



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA

TESIS

Presentada para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN BIOPROCESOS

por

Gustavo Flores Ramírez  
Ingeniero Ambiental

**“APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO RESIDUAL DE *Yucca* spp. COMO SUSTRATO  
PARA LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus* spp.”**

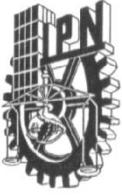
Dirigida por

Dr. Fabián Robles Martínez

Codirección

Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz

México, D.F. 13 de Enero de 2012



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 12:00 horas del día 11 del mes de Enero del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la UPIBI para examinar la tesis titulada:

*Aprovechamiento del bagazo residual de Yucca spp. como sustrato para la producción de Pleurotus spp.*

Presentada por el alumno:

Flores	Ramírez	Gustavo
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)
		Con registro: B 0 9 1 5 0 6

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Bioprocesos

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Fabián Robles Martínez

Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz

Dr. Gustavo Valencia del Toro

Dr. Enrique Durán Páramo

Dr. Ramón Villanueva Arce



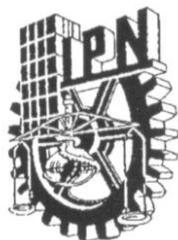
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL  
INTERDISCIPLINARIA DE BIOTECNOLOGÍA

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACION

Dra. Guadalupe Ramírez Sotelo



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México D.F: el día 11 del mes de Enero del año 2012, el que suscribe Gustavo Flores Ramírez alumno del Programa de Maestría en Ciencias en Bioprocesos con número de registro B091506, adscrito a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Fabián Robles Martínez y codirección Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz y cede los derechos del trabajo intitulado “Aprovechamiento del bagazo residual de *Yucca* spp. como sustrato para la producción de *Pleurotus* spp.”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [gfloresramirez10@gmail.com](mailto:gfloresramirez10@gmail.com) y/o [roblesfm@hotmail.com](mailto:roblesfm@hotmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

---

Gustavo Flores Ramírez

## Declaración de originalidad

“Yo declaro que los resultados reportados en esta tesis, son producto de mi trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría. Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo con la dirección y apoyo de mis directores de tesis y mi comité tutorial en cuanto a la concepción del proyecto, al estilo de la presentación o a la expresión escrita.”



---

Gustavo Flores Ramírez

Vo. Bo.



---

Dr. Fabián Robles Martínez



---

Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz

## Resumen

Actualmente en México se explota industrialmente la *Yucca* spp., de este proceso se origina principalmente como material residual el bagazo. Hoy en día es recomendable reintegrar materiales residuales a los ciclos productivos, lo cual contribuye al ahorro de recursos naturales, a la reducción en la generación de residuos y a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición. Emplear residuos agroindustriales como sustrato para el cultivo de hongos comestibles es un claro ejemplo de valorización de residuos. En este contexto, es necesario evaluar si el bagazo de *Yucca* spp. se puede utilizar como sustrato para el cultivo del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.), determinando sus parámetros de productividad, propiedades físicas, morfológicas y análisis bromatológico de los carpóforos. Para ello se probaron tres proporciones de bagazo de yuca y de paja de trigo (75%-25%, 50%-50% y 25%-75% para tratamiento 2, 3 y 4, respectivamente) para cada una de las 3 cepas utilizadas (SEC, UAP9, SAUA). Los testigos fueron bagazo de yuca (tratamiento 1) y paja de trigo (tratamiento 5) al 100%.

Las Eficiencias Biológicas (EB) del tratamiento 1 y 2 a pesar de ser las más bajas (55-86% y 75-78%, respectivamente) se percibieron como aceptables desde el punto de vista comercial. La adición a partir del 50% de bagazo de yuca incrementó considerablemente la EB dando como resultado una EB alrededor del 100% (92.3-125.7%), valor que se considera adecuado para un material que se usa como sustrato en el cultivo de *Pleurotus* spp. La paja de trigo fungió como un buen control, ya que superó el 100% (133.8-154.3%) de EB como se esperaba. La Tasa de Producción (TP) tomó la misma tendencia que la Eficiencia Biológica (EB). El Rendimiento (R) corroboró que a partir del 50% de bagazo de yuca en el sustrato la producción es importante, ya que los tratamientos 3, 4 y 5 fueron estadísticamente iguales (23.6-25.9%, 23.5-26.8% y 23.4-27.4%, respectivamente).

Los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) de los cuerpos fructíferos no se vieron influenciados significativamente por el tipo de sustrato, manteniéndose la calidad con respecto al control,  $L^*$  presentó valores de 46.2 a 53.5,  $a^*$  de 2.5 a 5.5 y  $b^*$  de 9.6 a 14.9 situándose en los niveles de gris y tonos medios. Con la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) se observó que los hongos presentaron diferencias según la percepción humana ya que los valores superaron las 0.5 unidades (1.3 a 6.2) en todos los casos.

Los parámetros de textura de los carpóforos no se vieron afectados por el tipo de tratamiento, excepto la dureza, donde a mayor cantidad de bagazo de yuca en el sustrato se obtiene en el producto una mejor textura (0.0656 kgf a 0.1707kgf) en comparación cuando se utiliza solamente paja de trigo (0.0522 kgf a 0.2572 kgf).

La composición química de los cuerpos fructíferos se vio influida por el tipo de sustrato de crecimiento, los tratamientos con mayor cantidad de bagazo de yuca presentaron los

carpóforos con mayor concentración de proteína cruda (17.09% a 18.96% bs). Los carbohidratos totales mostraron valores inversos con respecto a los de proteína cruda, es decir, el control tuvo los valores más altos de carbohidratos (53.36% a 59.24% bs) y más bajos de proteínas (15.69% a 17.00% bs). Los valores de humedad, ceniza total y fibra cruda que los cuerpos fructíferos presentaron fueron altos (91.12%-94.27% bh, 7.70%-9.35% y 15.95%-19.75% bs, respectivamente), mientras que los lípidos totales presentaron valores bajos (1.42%-2.17% bs).

Por lo anterior, el bagazo de yuca presenta una buena opción para el cultivo comercial de *Pleurotus* spp., lográndose una mejor producción y manteniéndose la calidad física y química de los carpóforos cuando se preparan sustratos a partir del 50% de bagazo.

## Abstract

Currently *Yucca* spp., is industrially exploited in Mexico, generating bagasse as residual material. In these days is recommendable to reintegrate waste materials in productive cycles for the natural resources saving and the environmental impact reduction. Using agroindustrial residues as substrate for cultivation of fungus is an example of waste valorization. In this context, it is necessary to evaluate if bagasse from *Yucca* spp. could be suitable for fungi (*Pleurotus* spp.) cultivation and determination of their carpophorus parameters of productivity, physical properties, morphological properties and chemical proximal analysis. In this study, three yuca bagasse/wheat straw rates were tested (75% -25%, 50% -50% and 25% -75% for treatment 2, 3 and 4, respectively) in each of three strains used (SEC UAP9, SAUA). Yuca bagasse (treatment 1) and wheat straw (treatment 5) at 100% were used as blanks.

Biological efficiency (EB) beside of being the lowest 55-86% and 75-78% for treatment 1 and 2 respectively, were acceptable commercially. The increment from 50% to 100% of yuca bagasse increases the EB (92.3-125.7%). The production rate (TP) showed the same tendency than the biological efficiency (EB). The yield (R) corroborated that from 50% yuca bagasse in production used to be important because treatments 3, 4 and 5 were statistically similar (23.6-25.9% 23.5-26.8% 23.4-27.4 y %).

Fruitful color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ) were no affected significantly by substrate, keeping quality similar to blank.  $L^*$  presented values of 46.2 a 53.5,  $a^*$  de 2.5 a 5.5 and  $b^*$  of 9.6 a 14.9, showing grey levels and media tonalidad. In color difference ( $\Delta E^*$ ) was observed that fungus presented differences depending on human perception up to 0.5 units (1.3 a 6.2) in all cases.

Carpophorus textural parameters were not affected by the type of treatment, except in hardness, where the mayor yuca bagasse quantity in substrate the better texture in the product is obtained (0.0656 kgf to 0.1707 kgf). When using wheat straw the same behavior is not observed (0.0522 to 0.2572 kgf kgf).

Fruitful Chemical Composition was influenced by the type of growth substrate. Yuca bagasse quantity showed high protein contains 17.09% to 18.96% db. A high total carbohydrate (53.36% to 59.24% db) means low protein contains (15.69% to 17.00% db). Humidity, total ashes and crude fiber were high (91.12%-94.27% bh, y 7.70%-9.35%, 15.95%-19.75% db, respectively), while lipids contain were low (1.42%-2.17% db).

That is the reason of using yuca bagasse as option for the commercial culture of *Pleurotus* spp., obtained better production while carpophorus physical and chemical quality are maintained when substrates with up to 50% of yuca bagasse are used.

## **Agradecimientos**

Mi sincero agradecimiento a mis directores de tesis, Dr. Fabián Robles Martínez y Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz, por haber dirigido este trabajo de investigación, por todo su apoyo, asesoría, amistad, paciencia y comprensión.

A los miembros del Comité Tutorial, por sus enriquecedores comentarios y aportaciones:

- Dr. Enrique Durán Páramo
- Dr. Gustavo Valencia del Toro
- Dr. Ramón Villanueva Arce

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada, así como a la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) del IPN por el financiamiento brindado.

Al Ing. Ing. Canek Amador, por su amistad, atenta participación y valiosa contribución en el trabajo.

Al Departamento de Bioprocesos de la UPIBI-IPN:

M. en C. Leticia Aguilar Doroteo del Laboratorio de Posgrado de Cultivos Celulares, por su apoyo técnico y amistad brindada.

M. en C. María Carmen Fernández Martínez y Dr. Jorge Yáñez Fernández del Laboratorio de Posgrado de Biotecnología Alimentaria, por su apoyo técnico

A mis amigos y compañeros de posgrado: por todos los momentos agradables, compañía y consejos.

A mi padre Gustavo, madre Rosa María y hermana Gabriela, por el gran apoyo y amor incondicional para llegar a culminar esta meta.

# Contenido

Resumen.....	iv
Abstract.....	vi
1. Introducción.....	1
1.1. Género <i>Yucca</i> .....	1
1.1.1. <i>Yucca schidigera</i> .....	1
1.1.2. Residuos agroindustriales de <i>Yucca</i> .....	2
1.2. Ecología industrial .....	3
1.3. Los Hongos .....	4
1.3.1. Hongos de pudrición de la madera .....	4
1.4. Descripción del género <i>Pleurotus</i> .....	5
1.5. Taxonomía del género <i>Pleurotus</i> .....	7
1.6. Importancia del género <i>Pleurotus</i> .....	8
1.7. Cultivo del género <i>Pleurotus</i> .....	11
1.7.1. Productividad del cultivo y calidad de cuerpos fructíferos .....	12
1.7.2. Factores involucrados en el crecimiento y la fructificación .....	16
1.8. Degradación de compuestos lignocelulósicos.....	20
1.9. Producción del género <i>Pleurotus</i> .....	21
1.9.1. Producción mundial .....	21
1.9.2. Producción nacional.....	22
2. Antecedentes .....	24
3. Justificación.....	27
4. Objetivos .....	28
4.1. Generales .....	28
4.2. Específicos .....	28
5. Hipótesis .....	29
6. Metodología .....	30
6.1. Estrategia experimental .....	30
6.2. Materiales y métodos.....	31
6.2.1. Resiembra de cepas y obtención de inóculo-grano.....	31
6.2.2. Siembra en sustrato.....	31
6.2.3. Obtención de cuerpos fructíferos. ....	33
6.2.4. Parámetros de productividad .....	33
6.2.5. Características morfológicas.....	34
6.2.6. Análisis bromatológico .....	35
7. Resultados y discusión.....	37
7.1. Parámetros de productividad .....	37
7.1.1. Eficiencia biológica (%EB) .....	37
7.1.2. Tasa de producción (%TP) .....	45
7.1.3. Rendimiento (%R).....	48
7.1.4. Peso Medio.....	51
7.2. Características morfológicas/físicas.....	53
7.2.1. Tamaño del carpóforo .....	53
7.2.2. Color .....	59
7.2.3. Textura .....	68
7.3. Análisis Bromatológico .....	75
7.3.1. Humedad.....	76

7.3.2.	Ceniza total.....	77
7.3.3.	Grasa total.....	79
7.3.4.	Fibra cruda.....	80
7.3.5.	Proteína cruda.....	81
7.3.6.	Carbohidratos.....	83
8.	Conclusiones.....	85
9.	Referencias.....	86
10.	Anexos.....	102
	Anexo 1: Resiembra de micelio.....	102
	Anexo 2: Preparación de inóculo-grano.....	103
	Anexo 3: Análisis de perfil de textura (TPA).....	104
	Anexo 4: Determinación de humedad.....	105
	Anexo 5: Determinación de grasa cruda (extracto etéreo) por el método de Soxhlet.....	106
	Anexo 6: Determinación de nitrógeno total por el método micro-Kjeldahl.....	107
	Anexo 7: Determinación de fibra cruda por el método de digestión química.....	109
	Anexo 8: Determinación de cenizas.....	111

## Índice de Figuras

Figura 1. <i>Yucca schidigera</i> . (SEMARNAT, 2007) .....	1
Figura 2. Muestras de residuos agroindustriales de <i>Y. schidigera</i> , corteza (inferior derecha); bagazo (superior centro; c) polvo grueso (inferior izquierda).....	3
Figura 3. Cuerpo fructífero de <i>Pleurotus</i> spp. con sus partes principales. ....	6
Figura 4. Ciclo de vida del género <i>Pleurotus</i> : A) micelio monocarion, B) fusión de micelios monocarióticos compatibles, C) micelio dicarion, D) La cariogamia se presenta en las laminillas del cuerpo fructífero, E) núcleos haploides que forman las basidiosporas (Díaz, 2009).....	7
Figura 5. El análisis de perfil de textura (APT).....	14
Figura 6. El modelo de color CIELAB .....	15
Figura 7. Diagrama de bloques del desarrollo experimental. ....	30
Figura 8. Bagazo en planta, después de salir del proceso de extrusión en frío.....	31
Figura 9. Valores promedio de la Eficiencia Biológica total (%EB) para las tres cepas utilizadas. ....	40
Figura 10. Valores promedio de la tasa de producción total (TP) para las tres cepas utilizadas. ....	48
Figura 11. Valores promedio de rendimiento total (R) para las tres cepas utilizadas. ....	50
Figura 12. Cuerpos fructíferos obtenidos en la primera cosecha de la cepa SEC. a) bagazo de yuca (BY), b) BY+PT (75%-25%), c) BY+PT (50%-50%), d) BY+PT (25%-75%) y e) paja de trigo (PT). ....	65
Figura 13. Cuerpos fructíferos obtenidos en la primera cosecha de la cepa UAP9. a) bagazo de yuca (BY), b) BY+PT (75%-25%), c) BY+PT (50%-50%), d) BY+PT (25%-75%) y e) paja de trigo (PT). ....	66
Figura 14. Cuerpos fructíferos obtenidos en la primera cosecha de la cepa SAUA. a) bagazo de yuca (BY), b) BY+PT (75%-25%), c) BY+PT (50%-50%), d) BY+PT (25%-75%) y e) paja de trigo (PT). ....	67

