilizaron 3 temperaturas de deshidratación, 50, 60 y 70 °C con tres repeticiones; mientras que en el deshidratador solar fue una sola temperatura con tres repeticiones.

Las medias se compararon con la prueba de Tukey-Kramer ( $p < 0.05$ ).

Dos características sensoriales del hongo fueron medidos para cada una de las temperaturas: la textura (10 repeticiones) y color (5 repeticiones) y posteriormente, se compararon mediante ANOVA de una vía y la prueba de comparación Múltiple de Tukey-Kramer ( $p < 0.05$ ).

Con el mismo procedimiento de análisis, se compararon las propiedades físico-químicas de capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite, y actividad de agua, con 4 datos para cada una de las temperaturas y métodos de deshidratación usados.

Todos los análisis se realizaron con el Programa JMP versión 6.0.

## CAPITULO IX

### 9.0. RESULTADOS

#### 9.1. Determinación de la inhibición enzimática

Los resultados de las determinaciones de la actividad enzimática con los diferentes inhibidores se muestran en el Cuadro 3. Los resultados se expresan como el porcentaje del compuesto indol–quinona (IQ) presente. El 100% de la actividad de la enzima polifenoloxidasasa (PPO) es cuando ésta convierte todo el catecol en indol-quinona.

De acuerdo con los resultados, se observó que el mejor inhibidor resultó ser el ácido cítrico al reducir la producción de indol–quinona, comparándolo principalmente con el sulfito de sodio, el cual fue el inhibidor que tradicionalmente se usaba para estos fines, hasta que se descubrió que el sulfito de sodio causa problemas colaterales a la salud humana (Badui, 1994). El ácido cítrico fue diferente estadísticamente a todos los demás inhibidores utilizados ( $p < 0.05$ ), seguido del sulfito de sodio, de la cisteína y del ácido benzoico.

Debido a lo anterior, el inhibidor seleccionado en la presente investigación, para disminuir el obscurecimiento del hongo durante el secado en la estufa eléctrica, fue el ácido cítrico al 1%.

**Cuadro 3.** Inhibición de la actividad enzimática (%) en función de los inhibidores utilizados.

<b>Inhibidor</b>	<b>Inhibición (%)</b>
Sulfito de sodio al 0.5%	65.82b
Ácido cítrico al 1%	70.85a
Cisteína al 0.8%	46.48c
Ácido benzoico al 1%	39.60d

## **9.2. Deshidratación**

Una vez inactivada la enzima PPO, la siguiente etapa del estudio fue deshidratar las muestras del hongo *P. ostreatus*. Para la etapa de deshidratación, primero se hicieron pruebas preliminares para establecer los límites mínimo y máximo de temperatura que se usarán para deshidratar el producto. En paralelo se hicieron pruebas físico-químicas al producto deshidratado que nos indicaron cuales son las temperaturas en las que se observaron cambios drásticos en relación al producto fresco, que nos ayudaron a establecer el rango de temperatura de secado final en estufa convencional eléctrica.

A continuación, se describen cada uno de los métodos de secado y los resultados obtenidos.

### **9.2.1. Deshidratado en estufa eléctrica**

En la estufa convencional solo se tomó el peso antes y al final del proceso de deshidratación debido a las limitaciones para realizar mediciones en el interior de la estufa. Las pruebas preliminares permitieron establecer que las temperaturas de desecación a utilizar serían de 50, 60 y 70° C por un periodo de 24 h cada una.

En relación al secado con estufa eléctrica, cuando se deshidrató a 50, 60 y 70 °C durante 24 h, se obtuvieron productos con humedades finales de 8.21%, 4.46% y 8.21%, respectivamente.

En la estufa eléctrica el sistema de calentamiento se hizo a través de resistencia eléctrica en una cámara cerrada. La deshidratación es eficiente, sin embargo, aquí no existe un flujo de aire que arrastre el aire con la humedad extraída del material, por lo que el proceso de secado fue lento, y además existió un daño mayor al tejido, ya que el aire caliente de la atmósfera cerrada pasó más tiempo en contacto con la superficie del hongo originando reacciones de oscurecimiento. Asimismo, en general, e independiente de la temperatura usada en el proceso, se obtuvo una textura frágil y quebradiza del hongo.

### **9.2.2. Deshidratación Indirecta**

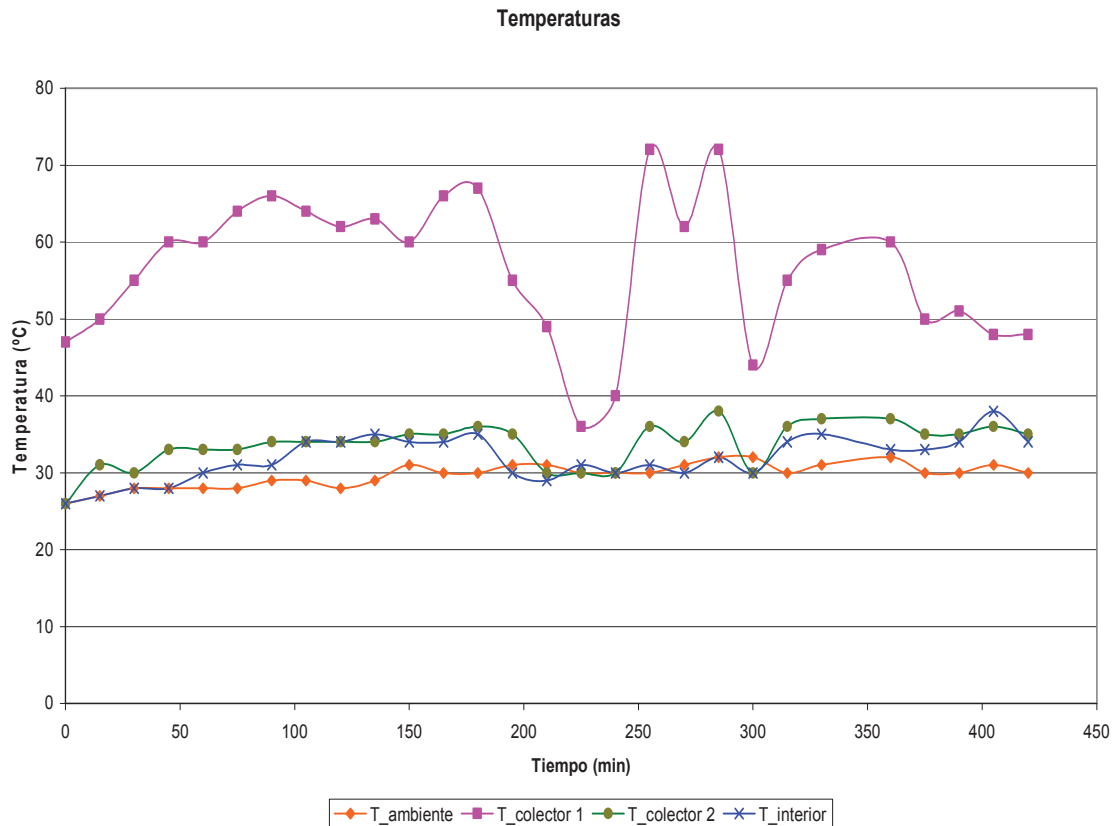
En este sistema el producto no se expuso directamente a la radiación solar. El equipo secador solar consistió en dos partes fundamentales: el colector solar que fue el medio para calentar el aire; y la cámara de secado en la cual se colocó el producto en bandejas. El colector solar y la cámara se conectaron de tal forma que el aire caliente entró por la parte baja de la cámara, pasó a través de las bandejas y emergió por la parte superior de la cámara. En este caso el calor necesario para la evaporación de humedad fue provisto por una transferencia convectiva de calor entre el aire caliente y el producto fresco. En el proceso de secado para este sistema fue fundamental la diferencia de concentración de humedad entre el aire caliente que pasó por la cámara y el aire en la vecindad inmediata del producto.

En el Cuadro 4 se muestran los valores de la temperatura ambiente, de los colectores, y de la temperatura del gabinete (interior).

En la Fig. 7 se muestra una curva comparativa de las temperaturas registradas en la lámina, en el vidrio, en el interior del gabinete y la temperatura del ambiente con respecto al tiempo; se observó que la temperatura máxima de la lámina alcanzó los 72 °C y la mínima 36 °C, aunque en el interior del gabinete, se registró una temperatura máxima de 38 °C y una mínima de 29 °C al inicio del ensayo. Puede considerarse la temperatura del vidrio como la temperatura del flujo de aire que entra al gabinete para la deshidratación del producto, la cual permaneció entre los 26 °C y los 38 °C. El comportamiento de la temperatura en el vidrio y en el interior fue similar entre sí y un poco mayores a lo largo del experimento en relación a la temperatura ambiente. El comportamiento irregular de las temperaturas obedeció a las variaciones climatológicas del día.

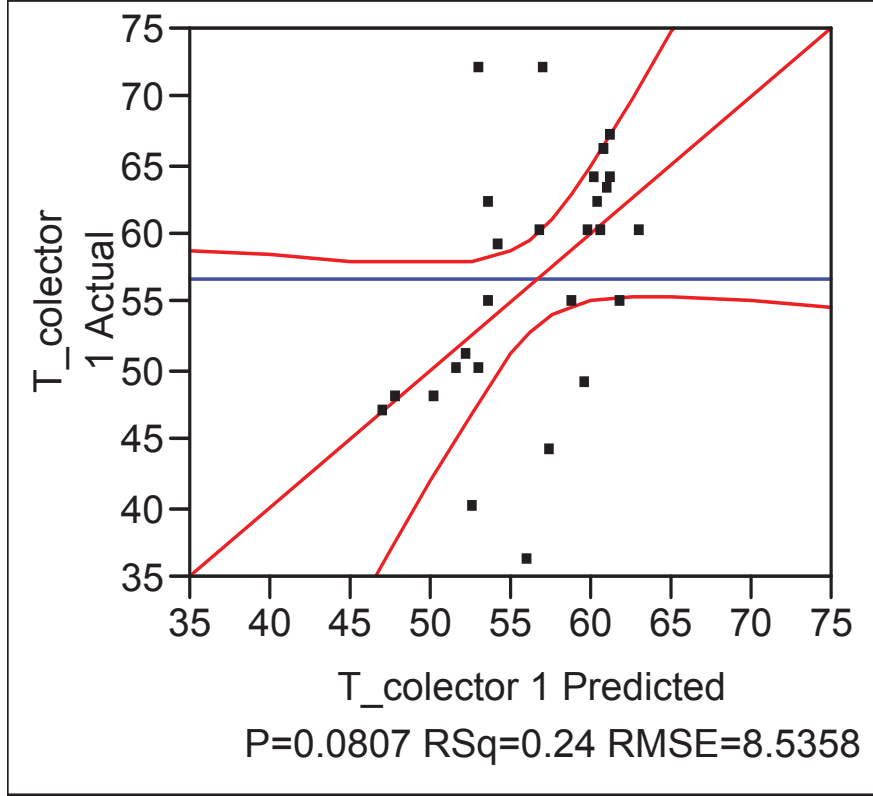
**Cuadro 4.** Datos obtenidos durante la deshidratación solar indirecta.

T_min	T_ambiente	T_colector 1	T_colector 2	T_interior	H_interior	H_ambiente	Peso
0	26	47	26	26	29	22	1.6
15	27	50	31	27	31	19	1.5
30	28	55	30	28	30	14	1.4
45	28	60	33	28	25	12	1.3
60	28	60	33	30	25	12	1.3
75	28	64	33	31	34	11	1.3
90	29	66	34	31	24	11	1.3
105	29	64	34	34	21	10	1.2
120	28	62	34	35	20	9	1.1
135	29	63	34	35	18	9	1.0
150	31	60	35	34	18	9	0.9
165	30	66	35	34	18	9	0.8
180	30	67	36	35	18	8	0.7
195	31	55	35	30	18	8	0.6
210	31	49	30	29	18	9	0.6
225	30	36	30	31	19	10	0.5
240	30	40	30	30	18	12	0.5
255	30	72	36	31	16	8	0.5
270	31	62	34	30	18	11	0.4
285	32	72	38	32	14	12	0.4
300	32	44	30	30	12	8	0.3
315	30	55	36	34	14	8	0.3
330	31	59	37	35	14	8	0.3
360	32	60	37	33	12	6	0.2
375	30	50	35	33	12	6	0.2
390	30	51	35	34	11	6	0.1
405	31	48	36	38	11	8	0.1
420	30	48	35	34	11	8	0.1



**Figura 7.** Gráfica de temperaturas en el interior del deshidratador indirecto.

Los coeficientes de regresión de las variables del tiempo, la temperatura y humedad del medio ambiente se analizaron en un modelo de regresión múltiple, usando la temperatura del colector 1 como respuesta. Se encontró que la temperatura y la humedad del medio ambiente no fueron significativas ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, si existió diferencia significativa respecto al tiempo. Es decir, que el tiempo afectó significativamente la temperatura del colector 1. La Fig. 8 muestra la gráfica del modelo.



**Figura 8.** Modelo de regresión de T\_min, T\_amb y H\_amb respecto a T\_colector 1.

Con respecto a los coeficientes de regresión del tiempo, la temperatura y humedad del medio ambiente con respecto a la temperatura del colector 2, se encontró que sí existió diferencia significativa en la humedad, afectando de manera negativa a la temperatura del colector 2; es decir, a mayor humedad menor será la temperatura del colector 2. A continuación se presenta la siguiente ecuación de predicción:

$$T_{\text{colector 2}} = 33.1 + 0.1525 (T_{\text{ambiente}}) - 0.441 (H_{\text{ambiente}}) + 0.001 (T_{\text{min}}).$$

Al evaluar el tiempo, la temperatura ambiente y la humedad ambiente respecto a la temperatura interior, en un modelo de coeficiente de regresión, se encontró que sí existió diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) con respecto a la humedad, mostrando un efecto negativo. Y los mismos parámetros, pero con respecto al peso, presentaron alta significancia con respecto a la temperatura ambiente y al tiempo, más no para la humedad; afectando el tiempo y la temperatura ambiente de forma negativa a la temperatura interior (considerada como la temperatura de secado).