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Taxonomía del hongo <i>Pleurotus</i> spp. ....	8
Cuadro 2. Aplicaciones biotecnológicas del género <i>Pleurotus</i> .....	9
Cuadro 3. Temperaturas óptimas de crecimiento para diferentes especies del género <i>Pleurotus</i> . .....	19
Cuadro 4. Producción anual estimada de hongos comestibles cultivados comercialmente en México, incluyendo volúmenes y proporciones de producción para el 2005.....	23
Cuadro 5. Eficiencia Biológica (EB) obtenidas para <i>Pleurotus</i> spp. sobre distintos sustratos. ...	25
Cuadro 6. Cepas del género <i>Pleurotus</i> .....	31
Cuadro 7. Relación en porcentaje de los sustratos usados para el cultivo de setas. ....	32
Cuadro 8. Clasificación de tamaño de píleo alcanzado por los carpóforos. ....	34
Cuadro 9. Clasificación de tamaño de estípite.....	35
Cuadro 10. Significancia de los parámetros de productividad en relación con la cepa, sustrato y la interacción cepa x sustrato. ....	37
Cuadro 11. Valores promedio de la Eficiencia Biológica (EB) acumulada en las tres cosechas realizadas para las tres cepas utilizadas. ....	38
Cuadro 12. Valores promedio de la Tasa de Producción (%TP) acumulada en las tres cosechas realizadas para las tres cepas utilizadas. ....	46
Cuadro 13. Valores promedio del rendimiento (R) en las tres cosechas realizadas y el total para las tres cepas utilizadas. ....	49
Cuadro 14. Valores promedio de peso medio (Pm) en las tres cosechas realizadas y el total para las tres cepas utilizadas. ....	52
Cuadro 15. Significancia de los parámetros de tamaño del carpóforo en relación con la cepa, sustrato y la interacción cepa x sustrato. ....	54
Cuadro 16. Valor promedio del ancho y largo del píleo y largo del estípite para la cepa SEC. .	54
Cuadro 17. Valor promedio del ancho y largo del píleo y largo del estípite para la cepa UAP9.	56
Cuadro 18. Valor promedio del ancho y largo del píleo y largo del estípite para la cepa UAP9.	57
Cuadro 19. Significancia de los parámetros de color en relación con la cepa, sustrato y la interacción cepa x sustrato.....	59
Cuadro 20. Valores promedio del parámetro L* para las tres cepas utilizadas .....	60
Cuadro 21. Valores promedio del parámetro a* para las tres cepas utilizadas .....	61
Cuadro 22. Valores promedio del parámetro b* para las tres cepas utilizadas .....	62
Cuadro 23. Valores promedio del parámetro $\Delta E^*$ para las tres cepas utilizadas. ....	63
Cuadro 24. Significancia del análisis de textura a los hongos de <i>Pleurotus</i> spp. cultivados en diferentes sustratos, en relación con las cepas, sustratos y la interacción cepa sustrato.	68

Cuadro 25. Dureza (kgf) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en diferentes sustratos. ....	70
Cuadro 26. Cohesividad (-) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en distintos sustratos.....	72
Cuadro 27. Elasticidad (-) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en diferentes sustratos. ....	73
Cuadro 28. Adhesividad (kgf*mm) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en distintos sustratos. ....	73
Cuadro 29. Gomosidad (kgf) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en diferentes sustratos. ....	74
Cuadro 30. Masticabilidad (kgf*mm) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en distintos sustratos. ....	75
Cuadro 31. Significancia del analisis bromatologico a los carpoforos de Pleurotus spp. en relacion con la cepa, sustrato y la interaccion cepa x sustrato. ....	76
Cuadro 32. Humedad (%) promedio de los carpoforos de Pleurotus spp. crecido en diferentes sustratos. ....	77
Cuadro 33. Cenizas totales (%) promedio de los cuerpos fructiferos de Pleurotus spp. crecido en distintos sustratos.....	78
Cuadro 34. Lipidos totales (%) promedio de los hongos de Pleurotus spp. crecido en diferentes sustratos. ....	80
Cuadro 35. Fibra cruda (%) promedio de los carpoforos de Pleurotus spp. crecido en distintos sustratos. ....	81
Cuadro 36. Proteina cruda (%) promedio de los cuerpos fructiferos de Pleurotus spp. crecido en diferentes sustratos. ....	83
Cuadro 37. Carbohidratos totales (%) promedio de los hongos de Pleurotus spp. crecido en distintos sustratos.....	84

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Género *Yucca*

El género *Yucca* comprende unas 40-50 especies de plantas suculentas perennes, arbustos y árboles de la familia *Agavaceae* nativas de Norteamérica y Centroamérica. Puede llegar a alcanzar alturas de hasta 8 metros, aunque su altura más común varía de 2 a 4 metros (Irish e Irish, 2000). Tiene hojas ascendentes agrupadas hacia los extremos de los tallos, más o menos rígidas, amarillo-verdosas, con márgenes lisos, dentados o fibrosos. Inflorescencia en panícula, erecta o pendular, de flores campanuladas o globosas, de color blanco-cremoso. El fruto puede ser indehiscente o dehiscente y la semilla plana, lisa o rugosa, de color negro cuando madura. Este género se reproduce tanto sexualmente es decir, por semilla, como vegetativamente, o sea por brotes o retoños (Guillot y Van der Meer, 2008).

#### 1.1.1. *Yucca schidigera*

La *Yucca schidigera* (también conocida como yuca o palmilla), que se muestra en la Figura 1, es una especie vegetal que se encuentra en el estado de Baja California, México y en los desiertos del suroeste de los Estados Unidos (Kawai *et al.*, 2000). Esta planta la han utilizado los nativos durante siglos para su alimentación y como medicamento (Öztaşan *et al.*, 2008). Con la fibra de las hojas se pueden realizar cuerdas, sandalias y ropa; sus flores y frutos son comestibles; la semilla se muele para hacer harina; su raíz se utiliza para crear jabón. La planta se ha utilizado durante años para disminuir el dolor e inflamación, así como, para combatir las alergias y apoyar al sistema inmune (Oleszek *et al.*, 2001).



Figura 1. *Yucca schidigera*. (SEMARNAT, 2007)

En la actualidad, la mayor parte de la manufactura comercial de los productos de *Y. schidigera* se lleva a cabo en México. Las plantas son cosechadas por los agricultores y

transportadas a las fabricas procesadoras, el tronco es la parte que se utiliza. Este es triturado mecánicamente, se seca y muele para producir polvo de yuca, ó el material triturado se somete a compresión mecánica en una prensa para la producción de jugo de yuca. El jugo se concentra por evaporación, el producto concentrado es conocido como extracto de yuca (Cheeke, 2000). Existen cuatro industrias procesadoras de extracto de yuca en Baja California, con una capacidad de 7660 ton/año. Desde 1981, el jugo de yuca es procesado en México, con ello se dejó de exportar la materia prima (fuste) a los Estados Unidos (SEMARNAT, 2007).

La *Y. schidigera* tiene el contenido de saponina más alto que cualquier otra especie del género, por lo tanto, el extracto encuentra su aplicación comercial en los alimentos, cosméticos y aditivos farmacéuticos (Öztaşan *et al.*, 2008). Pero principalmente se utiliza como aditivo alimenticio para ganado, ya que disminuye la concentración media de amoníaco en rumiantes, mejora la ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia de los animales (Kawai *et al.*, 2000).

### **1.1.2. Residuos agroindustriales de *Yucca***

En la planta de producción de extracto de yuca, por cuestiones inevitables del proceso se generan principalmente tres subproductos, los cuales son (Flores, 2009):

- Corteza de yuca: después del corte se desprende la corteza del tronco de la yuca de este proceso se obtiene el primer residuo, la corteza que es dejada en el lugar después de ser separada del tronco.
- Bagazo de yuca: las astillas pasan a través de una prensa extrusora, esta acción hace que se extraiga el jugo de yuca y a su vez se genere el segundo residuo, que es el bagazo el cual se almacena en planta.
- Polvo fino y grueso: después de que son molidas las astillas pasan por una criba, la cual genera dos tipos de partículas las cuales son denominadas “polvo fino” y “polvo grueso”.

Los residuos agroindustriales de *Y. schidigera* (Figura 2), no son aprovechados actualmente de ninguna forma y son confinados en sitios de disposición final o donados a los lugareños. Por tanto, el aprovechar estos residuos, por medio de procesos para generar bienes, materias primas u obtener productos con valor agregado, es de suma importancia, ya que esto daría beneficios sociales, económicos y ambientales.

Debido a que la generación de bagazo de yuca es continua, este material se puede aprovechar para la producción de hongos comestibles *Pleurotus* spp. todo el año, ya que puede tener las características necesarias para ser utilizado como sustrato en el cultivo de setas (*Pleurotus*). Además se puede considerar viable en la práctica y en la economía debido a su costo nulo en grandes cantidades. A partir de los datos de rendimiento del extracto de yuca y de la producción anual, se calcula que se generan aproximadamente 9,000 toneladas anuales de bagazo de yuca en base seca.



Figura 2. Muestras de residuos agroindustriales de *Y. schidigera*, corteza (inferior derecha); bagazo (superior centro) polvo grueso (inferior izquierda).

## 1.2. Ecología industrial

Tibbs (1993) menciona que los problemas ambientales creados por la industria nacen del uso de un proceso de producción estrictamente lineal. Esto es, que a partir de las materias primas y energía fósil, se desarrolla un proceso que incrementa su valor agregado que consume energía, para luego desechar residuos y emisiones como retorno a los sistemas naturales. Todo ello ha causado un grave deterioro al ambiente debido no solo a la explotación indiscriminada de los recursos naturales y el uso irracional de las fuentes de energía, sino además por la generación de residuos industriales y sólidos de todo tipo, así como de efluentes y residuos tóxicos peligrosos liberados indiscriminadamente al ambiente.

La ecología industrial (EI) es un área del desarrollo sustentable que busca imitar a los sistemas naturales, esto es: aprovechando al máximo los recursos con los que cuenta, no generando ningún residuo que no pueda ser reincorporado al sistema como recurso (proceso cíclico), obteniendo su energía de fuentes renovables y consiguiendo que todos los elementos que lo integran estén interrelacionados en una red (Lule y Cervantes, 2010). Para lograr una producción más amigable con los ecosistemas, las empresas han adoptado los enfoques de ecoeficiencia y producción más limpia que enfatizan un uso más responsable de los recursos y la minimización de los desechos y emisiones generadas. Así, se reducen la contaminación generada por la industria y generan valor agregado a los productos. Sin embargo, generalmente se adoptan tecnologías “fin del tubo” que reducen las emisiones en vez de transformar los procesos productivos que los originan (García, 2008).

Dos herramientas importantes de la EI son la simbiosis Industrial (SI) y la sinergia de subproductos (SS). El principio que siguen estos conceptos, es que el flujo de residuos de una industria se incorpore a otra convirtiéndose en materia prima para la segunda, con lo que se busca cerrar el ciclo de materia. La SI es el intercambio de materiales entre varios sistemas

productivos de manera que el residuo de uno es materia prima para otros y su implantación promueve una red de empresas. El objetivo inicial de la SI y la SS es económico, pero tiene consecuencias ambientales y sociales positivas (Cervantes *et al.*, 2009).

La base institucional sobre la que se sustenta la política ambiental en México está dada a partir de un marco coordinado por la actual Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). A ello se suma el marco jurídico que tiene como base la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA) (Carrillo *et al.*, 2010). El aprovechamiento de residuos se define según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral Residuos, Art 5 frac. II como el conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía (SMAGDF, 2007).

Por tanto apelando a estos conceptos de sustentabilidad y responsabilidad tanto social como ambiental, se propone aprovechar el bagazo de *Yucca* como sustrato para la producción de hongos comestibles, tal es el caso de las setas (*Pleurotus* spp.).

### **1.3. Los Hongos**

Los hongos, tradicionalmente se han definido con base a sus características, como organismos eucarióticos, productores de esporas, sin clorofila, con nutrición heterótrofa por absorción, capaces de reproducirse sexual y/o asexualmente, con filamentos usualmente sin estructuras somáticas ramificadas conocidas como hifas y típicamente son rodeados por una pared celular rígida (Alexopoulos *et al.*, 1996). Los hongos, son organismos muy comunes en la naturaleza, puesto que viven prácticamente en todas las zonas geográficas ya que son capaces de vivir en casi todos los hábitats posibles. Se estima que habitan en la tierra entre 1.5 y 2.5 millones de especies de hongos, de las que solamente se conocen 7,000, básicamente las especies comestibles (Guzmán, 1996).

#### **1.3.1. Hongos de pudrición de la madera**

La capacidad de los hongos para adaptar rápidamente su metabolismo a diversas fuentes de carbono y nitrógeno es determinante en su supervivencia; esta flexibilidad metabólica se logra a través de la producción de un gran número de enzimas intracelulares y extracelulares capaces de degradar complejos biopolímeros (Gayosso, 2001). Los hongos presentan gran variedad de formas de vida, entre las que se encuentran los de pudrición, que se dividen dependiendo de los cambios químicos y estructurales que ocasionan a la madera. Se han distinguido cuatro grupos: de pudrición blanda, de pudrición oscura, de pudrición café y de pudrición blanca (Schwarze *et al.*, 2000).

El nombre de pudrición blanda es usado por la consistencia suave de la madera después de su degradación por *Ascomicetos* y *Deuteromicetos*. La pudrición oscura es causada por

hongos *Basidiomicetes* principalmente, lleva este nombre porque al degradar los carbohidratos y polímeros (celulosa y hemicelulosa) presentes en la madera, esta adquiere un color oscuro y una consistencia quebradiza (Schwarze *et al.*, 2000). La pudrición café pertenece al grupo de los *Ascomicetos*, estos son capaces de degradar celulosa y hemicelulosa, dejando a la lignina más o menos intacta como una capa de color café. Sin embargo, probablemente modifican la estructura de la lignina, al menos al grado de que ya no forma complejos químicos con la celulosa (Vignote y Martínez, 2005).

La producción blanca (PB) es ocasionada principalmente por *Basidiomicetos*. Esta denominación procede de la capacidad de mineralización de la lignina y sus derivados que le da a la madera un aspecto blanquecino. La madera se rompe en fibras, por lo que también se le suele denominar a este tipo de pudrición, pudrición fibrosa (Rosales, 2008). Estos hongos de la PB producen enzimas oxidativas extracelulares únicas que inicialmente actúan sobre polímeros aromáticos complejos naturales como la lignina. Ejemplos importantes de estas enzimas son las peroxidasas de tipo heme, lignina peroxidasas (LiP) y peroxidasa dependiente de manganeso (MnP) así como la oxidasa fenol con cobre y lacasa (Cabral, 2004).

Los hongos del género *Pleurotus* son basidiomicetos de pudrición blanca, presentan un alto valor nutricional, tienen propiedades terapéuticas y variadas aplicaciones biotecnológicas, principalmente en procesos de biodegradación, ya que produce lacasas, manganeso peroxidasas y veratril alcohol oxidasas, aunque no produce lignina peroxidasas (Palmieri *et al.*, 1997). Los hongos de este género, toman los nutrientes necesarios para su alimentación de los materiales sobre los que crecen y se caracterizan por su capacidad para descomponer compuestos lignocelulósicos, por lo que pueden degradar muchos residuos como son los esquilmos agrícolas y los desechos agroindustriales, lo que sucede mediante la fermentación sólida (Dashtban *et al.*, 2009).

#### **1.4. Descripción del género *Pleurotus***

El término seta es aplicado en México para referirse a los hongos del género *Pleurotus* (*Pleurotus ostreatus* y afines), pero estos hongos también son conocidos popularmente como orejas blancas, orejas de palo, orejas de patancán, orejas de cazahuate y orejas de izote (Gaitán-Hernández, 2006). Este hongo crece a partir del micelio (filamentos filiformes que se entretajan) se propaga en granos de cereales esterilizados (generalmente de centeno, trigo o mijo). Esta mezcla de cereal con micelio se llama "semilla" y se utiliza para inocular el sustrato para su cultivo (Royse, 2003).

Hasta la fecha aproximadamente 70 especies de *Pleurotus* se han registrado y nuevas especies se siguen descubriendo. Estudios de compatibilidad han demostrado la existencia de once grupos interestériles en *Pleurotus* (*P. ostreatus*, *P. pulmonarius*, *P. populinus*, *P.*

*cornucopiae*, *P. djamor*, *P. eryngii*, *P. cystidiosus*, *P. calyptratus*, *P. dryinus*, *P. purpureo-olivaceus* y *P. tuber-regium*) (MushWorld, 2004).