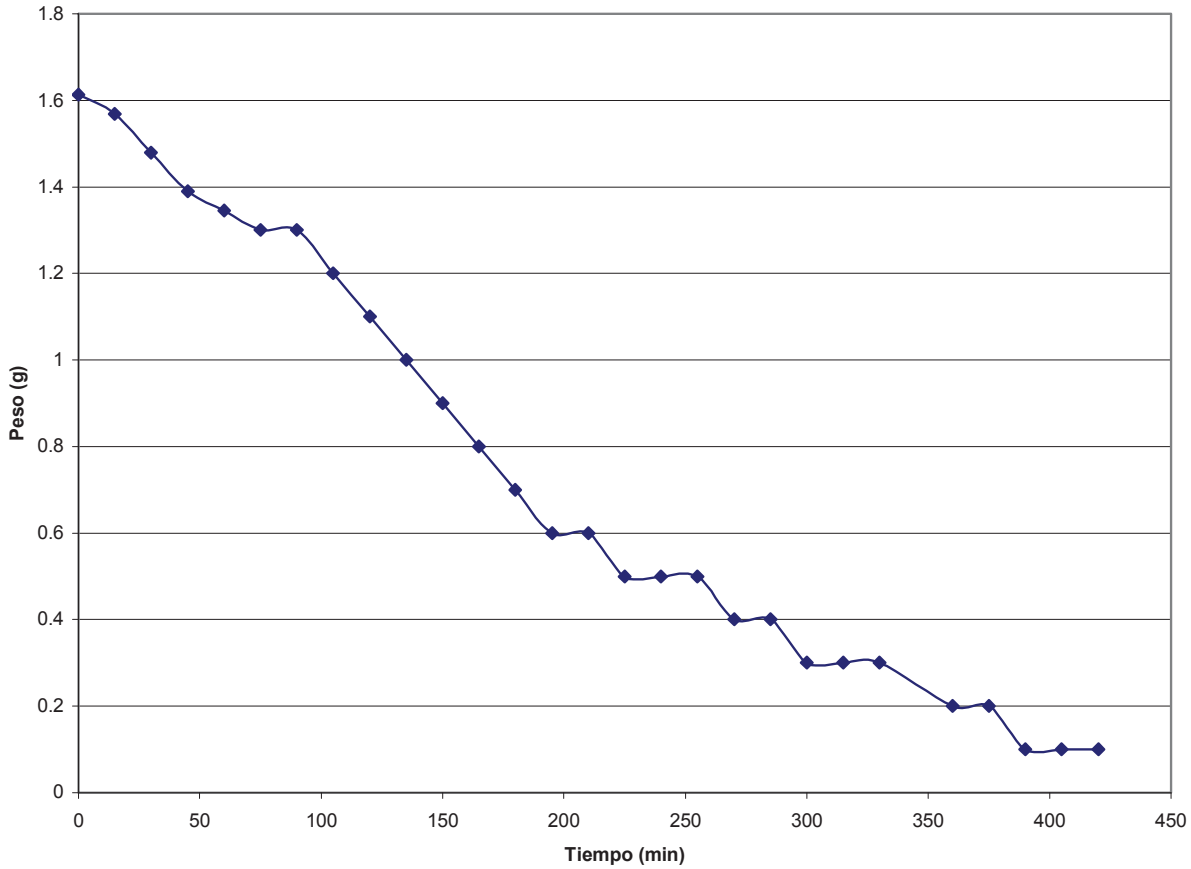
Mediante un modelo de regresión lineal simple, considerando la humedad interior y el peso, se observó que existió una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre estos dos parámetros; e igualmente significativa para la temperatura interior y la humedad interior pero con un efecto negativo; al presentarse una humedad interior elevada disminuyó la temperatura interior del deshidratador.

En la Fig. 9 se relacionó el peso del hongo deshidratándose en función del tiempo transcurrido. Se observó que en todo el tiempo de secado existió una pérdida constante de humedad. En los primeros 100 min se redujo un 25% de la humedad inicial que contenía el hongo fresco. A los 160 min se eliminó el 50% de la humedad del hongo. A partir del min 390 la pérdida de humedad fue mínima y prácticamente no mostró variación.

### **9.2.3. Deshidratación a la intemperie**

En este proceso de secado, la energía solar incidió directamente sobre la superficie del producto. Una parte de la radiación incidente se reflejó y la otra se absorbió por la superficie del producto. Del total del espectro, la energía de onda corta es la más significativa para este caso. La radiación absorbida se convierte en energía térmica y la temperatura del producto comienza a crecer. Esto resulta en pérdida de radiación de onda larga (radiación térmica) de la superficie del producto al aire del ambiente, llevándose parte de la humedad del producto. Existió además una pérdida de calor convectivo debido al flujo de aire sobre la humedad superficial del producto.

Curva de secado (deshidratador)



**Figura 9.** Curva de secado en la deshidratación indirecta.

Por otro lado, una parte de la energía absorbida es transferida por conducción hacia el interior del producto. Esto causa un incremento de la temperatura y la formación de vapor de agua al interior del producto, el cual por difusión llega a la superficie del producto y representa una pérdida térmica en forma de evaporación. En la primera etapa, la pérdida de humedad fue rápida, ya que el exceso de humedad en la superficie del producto se eliminó fácilmente por el flujo de aire caliente. Las etapas subsecuentes del secado dependieron de la velocidad a la cual se desplazó por difusión, la humedad

del interior del material a su superficie más externa. Los datos que aportó la deshidratación a la intemperie se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Datos obtenidos durante la deshidratación a la intemperie.

Tiempo (min)	Temperatura ambiente (°C)	Humedad ambiental (%)	Temperatura del producto (°C)	Peso (g)
0	26	22	30	32.0
15	27	19	30	32.0
30	28	14	31	26.6
45	28	12	30	23.8
60	28	12	30	21.4
75	28	11	30	19.7
90	29	11	30	16.8
105	29	10	30	14.6
120	28	9	30	12.8
135	29	9	30	10.0
150	31	9	31	9.00
165	30	9	31	8.40
180	30	8	31	7.10
195	31	8	31	6.10
210	31	9	28	5.45
225	30	10	26	5.40
240	30	12	30	5.35
255	30	8	30	3.80
270	31	11	30	3.30
285	32	12	34	3.30
300	32	8	30	3.00
315	30	8	35	2.80
330	31	8	36	2.35
360	32	6	35	1.80
375	30	6	36	1.70
390	30	6	32	1.70

405	31	8	30	1.70
420	30	8	30	1.70

La Fig. 10 corresponde a la curva de secado a la intemperie y en ella se observó que también existió una disminución del contenido de humedad del hongo en función del tiempo; sin embargo, aquí se apreciaron varias zonas de eliminación de humedad. En los primeros 100 min la disminución de agua fue rápida y constante, y se redujo un 53% el contenido de agua del hongo fresco. A los 175 min se redujo un 50% del contenido de humedad del hongo, y hasta este tiempo la reducción de la humedad del material fue constante. De los 240 a los 330 min la velocidad del secado no fue constante y del minuto 360 al 420 la disminución de peso permaneció constante.

Mediante un modelo de regresión múltiple considerando el tiempo, la temperatura ambiente y la humedad ambiente respecto a la temperatura del producto se determinó que no existió diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, comparando los mismos parámetros pero respecto al peso del producto, se encontró que éstos lo afectaron significativamente.

Curva de secado (intemperie)

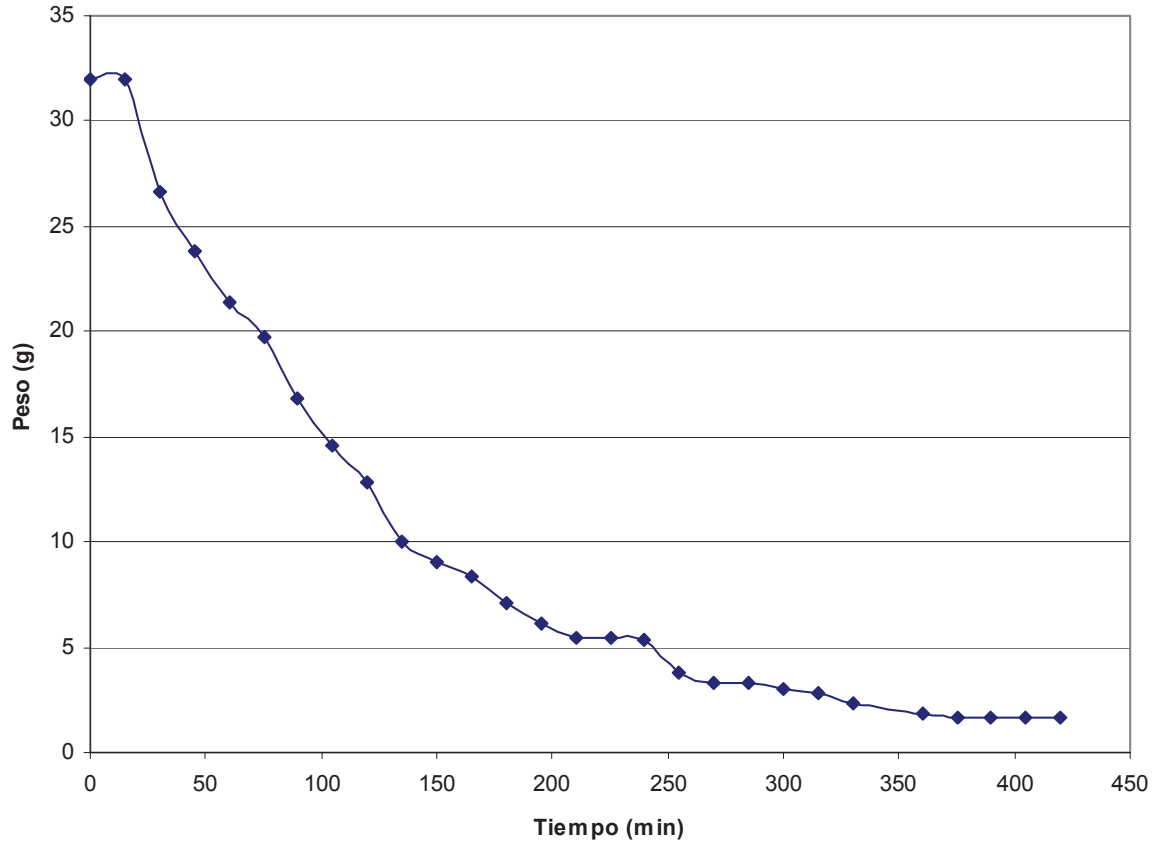


Figura 10. Curva de secado a la intemperie.

#### 9.2.4. Comparación de curvas de secado y humedades relativas

Al comparar la velocidad de secado en la deshidratación indirecta y a la intemperie (Fig. 11), se observa que la primera fue mayor; sin embargo, al término del ensayo, el peso estandarizado<sup>1</sup> fue el mismo al min 420. Se puede considerar que la deshidratación indirecta fue más suave que a la intemperie pero igualmente efectiva.

<sup>1</sup> Dado que el peso de las muestras fueron distintas, su registro se estandarizó al valor de 1 con el objetivo de comparar adecuadamente ambas curvas.