El género *Pleurotus* comprende especies generalmente de color blanco, amarillento o rosado a veces grisáceo o de color oscuro. Su forma puede ser de embudo, pétalo de flor o concha de ostra. Con relación al estípite puede carecer de este o puede ser lateral o excéntrico y puede ser corto, mediano o largo. Las laminillas son longitudinalmente decurrentes sobre la base del estípite, con frecuencia anastomosadas transversalmente al nivel de la inserción del pie (ver Figura 3). Las esporas son de color blanco, crema o lila pálido, presentan una forma cilíndrica y son lisas. El género está distribuido en Europa, Asia, Australia y América. Es un hongo saprofito, crece sobre troncos, ramas o árboles muertos y algunas veces se encuentra en el suelo sobre raíces podridas (Díaz, 2009).

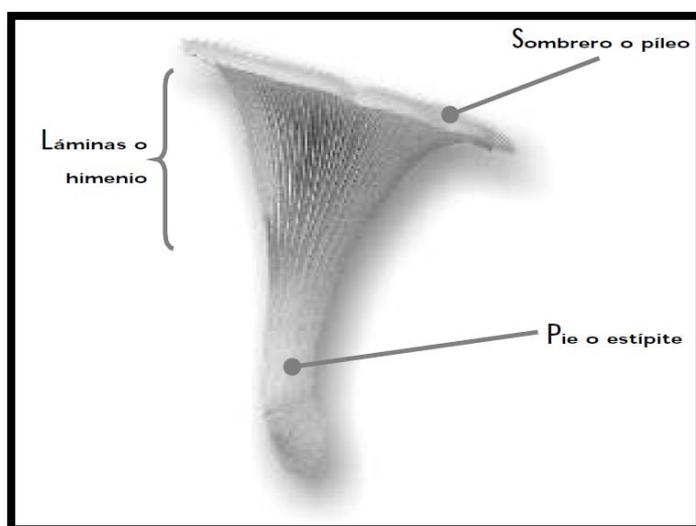


Figura 3. Cuerpo fructífero de *Pleurotus spp.* con sus partes principales.

Este género pertenece a los hongos denominados perfectos, es decir, se pueden observar dos formas para dar origen a nuevos individuos: sexual y asexual. A esta última también se le conoce como somática o vegetativa, debido a que no involucra fusión de núcleos. Se puede dar por fragmentación del micelio, el cual al colocarse bajo condiciones adecuadas de temperatura, humedad y sustrato, da origen a un nuevo individuo. Esta forma de reproducción es muy utilizada para multiplicar los hongos comestibles en el laboratorio, pues permite mantener las características de la cepa que se está cultivando (Benavides y Herrera, 2009).

El ciclo de vida de *Pleurotus*, implica una sucesión de etapas que van desde la germinación de las esporas hasta la formación de carpóforos (Romero y Rosales, 2003). La reproducción sexual se da por medio del modelo de heterotalismo, en el cual se necesitan dos

micelios para llevar a cabo la reproducción. En la Figura 4 se muestra el ciclo de vida para este hongo. Las basidiosporas germinan cuando entran en contacto con un sustrato y encuentran una temperatura, pH y humedad adecuados para su crecimiento. Dan origen a un micelio primario bien desarrollado, conocido como monocarion (A). Para que el cuerpo fructífero se desarrolle, es necesario que dos micelios monocarióticos compatibles se fusionen, este fenómeno se denominada plasmogamia, (B) y por disolución de la pared formen compartimentos hifales con dos tipos de núcleos y se cree el micelio dicarion también conocido como micelio secundario (C). La cariogama de los núcleos que forman el micelio secundario, se presenta en la punta de las hifas que forman las laminillas del cuerpo fructífero (D), dando origen a basidias monocaróticas y diplodes. Posteriormente el núcleo presenta meiosis y da origen a cuatro núcleos haploides, que migran para formar las basidiosporas. Las basidiosporas maduras son liberadas (E) para iniciar nuevamente el ciclo (Díaz, 2009).

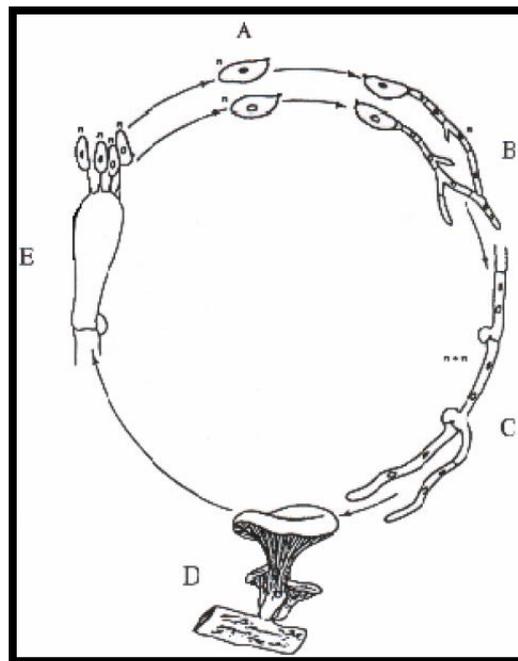


Figura 4. Ciclo de vida del género *Pleurotus*: A) micelio monocarion, B) fusion de micelios monocarióticos compatibles, C) micelio dicarion, D) La cariogama se presenta en las laminillas del cuerpo fructífero, E) núcleos haploides que forman las basidiosporas (Díaz, 2009).

### 1.5. Taxonomía del género *Pleurotus*

La subdivisión de los hongos basidiomicetos incluye solo géneros macroscópicos como *Pleurotus*, *Lentinula*, *Agaricus*, *Amanita* entre otros y es en esta subdivisión en donde se encuentran agrupados la mayor parte de los hongos comestibles (Herrera y Ulloa, 1998). Se han encontrado problemas para clasificar a las especies del género *Pleurotus*, inicialmente se basaron en las características morfológicas de sus cuerpos fructíferos (color, tamaño, forma,

etc.) y debido a la influencia que ejercen los factores ambientales sobre estas características fenotípicas han sido insuficientes para la determinación taxonómica precisa de las especies del género. Sin embargo, la aplicación de criterios moleculares han ayudado al conocimiento de las relaciones taxonómicas del género (Zervakis *et al.*, 2001). De manera general, la ubicación taxonómica del género *Pleurotus* se presenta a continuación (Cuadro 1):

Cuadro 1. Taxonomía del hongo *Pleurotus* spp.

<b>Reino</b>	Fungi
<b>División</b>	Eumycota
<b>Subdivisión</b>	Basidiomycota
<b>Clase</b>	Holobasidiomycetes
<b>Subclase</b>	Hymenomycetidae
<b>Orden</b>	Agaricales
<b>Familia</b>	Tricholomataceae
<b>Género</b>	<i>Pleurotus</i>

Tomado de Herrera y Ulloa, 1998

### 1.6. Importancia del género *Pleurotus*

El cultivo de hongos comestibles es una industria biotecnológica en continuo proceso de expansión y que va cobrando mayor importancia en el ámbito económico de muchos países (Chang, 1999). En lo referente a los hongos del género *Pleurotus*, se ha visto incrementada su popularidad a nivel mundial en los últimos años, debido a su capacidad para crecer en un amplio intervalo de temperaturas y su habilidad para utilizar como sustrato diversos materiales ricos en lignina y celulosa (Melo de Carvalho *et al.*, 2010). Requieren menor tiempo de crecimiento en comparación con otros hongos comestibles, exigen pocos controles ambientales y sus cuerpos fructíferos no son a menudo atacados por plagas y enfermedades (Jwanny, Rashad, y Abdu, 1995). Así como por su fácil cultivo, su alto rendimiento de productividad y alto valor nutricional (Gregori *et al.*, 2007). El género *Pleurotus* tiene diversas aplicaciones en distintos ámbitos biotecnológicos tales como el ambiental, farmacológico y alimentario, como se muestran en el Cuadro 2 (Maldonado, 2007).

Los hongos comestibles son una fuente potencial de alimentación para el hombre, su contenido en aminoácidos esenciales, vitaminas, fibras y minerales, así como, su bajo contenido en grasas, los colocan en un lugar importante en la dieta diaria por arriba de la mayoría de los vegetales (Bernas *et al.*, 2006). Se ha reportado que la composición química de los cuerpos fructíferos, depende básicamente del tipo de cepa, la composición del sustrato (solo o suplementado), técnicas de cultivo, así como la edad y etapa de desarrollo del hongo

(Cardona, 2001). De acuerdo con algunas investigaciones realizadas, los hongos tienen una posición superior a la de los vegetales y legumbres, a excepción de la soja, en cuanto a su contenido y calidad de las proteínas (Ciappini et al., 2004). Los hongos comestibles cubren las necesidades proteicas diarias expuestas por la FAO (Andrino et al., 2011). Los hongos del género *Pleurotus* son potentes agentes biológicos que convierten los subproductos orgánicos no comestibles en alimentos humanos de buena palatabilidad. Su eficiencia de conversión de proteína por unidad de área y por unidad de tiempo, es muy superior a las fuentes de proteína animal (Rodríguez y Zuluaga, 1994).

Cuadro 2. Aplicaciones biotecnológicas del género *Pleurotus*.

Ambiental	Farmacológico	Alimentaria
Bioconversiones de residuos agroindustriales	Producción de metabolitos secundarios de interés farmacéutico	Alimento humano de alto valor nutritivo
Biodegradación de xenobioticos, hidrocarburos poliaromáticos y otros contaminantes industriales		Producción de proteínas con uso industrial potencial

(Modificado de Maldonado, 2007)

Erkel, 1989 citado por Yildiz *et al.* (2002) mencionan que en todo el mundo y especialmente en los países en desarrollo, hay un problema de escasez de proteínas. La producción de hongos cultivados puede ser una solución adecuada a este problema. Debido a la rápida industrialización, la cantidad de materiales de desecho se ha incrementado y la utilización de estos residuos es muy importante para la economía y el equilibrio natural. Akindahunsi y Oyetayo, (2006) afirman que en general, el valor nutricional de los hongos se encuentra en un nivel más alto de proteína que las verduras. La práctica de consumir setas junto con los cereales y vegetales, que son moderadamente alto en la concentración de aminoácidos que contienen azufre se deben seguir fomentando para obtener una mayor nutrición. El contenido de proteína en los hongos comestibles es considerado como su principal atributo nutricional, ya que contiene un valor promedio de 15 al 35% en base a su peso seco (b.s.), comparado con el 23.8% en el pollo, 19.4% en carne de res y el 25.2% en la leche (Velasco y Vargas, 2004).

La composición química de *P. ostreatus* consta de apreciables cantidades de aminoácidos esenciales (Manzi *et al.*, 1999), excepto de triptófano, y la calidad de la proteína

es similar a la de origen animal. Chirinang y Intarapichet, (2009) encontraron que el género *Pleurotus* contiene todos los aminoácidos esenciales y que el ácido glutámico, ácido aspártico, arginina son los tres más abundantes, así mismo contienen altas cantidades de gama-amino butírico (GABA) y la ornitina. GABA es un aminoácido no esencial que funciona como un neurotransmisor, mientras que la ornitina es un precursor en la síntesis de arginina.

Nutricionalmente, *P. ostreatus* se ha encontrado que contienen vitaminas como A, C, D, E, B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B5 (niacina), B6 (piridoxina), B7 (biotina) B12 (Andrino *et al.*, 2011; Solomko y Eliseeva, 1988; Kumari *et al.*, 2008). Bano y Rajarathnam, (1986) mencionan que comparando los valores de las especies *Pleurotus* con los de otros vegetales tabulados por la FAO, es evidente que la especie *Pleurotus* contiene todas las vitaminas (excepto el ácido ascórbico) en cantidades superiores.

Además se le han detectado minerales como el potasio, fósforo, calcio, entre otros (Gaitán-Hernández, 2006). En general, comparado con los vegetales, el contenido existente en cada mineral es mayor en estos hongos (Ciappini *et al.*, 2004). La fracción mineral revela altos niveles de potasio, bajos de sodio, relación muy adecuada para dietas asociadas a hipertensión (Andrino *et al.*, 2011).

Lo mismo ocurre con las fibras, que están presentes en cantidades superiores que en el resto de los vegetales (Ciappini *et al.*, 2004). En cuanto a carbohidratos se refiere, la glucosa es el azúcar presente mayoritariamente, seguido por manosa y trehalosa (Kim *et al.*, 2009; Manzi *et al.*, 1999). *P. ostreatus* contiene aproximadamente 7.9% de minerales, 14% de fibra cruda, 3 a 5% de lípidos y 57% de carbohidratos aproximadamente (Gunde-Cimerman, 1999).

Por otro lado Boyle *et al.* (1992), demostraron que la degradación de la lignina por los hongos de la pudrición blanca, es extracelular, de forma oxidativa no específica y está regulada por una serie de condiciones (Mn, pH). Estos organismos tienen la capacidad de biodegradar y mineralizar compuestos xenobióticos tales como hidrocarburos poliaromáticos (HPA) como el fenantreno, colorantes industriales y otros contaminantes del suelo tales como atrazina, diaminas, fenoles, etc. (Bezalel *et al.*, 1996), debido a que la conformación estructural de estos compuestos (fenólica) es similar a la que presenta la lignina y los productos de la oxidación no son necesariamente utilizados como fuente de carbono y energía por la célula (Cohen *et al.*, 2002).

Los hongos del género *Pleurotus* producen un número importantes de moléculas entre las que se encuentran lecitinas, polisacáridos y glucopéptidos que presentan actividades biológicas como antiproliferativas y anticancerígenas (Ng y Wang, 2004).

## 1.7. Cultivo del género *Pleurotus*

Las setas crecen de manera natural en troncos en descomposición o artificialmente en diferentes materiales obtenidos como subproductos de las actividades agrícolas (Gaitán-Hernández, 2006). La disposición de materiales orgánicos de desecho en el mundo cada día resulta más compleja. Compuestos orgánicos de celulosa, hemicelulosa y lignina provenientes de residuos de aserríos, cosechas de diversos cultivos, de industrias (como la papelera, producción de licores, industria textil) y diferentes tipos de agroindustrias, entre otros, normalmente son descartados, debido al difícil manejo por el volumen que ocupan, alterando el ecosistema variando temperaturas, suelos, aire y características generales del entorno. (Benavides y Herrera, 2009).

La mayoría de los cultivos de *Pleurotus* pueden ser producidos en un corto periodo de tiempo, a bajo costo y en áreas reducidas. Además la implementación del cultivo de hongos a pequeña escala en países en desarrollo necesita una tecnología sencilla en condiciones poco sofisticadas y los sustratos pueden provenir de desechos de plantas sin ser suplementados (Sánchez y Royse, 2001). Benavides y Herrera (2009) señalan que los materiales elegibles para ser utilizados en la preparación de sustratos para el cultivo de *Pleurotus* spp. deben poseer, el mayor y mejor número posible de propiedades positivas tales como:

- Buena disponibilidad en cantidad y continuidad
- Buen conocimiento de sus características físico-químicas
- Regularidad en su composición físico-química
- Precio ventajoso de adquisición
- Localización fácil y cercana
- Facilidad de transporte y manejo

Los sustratos para el cultivo de los hongos los podemos clasificar en seis categorías a saber (Guzmán *et al.*, 2008):

- Pajas: ajonjolí, arroz, cártamo, cebada, sorgo, trigo, avena y zacate en general
- Rastrojos: maíz, mijo, garbanzo, frijol, etc.
- Pulpas: café, cardamomo
- Bagazos: caña de azúcar, citronela, maguey tequilero, henequén, uva, etc.
- Forestales: aserrín, viruta, troncos y ramas
- Otros: papel, olote, tamo de maíz, hojas de piña, fibra de coco, lirio acuático, hojas y tallos de plátano, desechos de la industria textil, etc.

Para un eficiente cultivo de cepas de *Pleurotus*, se deben seleccionar variedades adaptadas a diferentes sustratos y condiciones de cultivo, mediante la mejora genética de las cepas nativas (Bran *et al.*, 2006). En los programas de mejoramiento de producción de hongos

desarrollados por diversos grupos de investigación, se pone énfasis en identificar o incorporar potencial genético para obtener un alto rendimiento en la producción de hongos. Entre las técnicas empleadas para especies de *Pleurotus* se encuentra el entrecruzamiento o hibridación, un método eficiente para obtener una combinación de características deseables. Por medio de la recombinación genética se pueden obtener características importantes de cepas, que puedan ser utilizadas en la industria de hongos comestibles (Gaitán-Hernández *et al.*, 2009).