Comparación de curvas de secado

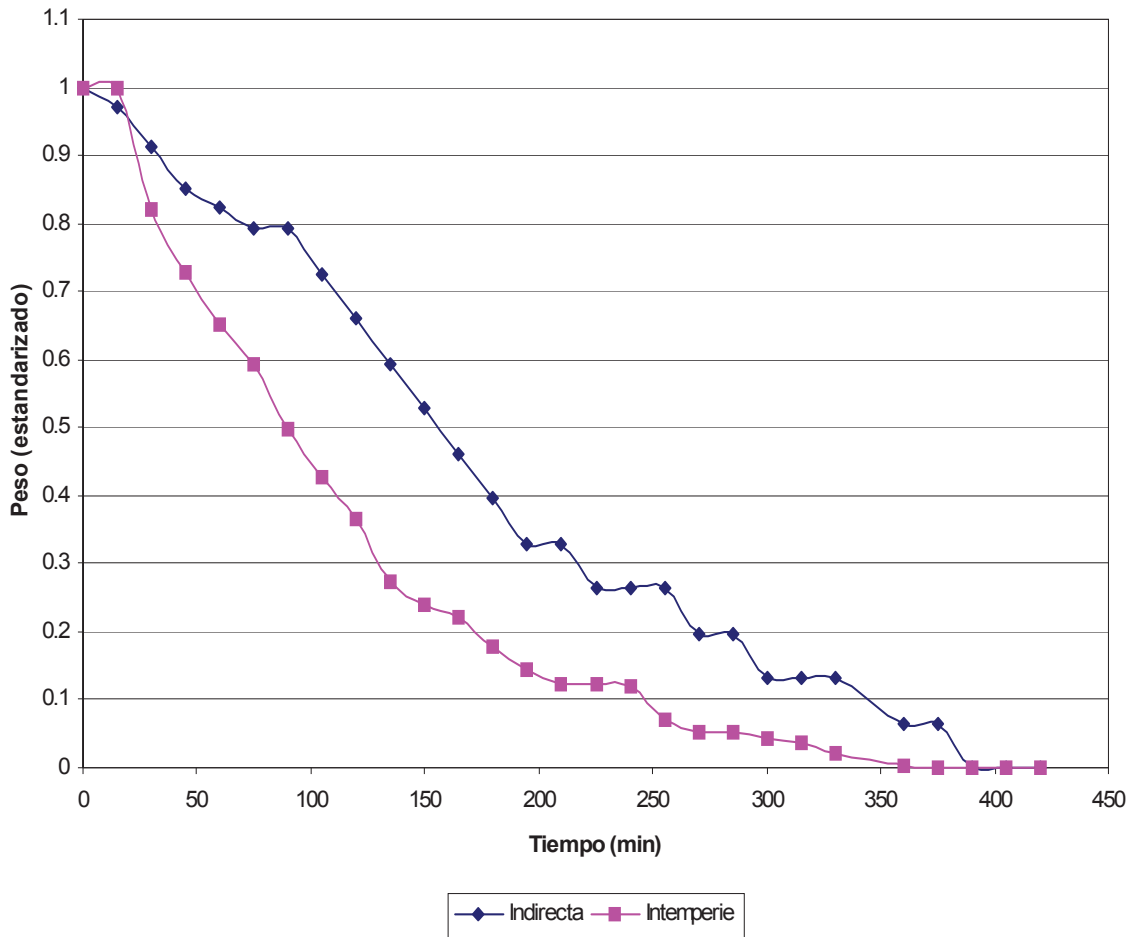
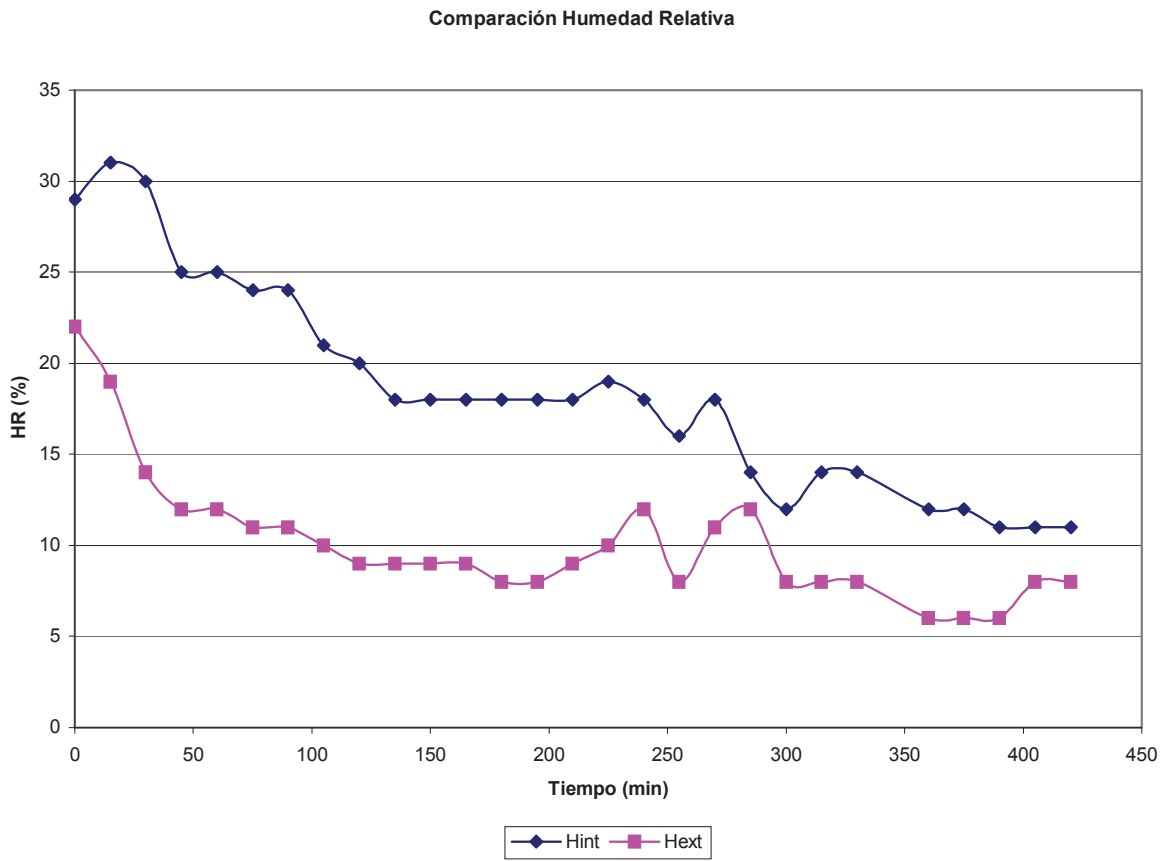


Figura 11. Comparación de curvas de secado.

La humedad dentro del gabinete fue mayor comparada con la interior debido a que en el interior el hongo está liberando la humedad. Sin embargo, en la Fig. 12. se muestra que ambas se comportaron de manera similar.



**Figura 12.** Comparación de humedades, tanto interior como exterior.

**9.2.5. Análisis de eficiencia térmica:**

El análisis de eficiencia de Primera Ley de la termodinámica para el Deshidratador Indirecto (DI) y la Deshidratación Directa (DD) a la intemperie, se determinó por medio de la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}} = \frac{E_{calorífica}}{E_{solar}} = \frac{(m)(h_{fg})}{(A)(t)(r)} (100)$$

*Eficiencia DI*

$$m = (2.5g)(273.61) = 0.684kg$$

$$A = 0.78m^2$$

$$t = 420 \text{ min} = 25200s$$

$$r = 355.5W / m^2 = 0.3555KJ / sm^2.$$

$$h_{fg} 33^\circ C = 2561.7KJ / kg$$

$$\eta = \frac{(0.684kg)(2561.7KJ / kg)}{(0.78m^2)(25200s)(0.3555KJ / sm^2)} = 25.07\%$$

*Eficiencia DD*

$$m = 0.032kg$$

$$A = 0.01m^2$$

$$t = 420 \text{ min} = 25200s$$

$$r = 355.5W / m^2 = 0.3555KJ / sm^2.$$

$$h_{fg} 30^\circ C = 2553.6KJ / kg$$

$$\eta = \frac{(0.032kg)(2553.6KJ / kg)}{(0.01m^2)(25200s)(0.3555KJ / sm^2)} = 90.14\%$$

Donde:

n= eficiencia

m = cantidad de agua evaporada (kg)

$h_{fg}$  = Calor latente de vaporización (KJ/kg)

A= Área del colector ( $m^2$ )

t = tiempo de incidencia

r = promedio de la radiación en el tiempo t

Nota. El valor promedio de la radiación considera la proyección de la radiación solar sobre la inclinación. Esta ecuación no toma en cuenta otras variantes, sin embargo, nos da una idea del comportamiento de la eficiencia de la deshidratación del hongo.

Los resultados de la eficiencia para cada sistema, mostraron en el caso del deshidratador indirecto, que ésta fue de 25.07% y en el cálculo se consideró el total del producto colocado en las bandejas de la cámara de secado. La carga considerada es apenas, la sexta parte de la capacidad total del deshidratador. En este tipo de deshidratadores, la eficiencia aumenta con la cantidad de carga. Por otro lado, la eficiencia para la deshidratación a la intemperie fue de 90.14%. Ambos valores corresponden a lo que se observa en la gráfica comparativa de las curvas de secado. La eficiencia estimada en 90.14% fue alta, debido a que no se consideraron las aportaciones energéticas de las corrientes de aire de la intemperie, y en el caso de la eficiencia de 25.07% no se consideraron las pérdidas térmicas del deshidratador. La fórmula para calcular ambas eficiencias representa condiciones ideales de la primera ley de la termodinámica y sólo es un parámetro de referencia de un modelo que presenta limitaciones.

### **9.3. Efecto de la deshidratación sobre el contenido de fibra dietética**

En el Cuadro 6 se muestran los valores de la cantidad de fibra soluble (FS), insoluble (FI) y total (FT) del hongo deshidratado a 50, 60 y 70 °C en la estufa eléctrica y en el deshidratador solar.

El mayor valor de FT se presentó en la muestra secada en estufa eléctrica a 50 °C, mostrando un valor de 10.20%, de la cual 5.05% fue de FI y 5.14% fue de FS. Este valor encontrado para FT fue estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) comparado con los demás tratamientos. Además, se observó una disminución gradual del contenido de FT cuando se aumentó la temperatura de secado en la estufa eléctrica, no obstante no se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) a las temperaturas de deshidratación de 60 y 70 °C en estufa eléctrica ni con la muestra desecada en el deshidratador solar. A pesar de no existir diferencias significativas, se pudo ver que al secarse el hongo a 70 °C la cantidad de FT disminuyó en un 7.96% con respecto a la que se secó a 50 °C. La

temperatura posiblemente actuó degradando los componentes de la FI, como la celulosa y posiblemente las hemicelulosas, hasta azúcares menores los cuales no tienen un comportamiento de fibra, y por lo tanto no son cuantificadas como tales. La deshidratación solar solamente disminuyó un 5.85% en relación a la cantidad de FT comparada con la deshidratada en estufa eléctrica a 50 °C.

**Cuadro 6.** Resultados de fibra insoluble, soluble y total en hongo deshidratado.

<b>Deshidratación</b>	<b>Fibra insoluble (g)</b>	<b>Fibra soluble (g)</b>	<b>Fibra total (g)</b>	<b>Reducción de fibra total en relación a E-50 (%)</b>
E-50	5.05a	5.14a	10.20a	-
E-60	5.04a	4.53b	9.57b	6.14
E-70	4.19b	5.19a	9.39b	7.96
D-solar	5.15a	4.45b	9.60b	5.85

E: secado en estufa eléctrica.

D: deshidratación solar.

#### **9.4. Pruebas físico-químicas en los productos deshidratados**

##### **9.4.1. Determinación de color en los productos deshidratados**

En el Cuadro 7 se nota una variación en el color después de que el hongo fue deshidratado por los diferentes procesos de secado. El parámetro *L* de color se refiere a la luminosidad, y tiene una escala de 0 a 100. El valor de 100 indica que toda la radiación emitida por el equipo sobre la superficie, es reflejada y el color es blanco; mientras que el valor de 0 indica que toda la radiación es absorbida y el color es negro.

Por lo tanto, un descenso en el valor del parámetro L significa que el producto es más oscuro. Los productos deshidratados en este estudio no pueden presentar un valor de 100, ni muy cercano a él, debido a que este tipo de hongos tienen una coloración crema y en algunas partes un ligero color café. Además de que durante la deshidratación, se acentúa una coloración ligeramente oscura, variando en su intensidad de color, dependiendo del tipo de secado que se le aplique al hongo.

De acuerdo con los resultados, se observó que los productos deshidratados solarmente presentaron una coloración mas clara en comparación con los secados en estufa eléctrica. Se plantea que para la deshidratación solar, independientemente si fue del tipo indirecta o directa, existió un sistema de ventilación que permitió eliminar el aire con la humedad del producto de una manera eficiente y rápida, a diferencia del secado en estufa eléctrica, que fue un sistema cerrado sin ventilación. En este último el calor y la humedad permanecieron más tiempo en contacto con la superficie del hongo, y posiblemente esto favoreció en alguna medida una reacción de oscurecimiento, que pudo ser tanto enzimática como no-enzimática.

Es importante mencionar, que una de las prioridades del presente estudio fue inhibir la actividad de la enzima polifenol-oxidasa, ya que se buscaba tener un producto que fuera atractivo para el público consumidor. Ya que antes de tomar la decisión de ingerir un alimento, el consumidor toma en cuenta su aspecto visual y especialmente su color. La sensación que la persona experimenta al percibir el color, influye sobre su reacción ante el alimento, ya que puede aceptarlo o rechazarlo sin considerar otras posibles características o aceptarlo de mejor o peor grado, considerando entonces las bondades de otras características (Calvo y Durán, 2002).

**Cuadro 7.** Datos de color en las diferentes muestras.

<b>Muestra deshidratada en:</b>	<b>Parámetro <i>L</i></b>
Deshidratador indirecto	76.87b
A la intemperie	82.84a
En estufa a 70° C	55.30d
En estufa a 60° C	55.56d
En estufa a 50° C	57.62c

En la Fig. 13 se muestra el hongo *Pleurotus ostreatus* deshidratado indirectamente con el horno solar. En cuanto a las características que presentó el hongo *P. ostreatus* deshidratado indirectamente se observó una coloración blanquecina-amarillenta; su tamaño original se redujo en un 7.5% después de deshidratado. La humedad final del hongo fue de 6.21%. Este producto presentó una dureza de 1272 g. Sin embargo, su consistencia fue suave y esponjosa.

En la Fig. 14 se observa el hongo deshidratado a la intemperie mostrando un color blanquecino, su consistencia fue suave y esponjosa y su tamaño se redujo en menos del 1%. La humedad final del hongo deshidratado fue de 5.31%.



**Figura 13.** Hongo *P. ostreatus* deshidratado indirectamente.



**Figura 14.** Hongo deshidratado a la intemperie.

En relación al secado en estufa eléctrica, el hongo deshidratado a 50 °C mostró una coloración café oscura intensa (Fig. 15). Su tamaño se redujo en un 50% al compararlo con el hongo en fresco. Cuando se realizó la prueba de textura, el hongo deshidratado a 50 °C mostró una resistencia a la penetración de solamente 289 g, es decir, tuvo una dureza mínima, lo cual se vió reflejado en una consistencia quebradiza, comparada con los otros tratamientos.



**Figura 15.** Hongo deshidratado en estufa a 50° C.

El hongo deshidratado a 60 °C tuvo una coloración café-amarillenta (Fig. 16). Su forma original se redujo en un 50% de su tamaño original. Presentó una resistencia a la compresión de 628 g. Es decir, tuvo un 117% más dureza que el producto deshidratado a 50 °C. Este producto tuvo una consistencia dura, aunque quebradiza.

El hongo desecado a 70 °C adquirió una coloración café oscuro (Fig. 17). Su tamaño se redujo en un 60%. Se requirieron de 870 g durante la prueba de dureza.