Existen estudios que demuestran que la manipulación genética tiende a una mejor y mayor producción. Al respecto Gaitán-Hernández *et al.* (2009) citan para *P. pulmonarius* sobre paja de cebada un incremento de aproximadamente el 31% de EB para los híbridos con respecto a sus parentales. Se asume que la mayor productividad de algunas de las nuevas cepas generadas fue en parte, a factores genéticos propios de la cepa, que permitieron la expresión de información genética favorable al desarrollo de cuerpos fructíferos bajo las condiciones evaluadas. Salmones *et al.* (2004) encontraron que las cruces de *P. djamor* sobre paja de cebada superan (73.6-114.4%) a sus parentales (53.6-86.4%). Por su parte Pérez y Mata, (2005) mencionan que para *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* sobre viruta de pino y paja de cebada, las cruces intra-especimen superaron significativamente a sus parentales y por tanto lograron obtener cepas mejoradas con respecto a sus parentales, lo cual les permite a las nuevas cepas ser adecuadas para su explotación comercial.

### **1.7.1. Productividad del cultivo y calidad de cuerpos fructíferos**

La productividad es una de las características más importantes consideradas en el cultivo de hongos y se utiliza para determinar qué tan buena o no, es la cepa del hongo que se cultiva, así como, determinar el sustrato más adecuado. Para ello se deben tomar en cuenta varios parámetros:

**Tiempo de incubación.** Tiempo transcurrido a partir de la siembra del sustrato hasta que las muestras se colocan en la cámara de fructificación (invasión del sustrato por el micelio). Se toma en cuenta la temperatura de incubación, la humedad y el factor iluminación.

**Aparición de primordios.** Este parámetro está en estrecha relación al anterior ya que después de que el micelio invadió por completo el sustrato y se pasó a la cámara de fructificación, con las condiciones adecuadas los primordios comienzan aparecer. Está bajo el control de varios factores como la aireación, temperatura e iluminación.

**Precocidad.** Es el número de días transcurrido desde el inicio de la incubación en condiciones de fructificación hasta la primera cosecha de cuerpos fructíferos maduros. Es importante que este periodo sea lo más breve posible. Se toma en cuenta la temperatura, la humedad relativa, aireación e iluminación (Aguilar, 2007).

**Periodo de producción.** Aquí se considera, además del tiempo transcurrido a partir de que las muestras se colocaron en producción hasta la última cosecha, el número de cosechas obtenidas y bajo qué temperatura y humedad se desarrollaron los hongos. Varios factores deben de controlarse, como son la luz, temperatura, humedad, plagas, etc. En promedio y dependiendo de la variedad de hongo y sustrato, las bolsas de setas producen entre 2 a 4 cosechas, pero las más importantes son las dos primeras (Gaitán-Hernández, 2006). En la primera cosecha se obtiene cerca del 50-60% del rendimiento del cultivo total y esta se realiza a partir del día 25 al 40 dependiendo de las condiciones climáticas, generalmente es posible realizar una segunda cosecha de 15 a 20 días después del primer corte obteniéndose entre el 30-35% del rendimiento del cultivo y una tercera cosecha a los 20 días siguientes con el resto de la producción (entre el 20-15%) (Fernández, 2004).

**Hongos o cuerpos fructíferos producidos.** Junto con la textura, la apariencia y el sabor, son los principales factores que determinan la aceptabilidad sensorial de alimentos para los consumidores (Pons y Fiszman, 1996).

Para evaluar los carpóforos según su peso Royse *et al.* (2004) definió el peso promedio de cuerpos fructíferos cosechados (PMCF) el cual se basa en la relación entre el peso total de hongos cosechados y el número total de hongos obtenidos. Salmones *et al.* (1997) por su parte clasificó la calidad de los hongos según el tamaño de píleo y estípite en cuatro y dos categorías respectivamente.

Las características mecánicas son probablemente las más importantes en la determinación texturométrica para predecir la forma en que se manejan y comportan los alimentos en la boca (Szczeniak, 1963), los siguientes parámetros (ver Figura 5) son los más utilizados para describir estas características:

**Dureza.** Es la fuerza necesaria para alcanzar una deformación (Szczeniak, 1963). Friedman *et al.* (1963) lo cuantifica como la altura de la primera masticada. Utilizando la gráfica del análisis de perfil de textura (APT). Bourne (1978) la define como la fuerza máxima que se produce durante el primer ciclo de compresión.

**Cohesividad.** Szczeniak (1963) la define desde el punto de vista físico como la fuerza de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Con respecto al APT se mide como la relación entre el área de fuerza positiva durante la segunda de compresión con el área durante la primera compresión (Friedman *et al.* 1963).

**Elasticidad.** Es definida como la tasa a la cual un material deformado vuelve a su estado no deformado después de que la fuerza de deformación es retirada (Szczeniak, 1963). Empleando el APT se describe como la altura que el alimento recupera durante el tiempo que transcurre entre el final de la primera "mordida" (compresión) y el comienzo de la segunda "mordida" (Bourne 1978). Muñoz (1986) lo describe fisiológicamente como la fuerza con la que

la muestra vuelve a su tamaño y forma original, después de la compresión parcial (sin falla) entre la lengua y el paladar.

**Adhesividad.** Szczeniak (1963) la define físicamente como el trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los materiales con los que el alimento entra en contacto. Con la ayuda del APT se calcula como el área del pico negativo por debajo de la línea base para la primera compresión, lo que representa el trabajo necesario para extraer el émbolo de la muestra (Friedman *et al.* 1963).

**Gomosidad.** Se define como la energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar (Szczeniak, 1963). El valor se obtiene del producto de la dureza y la cohesividad dando como resultado una fuerza (Bourne, 1978).

**Masticabilidad.** Físicamente Szczeniak, (1963) lo define como la energía requerida para masticar un alimento sólido a un estado listo para tragar. Bourne (1978) menciona que es el producto de la gomosidad y la elasticidad (lo cual es equivalente al producto de la dureza, cohesividad y elasticidad) dando como resultado un trabajo.

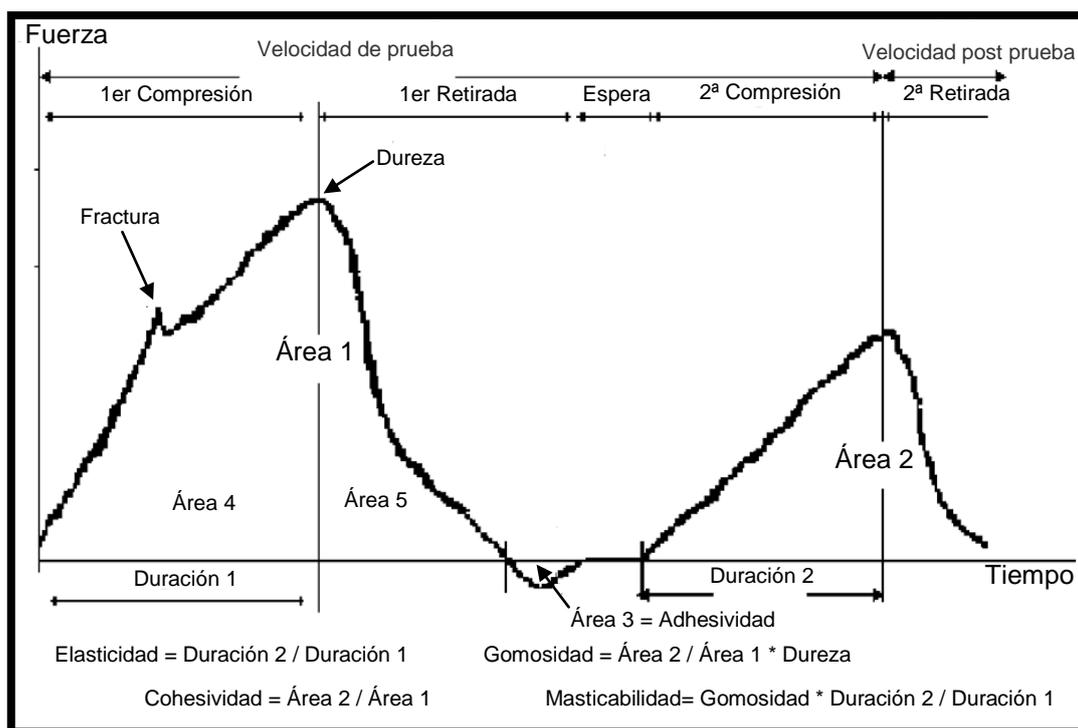


Figura 5. El análisis de perfil de textura (APT).

Desde 1905 se identificaron los tres atributos básicos del color: tono, valor y croma. Tono es el nombre del color, la cualidad por la cual se distingue una familia de otra, de colores cromáticos, como el rojo del amarillo. Valor es la luminosidad del color, cualidad a través de la cual se distinguen los colores claros de los oscuros. Croma es la fuerza del color o la intensidad

de un tono distinto. En el sistema de colores CIELab, los valores de luminosidad  $L^*$  van de 0 (negro) a 100 (blanco),  $a^*$  indica el ángulo *hue* (tono) en una escala de verde (-60) a rojo (+60);  $b^*$  indica el ángulo *hue* (tono) en una escala de azul (-60) a amarillo (+60) (von Atzingen y Machado, 2005). En la Figura 6 se muestra la interacción de estos parámetros. Una de las ventajas al usar el sistema CIELab es que se puede determinar la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ), que cuantifica numéricamente la diferencia de percepción de color, para el ojo humano, entre dos muestras (Casassa y Sari, 2006).

En la producción de setas existen ciertos criterios elementales que se deben cumplir para establecer una producción rentable, en los cuales se encuentran los parámetros de productividad que permiten caracterizar una cepa productora de setas (Cruz, 2009):

- Eficiencia Biológica (EB)
- Rendimiento (R)
- Tasa de productividad (TP)

La producción de los hogos se valora en kg por sustrato, mediante la fórmula de dividir el peso fresco de los hongos cosechados entre el peso seco del sustrato empleado, lo que se le llama eficiencia biológica (EB) y se expresa en porcentaje, este es el concepto más aceptado generalmente y fue propuesto por Tchierpe y Hartman (1977). La calidad productiva de un sustrato se percibe como aceptable a partir de una EB de 50%, mientras que una buena EB para *Pleurotus* debe estar alrededor de 100% (Guzmán *et al.*, 2008). Existen otros parámetros como son el porcentaje de rendimiento (R) que se obtiene de la relación de peso de hongos frescos entre el peso de sustrato húmedo y la tasa de producción (TP) que se calcula dividiendo la EB entre el tiempo total de cultivo desde la inoculación hasta la última cosecha (llamado ciclo de producción) este parámetro también es conocido como la EB diaria (Royse, 1989).

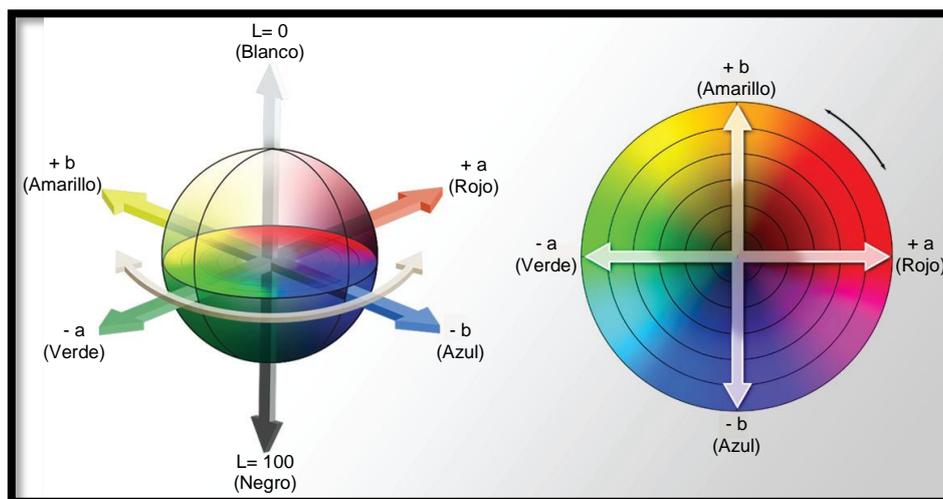


Figura 6. El modelo de color CIELAB

### 1.7.2. Factores involucrados en el crecimiento y la fructificación

Al material sobre el que crecen los hongos se le llama sustrato, el cual degrada para su alimentación. Por tal motivo la naturaleza físico-química del sustrato esta en relación directa con las necesidades de crecimiento del hongo. Los nutrientes necesarios que el sustrato debe cumplir son: celulosa, hemicelulosas y lignina que funcionan como fuentes principales de carbono, nitrógeno y energía, así mismo se recomienda que el sustrato esté libre de sustancias antifisiológicas que afecte el crecimiento del micelio (Guzmán *et al.*, 2008). Las condiciones ambientales son determinantes en la formación del cuerpo fructífero influenciado por factores como la luz, la temperatura, las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la humedad y el pH (Kües y Liu, 2000).

**Sustrato.** En lo que concierne a la capacidad de retención de humedad, los hongos tendrán un crecimiento óptimo en sustratos que tengan 70-80% de humedad. Debajo de estos porcentajes el micelio crecerá de manera irregular y con poco vigor y es más fácilmente afectado por organismos competidores. Pero con valores mayores a 80% de humedad, el micelio disminuirá su crecimiento ya que se encuentra en condiciones anaerobias debido al exceso de agua (Guzmán *et al.*, 2008). El tamaño de partícula afecta el crecimiento y la fructificación porque se relaciona con la accesibilidad a los nutrientes, al agua y al aire por parte de las hifas del hongo. Los tamaños de partícula muy pequeños dificultan la aireación y los tamaños muy grandes son inadecuados por que dificultan la compactación del sustrato y el acceso del hongo a los nutrientes. Para el cultivo sobre paja de trigo el material se recomienda que tenga un tamaño de longitud entre 2-6cm (Royse, 2003). El potencial de hidrogeno (pH) del medio de cultivo donde crece el hongo tiene influencia directa sobre este, debido a que interviene con las proteínas de membrana y en la actividad de las enzimas ligadas a la pared celular, es decir, afecta su metabolismo. Para el crecimiento de *Pleurotus* se han citado rangos de crecimiento entre 4 y 7 de pH. Con un óptimo entre 5 y 6 (Sánchez y Royse, 2001).

Shashirekha y Rajarathnam (2007) mencionan que el análisis químico del sustrato de cultivo proporciona información valiosa que influye en el crecimiento y producción. La composición de nutrientes es uno de los factores que limitan la colonización de las setas cultivadas, y en particular la fructificación de *Pleurotus spp.* (Naraian *et al.*, 2009). Otro factor que se debe tomar en cuenta es la disponibilidad de los nutrientes, en lugar del contenido total (Fanadzo *et al.*, 2010). Varios autores informan que la composición del sustrato influye de manera drástica sobre la EB que se pueda obtener (Vetayasuporn, 2007; Dündar y Yildiz, 2009; Onuoha, 2007). Fanadzo *et al.* (2010) señaló que incluso las diferentes especies de setas del mismo género podrían tener diferentes requerimientos de nutrientes. Por otro lado, se ha reportado que la mezcla de residuos otorga características nutricionales más adecuadas para producir fructificaciones (Forero *et al.*, 2008).