Comparándolo con el producto secado a 60 °C, en este caso se obtuvo un producto con un 38.5% de mayor dureza.



**Figura 16.** Hongo deshidratado en estufa a 60° C.



**Figura 17.** Hongo deshidratado en estufa a 70 °C.

#### 9.4.2. Determinación de textura

En el Cuadro 8 se muestran los valores de textura, expresados como la cantidad de fuerza (kgF) requerida para penetrar la muestra en una distancia de 15 mm. Con un valor de Prob > F 0.0031 se encontró que por lo menos uno de los tratamientos presentó diferencia significativa. Mediante la prueba de Tukey-Kramer ( $\alpha=0.05$ ) se determinó que el tratamiento de deshidratación solar indirecto es el que presentó diferencia estadística significativa.

En forma general, se puede comentar que el tratamiento del hongo secado a 50 °C en la estufa eléctrica requirió de menor fuerza para ser quebrado, siguiéndole el de 60° C, 70° C y por último el tratamiento en el deshidratador solar.

Para fines de comercialización, la textura del hongo deshidratado entero o en rebanadas para su posterior rehidratación es un factor determinante. En este caso, la mejor textura fue la presentada por el hongo deshidratado solarmente, ya que se obtuvo una firmeza mayor, y a la vez fueron materiales que mostraron flexibilidad. Esto puede indicar que el tejido no fue dañado en su estructura, porque mostró una textura firme y apariencia porosa, característica de los productos deshidratados usados para fines de rehidratación. Se asume que estos materiales pudieran presentar una gran capacidad de hidratación cuando sean expuestos al agua. Aunado a ello, tuvo un color parecido al del hongo en fresco. En cambio, los secados en estufa eléctrica, fueron quebradizos, de tal forma que, se prevé que estos materiales tendrán una hidratación mínima cuando sean colocados en agua para su rehidratación.

**Cuadro 8.** Datos de textura en las diferentes muestras.

<b>Muestra deshidratada en:</b>	<b>Textura (kgF)</b>
Deshidratador indirecto	1197
En estufa a 70° C	904
En estufa a 60° C	628
En estufa a 50° C	289

### 9.4.3 Capacidad de absorción de agua

En el cuadro 9 se muestran los datos obtenidos en la prueba de capacidad de absorción de agua (CAA) del hongo deshidratado a 50, 60, 70 °C y en el deshidratador solar indirecto. Las determinaciones se realizaron por cuadruplicado y en la tercera columna se muestra un promedio de éstas. Se observa que para el hongo deshidratado indirectamente, la absorción fue estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) y fue aproximadamente tres veces mayor que el deshidratado en la estufa eléctrica a las tres temperaturas probadas. La CAA del hongo *P. ostreatus* deshidratado solarmente y los deshidratados en estufa eléctrica fue superior a otras fuentes de fibra dietética. Paton y Lenz (1993) reportan una CAA para los salvados de trigo, salvado de arroz, salvado de cebada, fibra de manzana, fibra de chícharo, salvado de avena comercial y de fibra de cascarilla de avena, quienes reportan valores de 1.67, 1.61, 3.24, 2.33, 2.81 y 1.76 g/g, respectivamente.

### 9.4.4. Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de la fibra para enlazar aceite es una propiedad determinada por la porosidad de la estructura de la misma fibra más que por la composición química de la misma. Esta característica es importante ya que es la que determina la cantidad de triglicéridos, colesterol y ácidos biliares que la fibra puede encapsular en el tracto gastrointestinal, impidiendo su absorción, y facilitando por tanto, la expulsión de los mismos como parte componente de las heces (Martínez y Figueroa, 2008).

Los valores de capacidad de absorción de aceite (CAO) del hongo deshidratado se muestran en el Cuadro 9. Se observa, que en el hongo deshidratado en la estufa eléctrica, la CAO fue disminuyendo en cuanto la temperatura de deshidratación fue aumentando, aunque sin ser estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ ). Mientras que cuando la temperatura de deshidratación fue de 50 °C se obtuvo un valor de 2.77 g/g a 70 °C la CAO fue 2.01 g/g. En tanto, que la CAO del hongo secado en el deshidratador solar prácticamente se duplicó (5.32 g/g) cuando se comparó con el hongo deshidratado en estufa eléctrica.

**Cuadro 9.** Capacidad de absorción de agua y de aceite en los productos deshidratados.

I.D	Capacidad de absorción	Capacidad de absorción
	de agua (g/g)	de aceite (g/g)
50	3.77b	2.77b
60	3.86b	2.39b
70	2.99c	2.01b
Solar	9.02a	5.32a

#### 9.4.5. Actividad de agua ( $A_w$ ) de los productos deshidratados

Una vez deshidratado el hongo por los diferentes métodos de secado se procedió a medirles su actividad de agua ( $A_w$ ) (Cuadro 10). De acuerdo con la Fig. 2 y el Cuadro 2, se infiere que los productos no presentarán problemas de crecimiento ni de hongos, levaduras y/o de microorganismos patógenos, debido a que todos los productos presentan valores de  $A_w$  menores a 0.55. La actividad enzimática, las reacciones de oscurecimiento no enzimático y las hidrolíticas también estarían reducidas al mínimo, por lo que estos productos podrían tener una adecuada estabilidad durante el almacenamiento. También se observa que conforme disminuyó la temperatura de deshidratación en la estufa eléctrica el valor de  $A_w$  se redujo considerablemente. Por ejemplo cuando se secó a 50 °C el valor de  $A_w$  fue de 0.546 y al secar a 70 °C se redujo su valor de  $A_w$  a 0.361, es decir, disminuyó en 33.9%.

**Cuadro 10.** Actividad de agua medida en los productos deshidratados.

Muestra deshidratada en:	$A_w$
Deshidratador indirecto	0.501b
A la intemperie	0.468c
En estufa a 50° C	0.546 <sup>a</sup>
En estufa a 60° C	0.421d
En estufa a 70° C	0.3617e

## CAPITULO X

### 10.0 CONCLUSIONES

El ácido cítrico resultó ser el inhibidor más apropiado para inactivar la actividad de la enzima polifenol-oxidasa, al reducir su actividad en un 70.85%. Posteriormente, al deshidratar los productos de *Pleurotus ostreatus*, se pudo obtener muestras con una coloración controlada, particularmente en los procesos de deshidratación solar. La deshidratación solar permitió tener productos con una coloración clara y textura firme y flexible, por lo que se pudo realizar su molienda de forma controlada. El secado en estufa eléctrica proporcionó una coloración café oscura y conforme se aumentó la temperatura de 50 °C a 70 °C se intensificó la coloración afectando negativamente la apariencia visual y de textura de los productos obtenidos. Las propiedades físico-químicas fueron mejores en los productos deshidratados por los procesos solares, tanto a la intemperie como el indirecto al compararlos con los productos secados en estufa eléctrica. Estos resultados permiten inferir que los productos secados solarmente pudieran ser competitivos a nivel comercial al presentar óptimas condiciones de color, olor, sabor y de propiedades funcionales, éstas últimas validadas por los resultados obtenidos de capacidad de absorción de agua y de aceite, es decir, de las pruebas físico-químicas.

## CAPITULO XI

### 11.0 BIBLIOGRAFÍA

- AACC. 2001. **American Association of Cereal Chemists**. Dietary fiber Technical Committee. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46:112.
- AACC. 2000. **American Association of Cereal Chemists. Approved Methods**. 10th edition. Minneapolis, MN, USA.
- Ancona, L. 2001. **Exposición de hongos en Yucatán**. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 16(216):42-47.
- Ancona, L., Cetz, G., López, E., Pacheco, N. 2003. *Cocinando hongos comestibles*. Yucatán, México. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*.
- Ancona, M.G., Ancona, M.L., Novelo, F.A., Pech, M.C.V. 2005. **Estimación de la demanda de *Pleurotus ostreatus* en el estado de Yucatán**. *Revista Mexicana de Agronegocios*, año/vol. IX(017):1-12.
- Badui D.S. 1994. **Química de los Alimentos**. Cuarta edición. Pearson Educación. México.
- Badui D.S. 2006. **Química de los Alimentos**. Cuarta edición. Pearson Educación. México.
- Breene W.M. 1990. **Nutritional and medicinal value of specialty mushrooms**. *Journal of Food Protection* 53(10):883 -894.
- Calvo M. (s.f.) **Bioquímica de los Alimentos**. Tirosinasa. Citado de <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/enzimas/tirosinasa.html>.
- Calvo C y Durán L. 2002. **Propiedades físicas II. Ópticas y color**. En: CYTED. **Temas en Tecnología de Alimentos**. Volumen 1. AlfaOMega e Institutop Politécnico Nacional. 263 pp.
- C.P. Comunicación personal con el Ing. Enrique Villaseñor, productor de hongo *Pleurotus ostreatus* en Tzitzio, Michoacán.
- Deacon J.W. 1990. **Introducción a la Micología Moderna** Noruega Editores. Limusa. 11 -13, 39 - 41, 113 –150 pp.

- Guzmán, G., Mata, G., Salmones, D., Soto-Velazco, C. 1993. **El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales**. México. Instituto Politécnico Nacional.
- Guzmán G. 1999 **Los hongos en México**. Citado en el periódico La Jornada, Suplemento mensual 6(81).
- Hobbs C. 1998. **Medicinal Mushrooms III** tomado de [www.garudaint.com/product.php](http://www.garudaint.com/product.php) (17 de junio 2007).
- [http://www.leben.com.mx/p\\_propiedades.htm](http://www.leben.com.mx/p_propiedades.htm) (29 de mayo 2007)
- <http://www.taxonomy.nl/Taxonomicon/TaxonTree.aspx> 2004-2006 **Universal Taxonomic Services (U. T. S.)** (30 de mayo 2007).
- <http://es.beekeeping.wikia.com/wiki/Hongo>
- Hughes R., Rowland I.R. 2001. **Stimulation of apoptosis by two prebiotic chicory fructans in the rat colon**. *Carcinogenesis*, 22:43-47.
- López G., Ros G., Rincón F., Periago M. J., Martínez C., Ortuño J. 1997 **Propiedades Funcionales de la Fibra Dietética. Mecanismos de Acción en el Tracto Gastrointestinal**. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 47(3):203-207.
- Martínez F.H.E. y Figueroa J.D.C. 2008. **La fibra dietética y su importancia en la salud humana**. En: Héctor E. Martínez Flores. **Temas selectos en Alimentos, Nutrición y Salud**. Morevallado Editores. Morelia, Mich., México. 8 pp.
- Martínez H.E., Chang Y.K., Martínez B.F., Sgarbieri V. 2004. **Effect of high fiber products and lipoproteins in hamsters**. *Nutrition Research*, 24:85-93.
- Martínez-Carrera D., Sobal M., Morales P., Martínez W., Martínez M. y Mayett Y. (2004). **Los Hongos Comestibles: Propiedades nutricionales, medicinales y su contribución a la alimentación mexicana. El Shiitake Grupo de investigación interinstitucional**. 3-21 pp.
- Miller D.D. 2004. **Química de Alimentos. Manual de Laboratorio. Departamento de Ciencia de los Alimentos**. Cornell University. Ithaca. Nueva York. Wiley 58-68 pp.

- Mori, M., Nakaji, S., Sugawara, K., OhtaM., Iwane, S., Munakata, A., Yoshida, Y., Ohi, G. 1996. **Proposal for recommended level of dietary fiber intake of Japan.** Nutrition Research, 16(1):53-60.
- Nelson A.L. 2000. **High Fiber Ingredients.** Editado por American Association of Cereal Chemists, Minneapolis, MN, USA. 1-7 pp.
- Paton D., Lenz K.M. 1993. **Processing: Current practice and novel processes.** En: Wood J.P. editor. **Oat bran.** American Association of Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minn, USA. 43 pp.
- Polese, Jean-Marie. 2005. **Miniguía Setas.** Könemann. Edición Española. Barcelona, España.
- Potter N. 1973. **La Ciencia de los Alimentos.** Harla, México. 261–320 pp.
- Prosky L., Asp Nils-Georg., Scheizer F.T., DeVries W.J., y Furda I. 1998. **Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory Study.** J. Assoc. Off. Anal. Chem. 71(5):1017-1023
- Prosky, L., 1999. What is fibre? **Current controversies.** *Trends in Food Science and Technology*, 10:271-75.
- Ratcliffe, B., Flurkey H.W., Kuglin J., Dawley R. 1994. **Tyrosinase, laccase, and peroxidase in mushrooms (Agaricus, Crimini, Oyster and Shiitake).** Journal of Food Science, 59(4):824-827.
- Sadler M. 2003. Nutritional properties of edible fungi. Nutrition Foundation. Nutrition Bulletin 28:305- 308.
- Stark A., Madar Z. 1994. **Dietary fiber.** Israel Goldberg Cahpman and Hall Editors. En: **Functional Foods.** New York, NY, USA. 189 pp.
- Theander, O., Westernlund, E., Aman, P. 1993. **Structure and components of dietary fiber.** *Cereal Foods World*, 38, 135-41.
- Thipayarat A. 2007. **Quality and physiochemical properties of banana paste under vacuum dehydration.** International Journal of Food Engineering 3(4):1-10.

- Topping D.L., Clifton P.M. 2001. **Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides.** *Physiological Reviews*, 81(3):1031-1064.
- Vámos-Vigyazo L. 1981. **Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables.** 49-109 pp.
- Vargas M.J., Ayala V.A.R. 2006. **Deshidratadores solares: manual de operación y aprovechamiento productivo.** CIDEM-SEDESO.
- Welti Ch.J. y Vergara B.F. 2002. **Actividad de agua.** En: CYTED. **Temas en Tecnología de Alimentos.** Volumen 1. Editorial Alfaomega. Instituto Politécnico Nacional. 11 pp.