El contenido de nitrógeno en el sustrato es de suma importancia, ya que este compuesto es un nutriente básico para los microorganismos, siendo necesario para la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos y quitina, en el caso de los hongos (Adebayo *et al.*, 2009). Se afirma que el nitrógeno es el nutriente principal (junto con el carbono) para el crecimiento del micelio (Tabi *et al.*, 2008 citado por Rizki y Tamai, 2011) y promueve la colonización y formación de primordios, y por lo tanto este compuesto es utilizado en la formación de los cuerpos fructíferos (Sánchez *et al.*, 2008). De acuerdo con las recomendaciones de estudios previos, un alto rendimiento en el cultivo de *Pleurotus spp.* se pueden obtener a partir de sustratos que contienen nitrógeno entre 0.5-1.2% en base seca (Dündar y Yildiz, 2009; Forero *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2001), mencionan que no sólo la cantidad de nitrógeno, sino también la naturaleza de la fuente del compuesto presente en el sustrato influye en el contenido de proteínas del cuerpo del hongo.

Dada la importancia que tiene el carbono para la célula, este elemento es el que más se utiliza durante el crecimiento y desarrollo de *Pleurotus spp.* (junto con el nitrógeno) y puede ser asimilado a partir de diferentes fuentes como polímeros, carbohidratos y lípidos (Sánchez *et al.*, 2002), en ello radica la importancia de la calidad del sustrato empleado para el cultivo de *Pleurotus*.

La grasa no es un nutriente esencial, pero puede tener un efecto benéfico en el desarrollo micelial (Forero *et al.*, 2008). Parte del contenido de grasas se emplea en el metabolismo y formación del cuerpo fructífero del hongo (Sánchez *et al.*, 2008). López-Rodríguez *et al.* (2008) reportan para *P. ostreatus* sobre distintos residuos que la mayor EB podría estar relacionada con el alto contenido de lípidos que posee el sustrato. Bonzom *et al.*, 1999 afirman que al adicionar materiales lipídicos al sustrato se logra un incremento del 20% al 60% de la producción de carpóforos.

Romero *et al.* (2010) reportan para *P. ostreatus* sobre diferentes sustratos que la capacidad productiva obtiene mayores rendimientos en sustratos ricos en minerales como es el caso del trigo. Un elevado contenido de minerales, es importante ya que actúan como intermediarios del metabolismo y en la actividad enzimática del hongo (Forero *et al.*, 2008). Al respecto Alemawor *et al.*, 2009 encontraron que el suplemento de Mn fue fundamental ya que dio un efecto positivo sobre la bioconversión de cáscara de cacao por *P. ostreatus*, debido a que el manganeso (Mn) mejorar la actividad de bioconversión en hongos de pudrición blanca en la biodegradación de la lignocelulosa en subproductos agroindustriales. Adenipekun y Gbolagade (2006) reportan un buen rendimiento de *P. florida* en un medio con calcio y zinc. La capacidad de calcio para apoyar mejor el crecimiento de *P. florida* se puede atribuir a su papel en el proceso metabólico de los hongos, tales como la glucólisis y respiración. El Zn es un

componente en una gran variedad de enzimas de los hongos que van desde los que participan en los intermediarios metabólicos, eh implicadas en la síntesis de ADN y ARN.

El contenido de extractivos en los sustratos juega un papel importante en la adaptación de la cepa durante el ciclo de cultivo, la capacidad de un sustrato para resistir la degradación ha sido atribuible en parte a su gran variedad de compuestos fenólicos (Fermor y Macauley, 1991 citad por Rizki y Tamai, 2011). Salmones *et al.* (2005) para *P. djamor*, *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* encontraron que en pulpa de café se observó una reducción drástica de fenoles. La actividad enzimática no contribuye a la nutrición en estado vegetativo de *Pleurotus* pero las lacasas participan en la detoxificación del sustrato (Murrieta *et al.*, 2002 citado por Salmones *et al.*, 2005). Así la actividad metabólica es mayor en los primeros días para la detoxificación del sustrato que para a la generación de biomasa, entonces se ve afectado el crecimiento y desarrollo del hongo.

**Humedad relativa.** Dado que los cuerpos fructíferos están formados por un alto contenido de agua y su estructura hifal no les permite retener la humedad en condiciones adversas, un balance adecuado entre la humedad ambiental y el contenido de humedad del hongo es necesario. Debido a esto, la humedad relativa del ambiente donde crece el hongo debe ser suficiente para evitar que tanto el sustrato como los cuerpos fructíferos se deshidraten. Se recomienda mantener una humedad relativa entre 85-95% (Sánchez y Royse, 2001).

**Luz.** La luz ha sido extensamente estudiada como un factor modulador de manera positiva en la agregación de hifas y en la maduración del cuerpo fructífero, pero a la vez reprime la formación de nudos de hifas. Cuando la iluminación es demasiado fuerte o muy prolongada afecta el desarrollo del cuerpo fructífero. Un pulso de luz de energía baja es suficiente para inducir la agregación de hifas, en cambio la maduración del cuerpo fructífero necesita exposiciones más largas de energía con mayor longitud de onda. Se tiene registrado un fotoperiodo de 12 horas luz para *Pleurotus ostreatus* (Idareta *et al.*, 2004).

**Temperatura.** En relación con la temperatura, la producción del micelio vegetativo ocurre en un amplio rango de temperaturas, del mismo modo, la formación de hifas y la formación de primordios no está restringida a una temperatura específica. Un descenso en la temperatura ambiental es esencial para la iniciación de cuerpos fructíferos, sin embargo, no hay estudios fisiológicos que expliquen el efecto de la temperatura baja en la iniciación del esporóforo (Manàchere, 1988). *Pleurotus* es un género de hongos cuyo micelio puede crecer en un rango de temperaturas que va de 0 a 35°C (Sánchez y Royse, 2001). Por encima de 40°C puede ocurrir la muerte del micelio, lo mismo que temperaturas por debajo de 4°C. La temperatura optima varía con las etapas de crecimiento de la especie e incluso entre cepas en el Cuadro 3 se dan ejemplos de ello (MushWorld, 2004).

Cuadro 3. Temperaturas optimas de crecieminto para diferentes especies del genero *Pleurotus*.

Condiciones Especies	Incubación (°C)	Formación de primordios (°C)	Producción de cuerpos de fructíferos (°C)
<i>P. ostreatus</i>	25	10-15	10-17
<i>P. florida</i>	25	10-25	15-25
<i>P. sajor-caju</i>	25	10-25	18-25
<i>P. eryngii</i>	25	10-15	13-18
<i>P. cornucopiae</i>	25-30	20-25	20-30
<i>P. cystidiosus</i>	25-35	20-25	25-30

(Modificado de MushWorld, 2004)

**Aireación.** El oxígeno es un elemento de gran importancia para el crecimiento de los basidiomicetos porque son organismos aerobios. Estos organismos presentan requerimientos de oxígeno diferentes según el estado fisiológico en que se encuentren (Sánchez y Royse, 2001). Durante el desarrollo miceliar el CO<sub>2</sub> estimula la colonización del sustrato, pero durante la fructificación tiene una influencia negativa en el desarrollo de cuerpos fructíferos (Eichlerová-Voláková y Homolka, 1997). Con altos niveles de CO<sub>2</sub> los hongos producen estipes largos con pileos pequeños, mientras que se producen estipes cortos con pileos grandes en niveles bajos de CO<sub>2</sub>. En *P. ostreatus*, una concentración de CO<sub>2</sub> superior a 1000 ppm produce estipes que son demasiado largos y el resultado son hongos de baja calidad (MushWorld, 2004). Para esta misma especie se ha encontrado que presenta una máxima concentración igual a 900 ppm y una mínima de 525 ppm.

**Plagas.** Las principales plagas que se presentan durante el cultivo del hongo seta son: mosquitos, moluscos, roedores y hongos como *Trychoderma*, *Penicillium* y *Aspergillus*, principalmente (Velasco y Vargas, 2004). Algunos autores mencionan que las especies que compiten con *Pleurotus sp.* después de la pasteurización de distintos sustratos son los hongos *Penicillium sp.* y *Trichoderma sp.*, (Fracchia *et al.*, 2009; Croan, 2000), diferentes bacterias (Kumari y Achal, 2008; Kalmis y Sargin, 2004) y gran diversidad de artrópodos (Garzón y Cuervo, 2008). Esto probablemente por la ruptura parcial de la celulosa y la hemicelulosa, poniéndolas a disposición de los competidores. La pasteurización a 90°C podría hacer más accesible la celulosa (Sturion y Oetterer, 1995 citado por Moda *et al.*, 2005), debido a la destrucción parcial de los enlaces celulosa-lignina, lo que favorece la contaminación del sustrato. La contaminación del sustrato durante el cultivo tiene una severa consecuencia en la producción. Algunos de estos mohos son patógenos y atacan el micelio, otros compiten con el crecimiento del micelio. Los hongos patógenos pueden afectar la calidad y producción o ambas

cosas, pero no son perjudiciales para los consumidores (Mamiro y Mamiro, 2011). Distintos autores han reportado que la contaminación del sustrato a lo largo del cultivo de *Pleurotus spp.* es inversamente proporcional a la EB obtenida (Moda *et al.*, 2005; Mane *et al.*, 2007; Yildiz *et al.*, 2002; Chiejina y Olufokunbi, 2010), debido a la pérdida de material por contaminación o la baja y escasa colonización del sustrato por el hongo de cultivo. Al respecto Romero *et al.* (2010) para *P. ostreatus* sobre distintos sustratos, mencionan que los primordios no se terminaron de desarrollar debido a la presencia de organismos contaminantes, como *Trichoderma spp.*, así como moscas del género *Lycoriella*.

### **1.8. Degradación de compuestos lignocelulósicos**

La lignocelulosa es el componente principal de la biomasa y es el más abundante de los recursos renovables en el suelo. Se compone de tres tipos de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina, que están fuertemente entrelazados y unidos químicamente por fuerzas no covalentes y reticulaciones covalentes (Pérez *et al.*, 2002). El principal componente de los materiales lignocelulósicos es la celulosa, seguida de la hemicelulosa y la lignina. La celulosa y la hemicelulosa son macromoléculas construidas a partir de diferentes azúcares, mientras que la lignina es un polímero sintetizado a partir de precursores aromáticos fenilpropanoides. La composición y las proporciones de estos compuestos varían entre cada planta (Sánchez, 2009).

La lignina está ligada a la hemicelulosa y celulosa, formando un sello físico que es una barrera impenetrable en la pared celular de las plantas. Está presente en la pared celular para dar soporte estructural, impermeabilidad y resistencia contra el ataque microbiano y el estrés oxidativo. Se trata de un heteropolímero amorfo, insoluble en agua y ópticamente inactivo que se forma a partir de unidades de fenilpropano por enlaces no hidrolizables (Sánchez, 2009). La lignina está compuesta de subunidades de fenilpropano interconectadas por diferentes enlaces carbono-carbono y carbono-oxígeno-carbono (Pointing, 2001). El principal enlace de la estructura de la lignina es el éter arilglicerol- $\beta$ -aril, enlace que comprende la mitad de los enlaces de la estructura (Young y Akhtar, 1998).

Muchos microorganismos son capaces de degradar la celulosa y la hemicelulosa para utilizarlos como fuente de carbono y energía. Sin embargo, un grupo muy reducido de hongos filamentosos han evolucionado con la capacidad de descomponer la lignina, el componente más recalcitrante de la pared celular de las plantas. Estos son conocidos como los hongos de pudrición blanca, que poseen la capacidad única de degradar de manera eficiente la lignina a CO<sub>2</sub> (Hurst *et al.*, 2007).

Durante el crecimiento y el desarrollo de micelio, los cambios bioquímicos tienen lugar como consecuencia de la producción de enzimas extracelulares. Estas enzimas degradan los

componentes insolubles y gran cantidad de material lignocelulósico en compuestos solubles y de bajo peso molecular, que son tomados posteriormente por enzimas intracelulares del hongo para su nutrición. Por lo tanto, las enzimas tienen un papel significativo en el crecimiento y desarrollo de hongos (Kurt y Buyukalaca, 2010). Los hongos tienen dos tipos de sistemas enzimáticos extracelulares: el sistema de hidrólisis, que produce hidrolasas que son responsables de la degradación de polisacáridos, y un sistema único ligninolítico oxidativo, que degrada lignina y abre los anillos de fenilo (Sánchez, 2009).

El sistema enzimático ligninolítico es poco específico, ya que las peroxidadasas y oxidadasas actúan al azar sobre la molécula de lignina, generando radicales libres que son inestables y tienden a polimerizarse. Las principales enzimas que actúan directa o indirectamente sobre la lignina son: lignina peroxidadasas (LiP), manganeso peroxidadasas (MnP) y lacasas. Ciertos hongos de pudrición blanca producen las tres enzimas, algunos sólo dos y pocos producen una (Young y Akhtar, 1998). Los hongos de la PB, secretan una o más de las tres enzimas extracelulares oxidativas esenciales en la mineralización de lignina: la lignina peroxidada, que por síntesis endógena de  $H_2O_2$ , oxida veratril alcohol, a la vez oxida compuestos aromáticos no fenólicos, en la reacción se generan radicales arilo y alquilo que se anabolizan intracelularmente; la manganeso peroxidada, que oxida componentes fenólicos de la lignina, mediante la reacción de oxidación del  $Mn^{2+}$  a  $Mn^{3+}$ , la cual es dependiente del  $H_2O_2$ , y la lacasa, una fenol oxidasa con cobre, que oxida anillos de la lignina (Pérez *et al.*, 2002). Todas estas enzimas participan en la degradación bajo condiciones de fermentación en estado sólido, y se ha detectado que ayudan tanto a la infestación del micelio sobre el sustrato, así como en la degradación del mismo (Kudryavtseva *et al.*, 2008).

## **1.9. Producción del género *Pleurotus***

La producción de hongos comestibles inició como una auténtica biotecnología tradicional, basada en técnicas sencillas de propagación, hace aproximadamente 1000-1400 años en China, con el cultivo empírico de las “orejas de ratón” (*Auricularia* spp.) y del “shiitake” (*Lentinula edodes*). De la misma forma, aunque como proceso independiente, también comenzó en Francia hace más o menos 350 años con el cultivo del champiñón (*Agaricus* spp.). A través del tiempo, ha sido posible la incorporación y desarrollo de tecnologías que han mejorado substancialmente la producción comercial a gran escala no tan sólo de los hongos comestibles mencionados, sino también de otras especies potencialmente cultivables (Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

### **1.9.1. Producción mundial**

En 1980, las cuatro especies de hongos comestibles más importantes por su cultivo eran *Agaricus bisporus* (champiñón), *Pleurotus* spp. (seta), *Lentinula edodes* (shiitake) y *Volvariella*

*volvácea* (Chang, 1999). 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%. Se ha estimado que se generan operaciones comerciales de alto valor agregado superiores a los 3.6 billones de dólares en los mercados internacionales de la industria alimenticia, farmacéutica, y de perfumería y cosméticos, observándose una creciente demanda en Europa, Norteamérica y Japón. A nivel mundial, el champiñón (*Agaricus*) es el hongo comestible más importante con un nivel de producción superior a los 2 millones de toneladas métricas anuales, seguido por el shiitake (*Lentinula*) con más de 1.5 millones de toneladas, y las setas (*Pleurotus*) con alrededor de un millón de toneladas (Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

### **1.9.2. Producción nacional**

Algunos datos en México reportan que la producción comercial de hongos comestibles cultivados es una actividad relevante (Martínez-Carrera, 2002). Se estima que los volúmenes de producción ascienden a más o menos 47,468 toneladas anuales de hongos frescos. Nuestro país es el mayor productor de Latinoamérica, ya que genera alrededor del 58.9% de la producción total de esa región y lo ubica como el 16º productor a nivel mundial. El monto anual de las operaciones comerciales supera los 200 millones de dólares, generando alrededor de 25 mil empleos directos e indirectos. La importancia ecológica de esta actividad económica radica en la utilización y reciclaje de más de 47,4000 toneladas anuales de subproductos agrícolas, agroindustriales y forestales. Los hongos comestibles que se cultivan comercialmente en México (*Agaricus*, *Pleurotus*, *Lentinula*, *Ganoderma*, *Grifola*), incluyendo sus volúmenes y proporciones de producción anual, se muestran en el Cuadro 4. La mayor proporción (95.35%) corresponde a los champiñones, seguido por las setas con 4.62%, y el shiitake con 0.038%. En el caso del reishi y el maitake todavía no se tiene producción consistente, sólo se tienen registradas pruebas a escala comercial en el 2005 (Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

Comparativamente, en 2004, el volumen de producción de hongos comestibles en el país es superior al de cacao, equivalente al del ajo, y un poco inferior al del chícharo, del tomate cherry, y de las hortalizas. También es relevante la comparación con los equivalentes orgánicos de estos productos, tales como el café cereza orgánico, ya que la importancia de la producción orgánica de hongos comestibles cultivados es cada día mayor, se desarrolla a un nivel más acelerado, y representa una importante ventaja competitiva del producto en el corto plazo (Martínez-Carrera *et al.*, 2007). Se tienen experiencias exitosas en los Estados de Puebla, México, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos, Veracruz, Jalisco, Yucatán, Guerrero, Oaxaca, Querétaro, y Chiapas (Sánchez-Vázquez, 2005).

Cuadro 4. Producción anual estimada de hongos comestibles cultivados comercialmente en México, incluyendo volúmenes y proporciones de producción para el 2005.

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

PC= Nivel de pruebas a escala comercial. (Modificado de Martínez-Carrera et al., 2007)

## 2. ANTECEDENTES

Puesto que *Pleurotus spp.* puede descomponer lignocelulosa de manera eficiente sin un pre-tratamiento biológico o químico, una gran variedad de desechos lignocelulósicos son utilizados para su cultivo, la mayoría de estos se han usado como alimentos para animales, pero, debido a su baja digestibilidad, bajo contenido de proteína y alto contenido de lignina son impopulares e inaceptables para tal cometido (Cohen *et al.*, 2002).

Tradicionalmente el género *Pleurotus* ha sido cultivado sobre paja de cereales (trigo, arroz, avena y cebada) (Martínez-Carrera, 2000). En Asia, la paja de arroz es ampliamente aceptada como sustrato principal para cultivar hongo ostra. En Europa, la paja de trigo es el mejor sustrato para el cultivo de setas, debido a su alto contenido de proteína y rendimiento obtenido sobre el (Mandeel *et al.*, 2005). Shashirekha y Rajarathnam, (2007) mencionan que las especies de *Pleurotus* pueden producir de 1 a 1.4 toneladas de hongos frescos por tonelada de paja seca de arroz/trigo. En vista de la creciente demanda, costo y otros usos alternativos de la paja de arroz/trigo, residuos lignocelulósicos sin valor comercial son considerados con la posibilidad de producción de hongos ostra. Gracias a las enzimas lignolíticas que produce *Pleurotus spp.*, cada año más residuos agrícolas pueden ser convertidos en productos alimenticios con alto contenido de proteínas (Kalmis y Sargin, 2004).

Esta es una de las ventajas del cultivo de setas, que se pueden aprovechar los desechos de la cosecha que se tenga en la localidad (Velasco y Vargas, 2004). Los sustratos usados en cada región dependerán de la disponibilidad de los desechos agrícolas (Hadar *et al.*, 1992). El uso de nuevos sustratos para el cultivo de setas se centra en probar distintos materiales lignocelulosicos y determinar la factibilidad de su empleo (Valencia *et al.*, 2000). La identificación del material como sustrato adecuado, tanto biológica como económicamente, es fundamental para el cultivo exitoso (Tisdale *et al.*, 2006). Los residuos del cultivo de las setas pueden ser utilizados como mejoradores de suelo, así como complemento en la alimentación de ganado (Gaitán-Hernández, 2006).

El uso de diferentes sustratos donde se ha cultivado el género *Pleurotus* ha producido diferentes rendimientos lo que ha ocasionado un intenso estudio para poder obtener sustratos o mezclas que produzcan mayores rendimientos. Las diferencias de productividad entre distintos materiales son atribuibles a la disponibilidad de nutrientes en los sustratos, además de que algunas combinaciones de sustratos ofrecen mejores rendimientos (Baena, 2005; Curvetto *et al.*, 2002). En el Cuadro 5 se muestran diferentes datos de Eficiencia Biológica (EB) obtenidas para *Pleurotus spp.* sobre distintos sustratos.

Rashad *et al.* (2009) encontraron que la adición de paja de arroz a los residuos de pulpa de limon y residuos de papaya incrementa significativamente la producción. Al respecto Rajak *et al.*, (2011) mencionan que para *P. sajor-caju* sobre tres hierbas (Kash, sabai y limón) y paja

de arroz, encontraron que el sustrato influye en los parámetros de productividad. La combinación de hierbas y paja de arroz dio un rendimiento superior que las hierbas solas, esto puede ser debido al hecho de que en la combinación, la paja de arroz complementa los requerimientos nutricionales durante la colonización y etapas de formación de esporóforos. El reemplazo total de la paja de arroz por cualquiera de las hierbas no dio buenos resultados, puede deberse a que los nutrientes de los hongos en particular para su incubación y desarrollo de primordios fueron suministrados a partir de paja de arroz, la cual se descompone un poco más rápido que los pastos. Ellos concluyen que la sustitución de paja de arroz con las hierbas del 25% y 50% proporciono mejor resultado que al 75% o 100% de estos materiales.

Cuadro 5. Eficiencia Biológica (EB) obtenidas para *Pleurotus spp.* sobre distintos sustratos.

Sustrato	Eficiencia Biológica (%)
Pulpa de caña	195.95
Bagazo de caña de azúcar	14.15
Hoja de canela	81.85
Hoja de te limón	113.01
Hoja de pimienta	56.79
Pulpa de cardomo	113.64
Paja de cebada	96.04
Bagazo de agave tequilero	60.02
Rastrojo de algodón	56.41
Hojas de plátano	35.21
Pulpa de café + paja de cebada	102.68
Bagazo de caña + paja de cebada	65.05
Bagazo de caña +pulpa de café	99.96

Tomado de Baena, 2005

La fermentación del sustrato es un pre-tratamiento que tiene la función de digerir los azúcares simples por la acción de los microorganismos presentes en los residuos que forman el sustrato (Velázquez-Cedeño *et al.*, 2002), además de hacer algunos de los nutrientes disponibles, homogenizar el material (Moda *et al.*, 2005) y con esto obtener una selectividad biológica en el sustrato de crecimiento, ya que la flora microbiana presente debe ser protectora y no competidora de *Pleurotus spp.* Cayetano-Catarino M. y Bernabé-González (2008) para *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* encontraron que la EB aumentó alrededor del 20-40% cuando se utilizan materiales fermentados (hojas frescas de plátano) durante 14 días. Así mismo Hernández *et al.* (2003) afirman que la producción de *P. ostreatus* se vio incrementada cuando

el sustrato compuesto de hierba y pulpa de café se fermento durante 2-3 dias. El bagazo de maguey tequilero sin fermentar presentó una EB de 60.2-64.7% (Guzmán-Dávalos *et al.*, 1987a), mientras que cuando se fermentó este material durante 20 días se obtuvieron valores de EB de 78-84% (Soto-Velazco *et al.*, 1989).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en México se explota industrialmente la yucca (*Yucca Schidigera*), de este proceso se originan tres materiales residuales que son el bagazo, el polvo y la corteza. Hoy en día es recomendable reintegrar materiales residuales a los ciclos productivos, lo cual contribuye al ahorro de recursos naturales, a la reducción en la generación de residuos y a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición. Emplear residuos agroindustriales como sustrato para el cultivo y producción de hongos comestibles es un claro ejemplo de valorización de residuos. En este contexto, es necesario evaluar si el bagazo de *Yucca* se puede utilizar como sustrato para el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.) y así, tener beneficios significativos en los ámbitos: económico, social y ambiental.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Generales

- Determinar la factibilidad de aprovechamiento del bagazo de *Yucca* para la producción de *Pleurotus* spp.

### 4.2. Específicos

- Determinar los parámetros de productividad de *Pleurotus* spp sembrado sobre los diferentes tratamientos.
- Caracterizar las propiedades físicas y la morfología de los cuerpos fructíferos del hongo sembrado sobre los diferentes tratamientos.
- Determinación del análisis bromatológico a los carpoforos obtenidos sobre los diferentes tratamientos.

## **5. HIPÓTESIS**

El bagazo de *Yucca* cuenta con las características fundamentales para satisfacer los requerimientos necesarios en el cultivo del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.).

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Estrategia experimental

En la Figura 7 se presenta el diagrama de bloques del desarrollo experimental. Se realizó el cultivo y evaluación de los hongos comestibles setas (*Pleurotus* spp.), estas actividades se realizaron en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN) y en la Facultad de Estudios Superiores, Unidad Cuautitlán, Campo I (FES-UNAM).

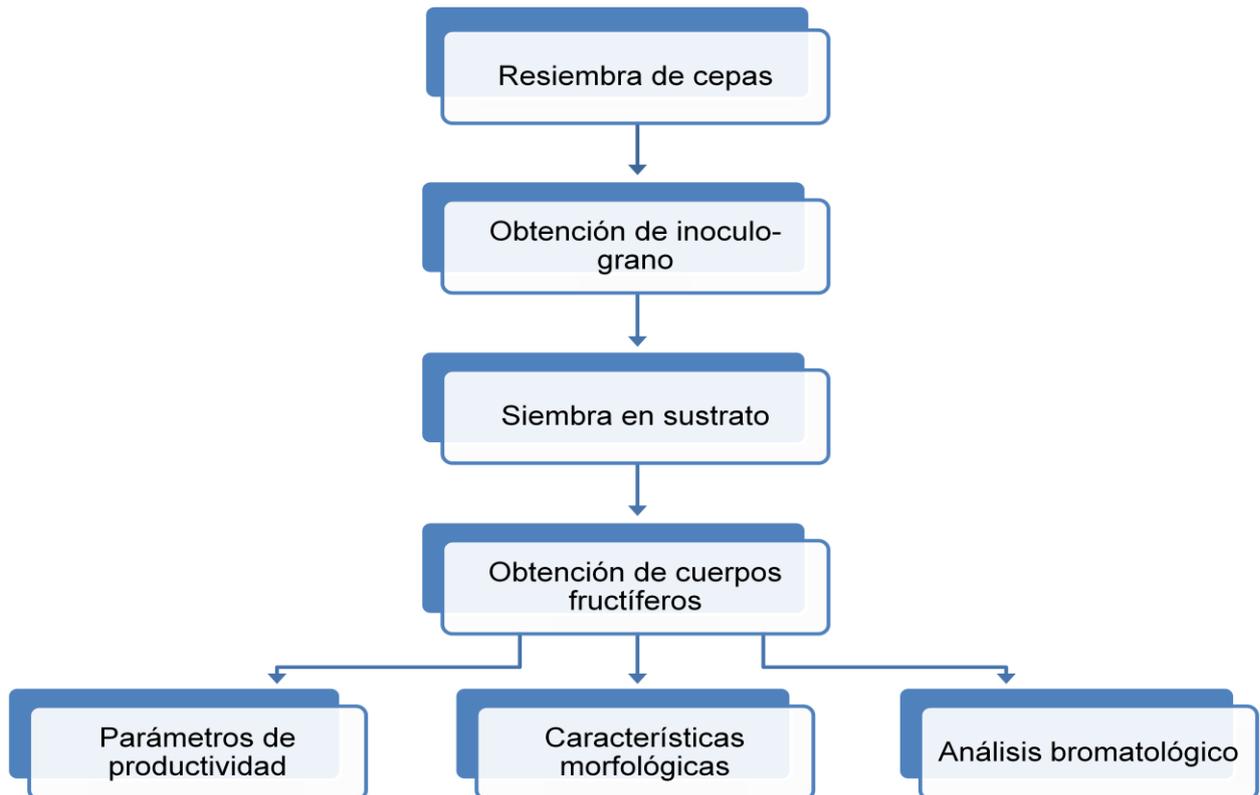


Figura 7. Diagrama de bloques del desarrollo experimental.

## 6.2. Materiales y métodos

Los materiales y métodos empleados en cada etapa fueron los siguientes:

### 6.2.1. Resiembra de cepas y obtención de inculo-grano.

#### 6.2.1.1. Material Biológico

Se utilizaron tres cepas del genero *Pleurotus* (Cuadro 6) las cuales se encuentran en la colección de cepas del laboratorio de cultivos vegetales de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN). Las cepas SEC y UAP9 son parentales y la cepa SAUA es un híbrido a partir del apareamiento de las dos anteriores.

Cuadro 6. Cepas del genero *Pleurotus*.

Cepa	Procedencia
SEC	Comercial
UAP9	Universidad Autónoma de Puebla
SAUA	Laboratorio de cultivos vegetales

Para la propagación del material biológico las cepas fueron resembradas en medio sólido extracto de malta agar (EMA) e incubadas a 28°C durante 7 días para su crecimiento micelial (Anexo 1). Posteriormente se inoculó en grano de trigo esterilizado a 28°C en condiciones de oscuridad y se incubó hasta que el micelio invadió por completo la semilla aproximadamente de 15 a 20 días (Anexo 2).

#### 6.2.2. Siembra en sustrato

Para realizar la reproducción del hongo, se llevó a cabo la siembra en sustrato, para esto se utilizó paja de trigo proveniente de PROPECUA, así como, bagazo de *Yucca schidigera* que se muestran en la Figura 8, el cual fue obtenido de la planta de producción Inyuca de Alltech ubicada en Ciudad Serdán (Puebla).



Figura 8. Bagazo en planta, después de salir del proceso de extrusión en frío.

### **6.2.2.1. Preparación de sustrato.**

Los sustratos que se emplearon fueron bagazo de *Yucca*, el cual fue secado durante cinco días en un invernadero, así como paja de trigo, la cual fue cortado en trozos de 2-5cm de longitud aproximadamente, se colocaron los sustratos en costales de rafia de 70x40cm, se sumergieron en agua corriente durante 24 horas para su hidratación (o rehidratación) a temperatura ambiente, posteriormente se drenaron para eliminar el exceso de agua, a continuación se colocaron en un contenedor metálico de 200L y se pasteurizó con vapor durante 2 horas. Se dejó enfriar y en seguida se inoculó. Un kilogramo de sustrato fue colocado en bolsas de polipapel de 40x30cm el cual fue inoculado en condiciones de esterilidad con el inóculo-grano (aproximadamente 7.5g inóculo-grano/100g de sustrato húmedo) que se incorporó de manera uniforme en el sustrato. Las bolsas fueron comprimidas, selladas y rotuladas. Se aplicaron los tratamientos que a continuación se describen.

### **6.2.2.2. Diseño experimental**

Fue un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos se aleatorizaron en las repisas y estantes que se usaron tanto en la fase oscura (incubación) como en la luminosa (fructificación) a lo largo del estudio para no provocar alguna tendencia.

### **6.2.2.3. Diseño de tratamientos**

Se probó el uso del bagazo de *Yucca schidigera* como sustrato para el crecimiento de *Pleurotus spp.* Se realizaron tres diferentes mezclas con paja de trigo. Se incluyó un testigo con paja de trigo. Esto resultó en un total de 5 tratamientos por cada cepa (Cuadro 7). Los cuales se describen a continuación. Cada tratamiento contó con aproximadamente 10 repeticiones lo cual arrojó un total de 150 unidades experimentales (5 tratamientos x 10 repeticiones x 3 cepas). Una vez estériles y fríos los sustratos, se procedió a la aplicación de los tratamientos, para el bagazo de *Yucca* (tratamiento 1) y la paja de trigo (tratamiento 5) se colocó un kilogramo del material; mientras que para las mezclas se pesaron 750g y 250g para tratamiento 2; 500g y 500g para tratamiento 3; 250g y 750g para tratamiento 4 de bagazo de *Yucca* y paja de trigo respectivamente.

Cuadro 7. Relación en porcentaje de los sustratos usados para el cultivo de setas.

Tratamiento	Bagazo (%)	Paja (%)
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

### **6.2.3. Obtención de cuerpos fructíferos.**

#### **6.2.3.1. Incubación (fase oscura)**

Las bolsas con sustrato inoculado se incubaron en condiciones de oscuridad a 20-28°C, al haber transcurrido 3 días las bolsas se perforaron para permitir el intercambio gaseoso y se mantuvieron en incubación hasta que el micelio invadió por completo el sustrato (aproximadamente 15 días). En el tiempo de incubación se llevaron a cabo observaciones periódicas para descartar contaminación.

#### **6.2.3.2. Inducción de carpoforos (fase luminosa)**

Al evidenciarse la formación de primordios se quitaron las cubiertas de plástico a los sustratos que posteriormente se llevaron a una cámara de fructificación, sin condiciones controladas, con una humedad relativa de 40 a 70%, riego cinco veces al día, ventilación, temperatura de 15 a 30°C y luz natural indirecta por aproximadamente 10 h/día con el objetivo de inducir la formación de carpoforos.

#### **6.2.3.3. Cosecha de carpoforos**

Al pasar una semana aproximadamente, después de la formación de primordios y antes de que ocurra el proceso de esporulación, se cortaron los cuerpos fructíferos desde la base. Se registraron los datos de los cortes de carpoforos para primera, segunda y tercera cosecha. Se cuantificaron los parámetros de productividad, se les determinó sus características morfológicas y se les aplicó un análisis proximal como se describe a continuación.

### **6.2.4. Parámetros de productividad**

Para evaluar la productividad en cada una de las cepas, se registró el tiempo de corte de la primera, segunda y tercera cosecha de cuerpos fructíferos maduros (C1, C2 y C3 respectivamente), así como el peso de los hongos obtenidos por bolsa y por día de corte y se cuantificaron los parámetros de productividad por cosecha así como la total, de la forma siguiente.

La **Eficiencia Biológica (%EB)** se obtuvo por la siguiente ecuación:

$$EB(\%) = \frac{\text{Peso total de hongos frescos cosechados (g)}}{\text{Peso del sustrato seco (g)}} * 100$$

Donde el peso del sustrato seco se obtuvo por diferencia con respecto a la humedad del sustrato según se determina en la sección 6.2.6.-Humedad.

Con la %EB se determinó la **Tasa de Producción (%TP)**, también llamada promedio diario de la eficiencia biológica, con la siguiente ecuación:

$$TP(\%) = \frac{EB(\%)}{\text{Ciclo de produccion}}$$

En donde, el ciclo de producción se refiere al número de días transcurridos desde la inoculación del sustrato para C1, C2 y C3 de carpóforos en cada una de las bolsas.

En el caso del **Rendimiento (%R)** se calculó con la siguiente ecuación:

$$R(\%) = \frac{\text{Peso total de hongos frescos cosechados (g)}}{\text{Peso del sustrato humedo (g)}} * 100$$

El peso unitario (Pu) se determinó con una balanza granataria, el peso medio por cosecha (Pm), se calculó con la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{\text{Peso total de hongos frescos cosechados (g)}}{\text{Numero total de hongos}}$$

### 6.2.5. Características morfológicas

Las características que se tomaron en cuenta para determinar la morfología de los cuerpos fructíferos de las cepas en estudio fueron: el tamaño de los basidiomas determinando el diámetro del píleo y longitud de estípite, la coloración de carpóforos y su textura. La metodología utilizada para la cuantificación de dichas características se describe a continuación.

**Tamaño.** En cuanto al tamaño del carpóforo, con el apoyo de un vernier se midió el tamaño del estípite, el ancho y largo del píleo. Se clasificaron, según lo propuesto por Salmones *et al.*, 1997, los carpóforos previamente medidos en relación al diámetro que alcanzó el píleo, de acuerdo al Cuadro 8 y se categorizó el tamaño del estípite de acuerdo al Cuadro 9.

Cuadro 8. Clasificación de tamaño de píleo alcanzado por los carpóforos.

Grupo	Tamaño (cm)
G1	menor a 5
G2	de 5 a 9.9
G3	de 10 a 14.9
G4	de 15 en adelante

Cuadro 9. Clasificación de tamaño de estípite

Grupo	Tamaño (cm)
A	menor a 5
B	de 5 a 9.9

**Color.** Una vez cortados y medidos los carpóforos se tomó una muestra de la primera cosecha y se midió el color utilizando el colorímetro MINOLTA modelo CR-300 con un procesador de datos DP-301 obteniéndose los parámetros L\*, a\* y b\* en el sistema CIELAB. Para este fin solo se tomó la cara frontal del píleo (lado liso) de cada uno de los hongos y se realizó la determinación por triplicado de cada hongo. También se determinó la diferencia de color ( $\Delta E$ , CIE 2000) tomando como referencia los hongos obtenidos en paja de trigo con la calculadora DeltaE (Boscarol, 2008).

**Textura.** Una vez cosechados los carpóforos se tomó una muestra de la primera cosecha y se aplicó un análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés), utilizando el texturometro LLOYD modelo TA 500 con una celda de carga de 1 kgf con el dispositivo cilindro de acrílico de ¼in a temperatura ambiente. Este análisis se aplicó a la cara frontal (lisa) de los hongos y se obtuvieron los valores de dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad (Anexo 3).

#### 6.2.6. Análisis bromatológico

Los cuerpos fructíferos de la primera cosecha de cada cepa y por cada tratamiento se desmenuzaron y dejaron secar a temperatura ambiente durante 3 días, una vez secos se molieron hasta convertir en polvo para realizar el análisis proximal. Los análisis que se realizaron son descritos a continuación.

**Humedad.** Se colocaron 10g de muestra fresca dentro de la estufa a 60°C durante 24h. Se evaluó el peso antes y después del secado y se realizaron los cálculos correspondientes (Anexo 4). Cabe mencionar que se utilizó la misma metodología para determinar el contenido de humedad en los tratamientos en los que se inoculó el hongo.

**Grasa Cruda (extracto etéreo).** Esta determinación se realizó por el método de la extracción continua usando un equipo Soxhlet con éter etílico (AOAC, 1990) (Anexo 5). Para esta prueba se utilizaron 10g de hongo en peso seco.

**Proteína Cruda.** La determinación de nitrógeno total se hizo por el método Micro-Kjeldahl (AOAC, 1990) (Anexo 6). La proteína total presente en los cuerpos fructíferos se evaluó considerando la conversión del factor de N x 4.38 sugerido por Sturion y Oettere (1995). Para la determinación se utilizaron 40mg del hongo en peso seco y desgrasado.

**Fibra Cruda.** La fibra se determinó utilizando el método por digestión química (AOAC, 1990) (Anexo 7). Para la prueba se utilizó 2g de hongo en peso seco sin grasa.

**Cenizas.** Para esta determinación se calcinaron en mufla a 550°C, 2g de muestra en peso seco y sin grasa durante 3 horas hasta la obtención de cenizas. Se pesó el residuo y se hicieron los cálculos respectivos (Anexo 8).

**Carbohidratos.** Los carbohidratos se determinaron por diferencia, sumando los anteriores y completando a 100%.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. Parámetros de productividad

Primeramente se presentan los resultados de los parámetros cuantitativos de productividad evaluados, estos fueron: Eficiencia Biológica (%EB), Tasa de Producción (%TP), Rendimiento (%R) y Peso medio (Pm). En el Cuadro 10 se muestra la significancia que tubo cada parámetro estudiado según el ANOVA de dos vías aplicado.

Cuadro 10. Significancia de los parametros de productividad en relacion con la cepa, sustrato y la interaccion cepa x sustrato.

Causa de variacion	Valor de F			
	%EB	%TP	%R	Pm
Cepa	*	*	*	*
Sustrato	*	*	*	*
Cepa x Sustrato	ns	ns	ns	ns

#### 7.1.1. Eficiencia biológica (%EB)

La Eficiencia biológica (EB) es el cociente del peso de hongos frescos cosechados por el peso del sustrato seco en porcentaje. Wang *et al.* (2001) mencionan que la EB evalúa la calidad de un residuo orgánico como sustrato para el cultivo de hongos. La EB de los sustratos indirectamente indica la idoneidad de los sustratos para el cultivo de determinadas cepas de hongos. Cuanto mayor sea el valor de este parametro, mayor será la idoneidad del sustrato para el cultivo de la cepa en particular de hongo (Ragunathana y Swaminathan, 2003). Una EB adecuada debe estar alrededor o más del 100% según lo afirman Bermúdez *et al.* (2002).

La EB acumulada por cosecha para cada cepa se muestra en el Cuadro 11. Se observó que en la primera cosecha se obtuvieron los mayores niveles que van del 50-65% del total de la produccion, encontrandose una disminucion en dicho parámetro de aproximadamente el 30% para la segunda cosecha en todas las cepas. Por lo tanto se alcanzó en las dos primeras cosechas más del 80% de la producción total. Esta tendencia a sido encontrada por varios autores quienes reportan que en la primera cosecha se puede obtener mas del 50% de la producción del cultivo (Pérez y Mata, 2005; Garzón y Cuervo, 2008; Andrino *et al.*, 2011); y en las dos primeras cosechas se puede alcanzar mas del 80% de la producción total de hongos (Velázquez-Cedeño *et al.*, 2002; Bernabé-González *et al.*, 2004; Gaitán-Hernández *et al.*, 2009). De manera general, se podría inferir que los altos valores de productividad mostrados en las primeras cosechas son debidos, en gran parte, a una mayor concentración de nutrientes presentes en el sustrato durante el desarrollo de los primeros carpóforos y dichos nutrientes disminuyen progresivamente conforme aumenta el número de cuerpos fructíferos y cosechas. Esto coincide con lo que mencionan Naraian *et al.* (2011) para *P. florida* y *P. sajor-caju*, estos

autores cuando compararon los rendimientos de tres cosechas obtenidas observaron una reducción continua. La primera cosecha dio rendimientos más altos y los más bajos en la tercera, sugirieron que esto podría deberse por la disponibilidad de nutrientes simples de fácil acceso para el micelio del hongo, seguido por una pérdida gradual en el contenido de estos nutrientes.

Cuadro 11. Valores promedio de la Eficiencia Biológica (EB) acumulada en las tres cosechas realizadas para las tres cepas utilizadas.

<b>Tratamiento</b>	<b>1ª cosecha</b>	<b>2ª cosecha</b>	<b>3ª cosecha</b>
<b>SEC</b>	EB (%) ± ESM	EB (%) ± ESM	EB (%) ± ESM
<b>Bagazo</b>	24.1 ± 3.0	41.8 ± 4.6	54.7 ± 5.7
<b>75-25%</b>	39.8 ± 1.5	63.6 ± 1.8	74.9 ± 2.5
<b>50-50%</b>	52.4 ± 2.5	80.3 ± 3.5	95.2 ± 4.3
<b>25-75%</b>	66.5 ± 4.6	90.9 ± 5.4	107.6 ± 5.9
<b>Paja</b>	70.0 ± 2.2	113.7 ± 2.5	137.2 ± 2.5
<b>UAP9</b>			
<b>Bagazo</b>	56.2 ± 5.1	75.7 ± 5.6	85.8 ± 5.5
<b>75-25%</b>	49.2 ± 4.4	69.2 ± 5.0	78.2 ± 5.1
<b>50-50%</b>	66.8 ± 2.5	91.9 ± 3.0	102.8 ± 3.5
<b>25-75%</b>	78.0 ± 3.6	109.5 ± 3.3	125.7 ± 3.5
<b>Paja</b>	98.7 ± 7.0	137.0 ± 6.7	154.3 ± 7.6
<b>SAUA</b>			
<b>Bagazo</b>	44.1 ± 3.1	60.8 ± 3.6	69.4 ± 4.3
<b>75-25%</b>	45.2 ± 2.7	63.7 ± 2.4	77.7 ± 2.2
<b>50-50%</b>	57.4 ± 3.8	80.4 ± 5.2	92.3 ± 5.7
<b>25-75%</b>	72.4 ± 2.9	99.6 ± 2.7	113.7 ± 3.1
<b>Paja</b>	80.3 ± 3.7	115.1 ± 4.7	133.8 ± 4.9

La Eficiencia Biológica total (%EB) para las tres cepas de *Pleurotus* spp. sobre cada tratamiento, se muestra en la Figura 9. El análisis estadístico (ANOVA de dos vías) mostró que existen diferencias significativas entre las cepas en estudio, la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan, a un nivel de significación de 0.05, permitió identificar 2 grupos, en el primero (A) se encuentran las cepas SEC y SAUA y en el segundo grupo (B) se encuentra la cepa UAP9 la cual presenta los valores mas altos (86% a 154%) que las dos cepas anteriores (55% a 137%). A partir de estos resultados se pudo notar que el híbrido (SAUA) no superó a sus parentales en este parámetro de productividad. Este comportamiento podría deberse a factores ambientales y/o genéticos.

Los datos obtenidos concuerdan con lo encontrado por Bran *et al.* (2006) para *P. djamor* y *P. ostreatus* sobre pulpa de café y olote de maíz, quienes reportan que los dicariones a partir de sus parentales no los superaron. Estos autores sugirieron que ya que las cepas fueron evaluadas por separado y bajo condiciones ambientales de cultivo artesanal, se asume que la

disminución en la productividad de algunas cruzas se debió a factores genéticos y/o ambientales, ya que la heterogeneidad de alelos presentes en el proceso de selección y la gran variabilidad en la temperatura y humedad en los módulos artesanales de producción, probablemente no permitieron la expresión de información genética, para la producción apropiada de los basidiomas. Salmones, *et al.* (1997) también mencionan que las cruzas tuvieron menor EB que sus parentales, ellos asumen que la disminución en la productividad de las cruzas se debió a más a factores genéticos que ambientales, ya que la heterogeneidad de alelos presentes en el proceso de selección, probablemente permitió la expresión de información genética desfavorable a la producción de los basidiomas.

El análisis de varianza (ANOVA de dos vías) sobre la Eficiencia Biológica total reveló diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, el post hoc de Duncan mostró la formación de 4 grupos, las tres cepas tuvieron el mismo comportamiento (Figura 9). Se puede notar que existe una relación clara entre la EB y el contenido de los sustratos base (bagazo de yucca y paja de trigo). En general se observó que la tendencia de los valores de EB total incrementa con respecto aumenta la cantidad de paja de trigo que se tiene en el tratamiento, siendo el control (paja de trigo) el mejor sustrato (134% a 154%) y que pertenece al grupo 4 (d), y los tratamientos con mayor cantidad de bagazo de yucca (al 100% y 75%) los peores sustratos (55% a 86%) formando el primer grupo (a), mientras que las mezclas al 50% (92% a 103%) y al 25% (108% a 126%) de bagazo de yucca tuvieron valores intermedios y se localizan en el grupo 2 (b) y 3 (c) respectivamente.

Se ha reportado una EB sobre paja de trigo que va del 115% al 162% para diferentes especies y cepas de *Pleurotus* en 3 cosechas realizadas (Aguilar-Rivera y De Jesús-Merales, 2010; Romero *et al.*, 2010; Sánchez y Royse, 2001), estos valores son similares a los obtenidos en este trabajo (134% a 154%), lo que corrobora que el sustrato paja de trigo funge como control en el estudio. Corroborando que para el cultivo de *Pleurotus spp.* la paja de trigo es el mejor sustrato como lo afirman Iqbal *et al.* (2005) y Kumari y Achal, (2008) y agregan que este material presenta las ventajas de uso por su disponibilidad y economía. El bagazo de maguey tequilero y bagazo de caña de azúcar han sido utilizados en el cultivo de especies de *Pleurotus*, con una Eficiencia Biológica del 65% al 93 y del 42% al 71% respectivamente (Guzmán-Dávalos *et al.*, 1987a y b; Aguilar-Rivera y De Jesús-Merales, 2010; Soto Velasco *et al.*, 1989; Baena, 2005). Las EB obtenidas para el bagazo de yucca solo en este estudio están dentro del intervalo reportado en la literatura para bagazos.

Del Pilar Rios *et al.* (2010) mencionan que una EB se percibe como aceptable a partir del 50%, ya que este es el valor mínimo como referencia para el cultivo comercial de *P. ostreatus*, a partir de este valor un cultivo de hongos comienza a ser económicamente rentable. Al respecto se ha encontrado que normalmente en el emprendimiento comercial los valores de EB

en paja de trigo varían entre 50% y 100% (Fracchia *et al.*, 2009). Por tanto, con base a lo que citan estos autores los tratamientos con mayor cantidad de bagazo son propensos al cultivo comercial, mientras que los tratamientos con altas cantidades de paja de trigo son excelentes para el cultivo. También se pudo observar que los valores más altos de EB sobrepasan el 100% (tratamientos 4 y 5), en un rendimiento biológico obtener estos valores es inverosímil. Sin embargo, Croan, (2000) para *Pleurotus spp.* obtuvo de 300% a 500% de EB, y sugieren que esto es debido a que la mayoría de los hongos frescos contienen aproximadamente el 90% de agua, por tanto es posible que sea superior al 100% la EB.

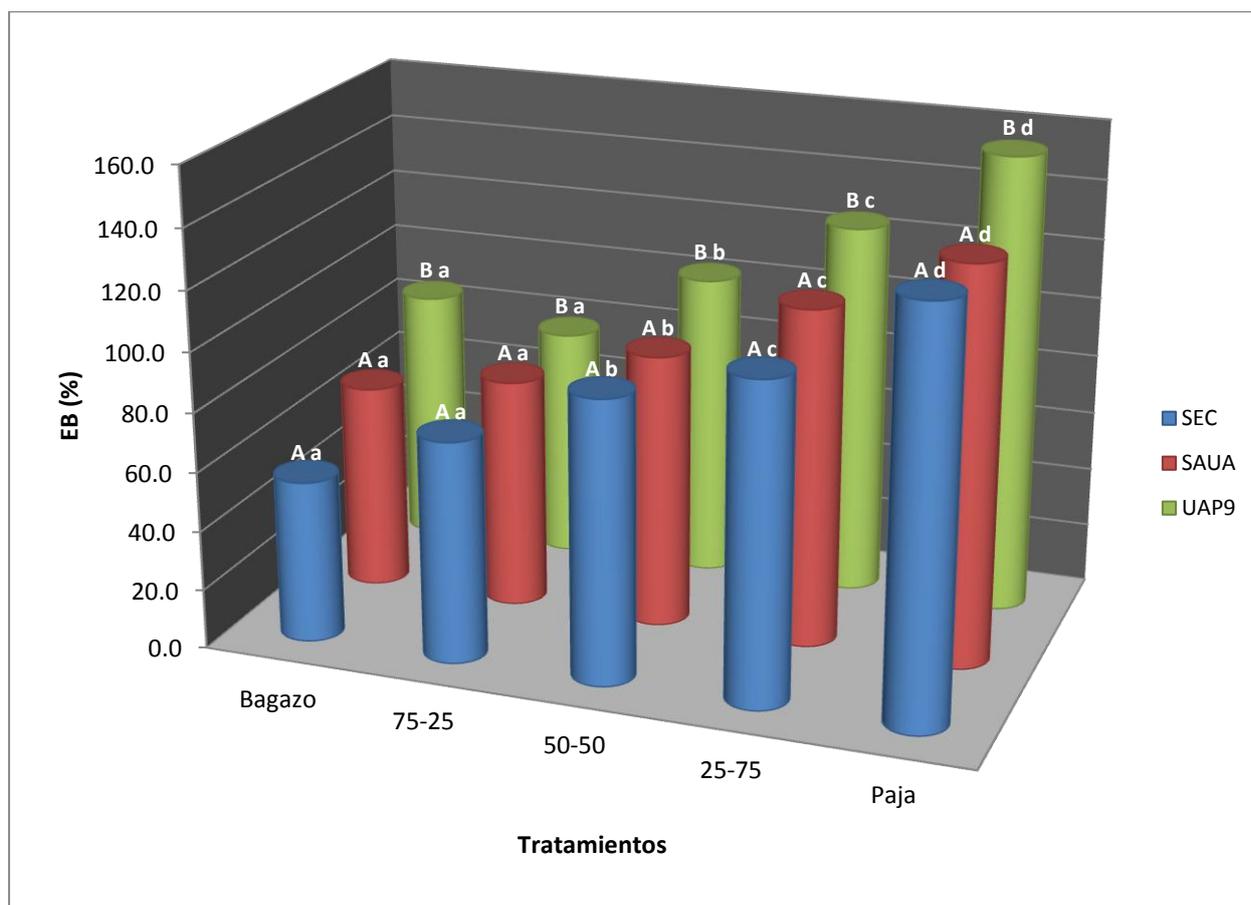


Figura 9. Valores promedio de la Eficiencia Biológica total (%EB) para las tres cepas utilizadas.

La tendencia encontrada en este estudio coincide con lo citado por Sivrikaya y Peker, (1999) para *P. florida* sobre cáscara de nuez (CN) y paja de trigo (PT). Cuando se tiene mayor cantidad de PT (75%) se tiene mayor EB (110%), mientras que CN sola (100%) presenta la EB más baja (67%) y no existía mucha diferencia entre los cultivos con poca y mediana paja; PT al 25% con EB de 100%; PT al 50% con EB de 94%. Los autores mencionan que esto puede atribuirse a las propiedades del co-sustrato más allá de los contenidos del principal sustrato.

Por tanto, según los datos encontrados en el presente estudio la adición de hasta 50% de bagazo de yuca produce buenos valores de EB.

Las variaciones en la EB para *Pleurotus spp.* se pueden atribuir a las diferencias biológicas, químicas y físicas entre los sustratos de cultivo y por el genotipo de las setas (Dündar y Yildiz, 2009). Así como por las condiciones de cultivo (Tisdale *et al.*, 2006). A continuación se discuten los factores involucrados en este fenómeno.

El control (paja del trigo) presentó una humedad del 81.5% y el bagazo de yuca una humedad del 69.4%, la adición de paja de trigo indujo un ligero aumento de humedad (72.5%, 75.4% y 78.5% a 25%, 50% y 75% de paja de trigo). El contenido de humedad que mostraron los tratamientos se encontró en el rango óptimo para el cultivo que es de 70-80% (Sánchez y Royse, 2001). En el presente trabajo se halló una correlación positiva entre el aumento de humedad (capacidad de retención de agua) en el sustrato y la obtención de mayores EB, esto concuerda con lo que han encontrado otros autores para diversas especies del género *Pleurotus* sobre distintos sustratos de cultivo, ya que afirman que a mayor capacidad de retención de agua inicialmente en los sustratos se obtiene mayor producción (Das y Mukherjee, 2007; Rajak *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2001; Bermúdez *et al.*, 2001; Bernabé-González *et al.*, 2004; Mamiro y Mamiro, 2011). Cayetano-Catarino y Bernabé-González (2008) mencionan que en vista de esta relación, es probable que el sustrato con poca retención requiera de más tiempo de hidratación para aumentar la humedad y con ello la producción. Es importante destacar que a lo largo del experimento el bagazo de yuca mostró una rápida desecación y esto podría mermar el rendimiento. Por su parte, Shashirekha y Rajarathnam (2007) reportan que la médula de bonote, debido a su alto grado de porosidad es propensa a la rápida deshidratación, lo cual se traduce en una pobre colonización y baja productividad de *P. florida*.

La paja del trigo mostró un pH de 6.8, mientras que el bagazo de yuca un valor de pH de 5.7, la adición de bagazo indujo una ligera reducción de pH (6.5, 6.3 y 6.0 a 25%, 50% y 75% de bagazo). Las mediciones obtenidas se encuentran dentro del rango óptimo de crecimiento para el género *Pleurotus* (5.5-6.5), según lo afirmado por Stamets (2000) citado por Narh *et al.* 2011.

Otro factor de sumo interés es el tamaño de partícula del material utilizado como sustrato, esta propiedad está estrechamente relacionada con la compactación del mismo y la adecuada aereación de este durante el cultivo. Espinosa-Valdemar *et al.* (2011) mencionan que el tamaño de partícula después de la molienda influye en la EB obtenida para *P. ostreatus* sobre pañales desechables y paja de trigo. Cuando un tamaño de partícula es inadecuado se produce la compactación del material, afectando el intercambio de gases, provocando condiciones adversas al crecimiento y rendimiento del hongo (Graciano *et al.*, 2009; Liang *et al.*, 2009; López-Rodríguez *et al.*, 2008). El fenómeno de compactación se pudo observar en el bagazo

de yucca, sin embargo, cuando se mezcló con paja de trigo la compactación disminuyó, mejorando las condiciones del desarrollo del hongo. Resultados parecidos se reportan por otros autores para *Pleurotus spp.* en distintos residuos agroindustriales (Fracchia *et al.*, 2009; Bernabé-González *et al.*, 2004). Por ejemplo, Ruihong *et al.* (2002) reportaron que el tamaño de las partículas tiene un efecto en el intercambio de aire entre los espacios del sustrato dentro de la bolsa con el exterior. Ellos encontraron en *P. sajor-caju* que al reducir el tamaño de partícula del sustrato se pudo dar una compactación del sustrato en la bolsa, por lo que el intercambio de aire se dificultó especialmente cuando las bolsas estuvieron cerradas; favoreciendo aumentos en las concentraciones de CO<sub>2</sub> presumiblemente producidas por el hongo y disminución del O<sub>2</sub> dentro del sustrato lo que tendría un efecto inhibitorio en el desarrollo del hongo.

Por otro lado, la pasteurización es un tratamiento del material muy importante, ya que con este se pretende eliminar los contaminantes presentes en el sustrato y permitir la adecuada colonización y desarrollo de *Pleurotus spp.* Al respecto Shashirekha y Rajarathnam (2007) mencionan que este proceso no es el mismo para todos los sustratos, ya que encontraron que la medula de bonote requiere un grado relativamente alto de tratamiento térmico (70°C durante 20 min), para efectuar el control de la contaminación, posiblemente debido a la manipulación imprudente del material, comparado con la necesidad del tratamiento de la paja de arroz (60°C durante 10min) en el crecimiento de *P. florida*. Kumari y Achal (2008) reportan que se percibe una alta contaminación en las hierbas de césped, lo cual repercute en la producción, y esto se podría atribuir a la inadecuada pasteurización del material. El bagazo de yuca en este estudio presentó mayor tasa de contaminación que la paja de trigo, posiblemente por la alta carga de bacterias y hongos y la incorrecta pasteurización del bagazo, lo que provocó una disminución en la productividad del cultivo. El bagazo de yuca a su vez mostró menor colonización del micelio, permitiendo el ataque de organismos competidores por el sustrato y probablemente esto ocasionó una obtención menor de EB en el bagazo, por otro lado la paja de trigo se vio colonizada más rápido y con mayor abundancia por el micelio, lo que favoreció al desarrollo del hongo y su producción. Los bajos valores de EB obtenidos en el bagazo de yuca al 100% y 75%, posiblemente se podrían mejorar si se aplica un proceso de fermentación aerobia al material. Si bien la fermentación permite tener un sustrato selectivo y reducir el riesgo de contaminación durante el cultivo, este proceso genera mayores costos en mano de obra e instalaciones y exigen más tiempo en la preparación del sustrato (Moda *et al.*, 2005).

Las condiciones ambientales del sitio de cultivo no fueron controladas y esto pudo influir en la variación de la EB. Aunque dirigida por las características genéticas, la síntesis celular de los hongos es controlada por factores del ecosistema tales como la luz, temperatura y humedad relativa (Bermúdez *et al.*, 2003). Garzón y Cuervo (2008) atribuyeron las diferencias

de productividad a que la temperatura del lugar en donde se efectuó el cultivo no fue constante, sino que osciló entre 7°C y 34°C. Vogel y Salmones (2000), mencionan que *P. ostreatus* tiene su temperatura óptima alrededor de 19°C, mientras que *P. pulmonarius* presenta su óptimo en 25°C y encontraron los autores que cuando se mantiene la temperatura adecuada para cada especie estas generan mayores valores de EB, por tanto la temperatura juega un rol de suma importancia en la producción. Por otro parte, Bermúdez *et al.*, 2002 reportan para *P. ostreatus* sobre residuos de cacao que la calidad y cantidad de luz que recibe el hongo en su fase de fructificación para la formación y maduración de los cuerpos fructíferos es un factor importante en la EB. La exposición del hongo a la luz a tiempos menores de 12h disminuye la EB en un 68%. Los cultivos expuestos a 4h y 8h de luz no desarrollaron completamente el cuerpo fructífero, mientras que el grupo expuesto a 12h evidenció un desarrollo normal de los hongos. Este comportamiento se atribuye al hecho de que en la oscuridad se manifiestan fenómenos de etiolación: el estípite de los cuerpos fructíferos se alarga y el píleo se reduce.

La composición química del bagazo de yuca aún no se conoce. Sin embargo, es de esperar que muestre cierta similitud con la mayoría de los desechos agrícolas que se utilizan en la producción del hongo, y por lo tanto el bagazo puede ser un sustrato atractivo para el cultivo de *Pleurotus spp.*

En el presente estudio se observó que el rendimiento fue bajo cuando se tenían altas concentraciones de bagazo de yuca en el sustrato de cultivo (tratamiento 1 y 2), y conforme aumentaba la paja de trigo en el tratamiento también lo hacía la EB. Apartir de estos resultados y como no se tienen datos de la composición química de los sustratos se podrían formular dos hipótesis que expliquen la tendencia obtenida. Por un lado, esto probablemente sea el resultado de la insuficiente cantidad de nitrógeno en el bagazo de yuca. Al respecto Adebayo *et al.* (2009), encontraron que para *P. pulmonarius* se tiene un alto rendimiento en residuos de algodón (RA) (100%), mientras que en cáscara de yuca la productividad no fue buena (CY) (100%), observaron que la EB disminuye gradualmente a medida que la concentración de RA es reducida, el RA mostró ser mejor sustrato que CY debido a que el contenido de nitrógeno es superior en RA (5.67%) que en CY (4.44%). Otros autores han afirmado que existe una correlación positiva entre la cantidad de nitrógeno en el sustrato con la EB obtenida (Sánchez *et al.*, 2008; Bermúdez *et al.*, 2007; Fanadzo *et al.*, 2010; Tisdale *et al.*, 2006; Dündar A. y Yildiz, 2009; Kurt y Buyukalaca, 2010; Mane *et al.*, 2007).

Por otro lado, la baja productividad en el bagazo de yuca, se podría atribuir posiblemente a un exeso de nitrógeno que desfavorece el crecimiento micelial y promueve la contaminación del sustrato, reduciendo con esto la EB obtenida en el material. Royse (2002) afirma que la respuesta del rendimiento no es lineal en relación con los niveles crecientes de nitrógeno. Wang *et al.*, 2001 reportan que cuando se excede el nivel de nitrógeno en el sustrato se reduce

la EB. El efecto negativo sobre la producción se puede atribuir al aumento del riesgo de contaminación, anaerobiosis y antibiosis del sustrato (Mandeeel *et al.*, 2005; Fanadzo *et al.*, 2010), así como al sobrecalentamiento (termogénesis) del sustrato suficiente para matar el micelio (Naraian *et al.*, 2009; Mamiro y Mamiro, 2011).

Así mismo, a partir de la tendencia encontrada para los datos de EB y como no se tiene la composición química de los sustratos se podrían enunciar dos hipótesis que expliquen la disposición obtenida. Por una parte, se debe probablemente a la cantidad alta de azúcares simples en el bagazo de yuca. Vetayasuporn (2007b) encontró una alta cantidad de azúcares de fácil degradación retenidos en el bagazo de caña utilizado como sustrato para el crecimiento de *P. ostreatus*. Salmones *et al.* (2005) reportan que la pulpa de café presentó una cantidad abundante de azúcares libres en el sustrato de cultivo para *P. djamor*, *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*. Si bien estos autores afirman que los azúcares simples son una excelente fuente de carbono y correlacionan positivamente estos compuestos con el crecimiento y desarrollo de *Pleurotus*, se encontró en este estudio que debido a la inadecuada pasteurización estos compuestos de fácil digestión fueron utilizados por los microorganismos competidores por el sustrato, retardando la colonización del micelio, evidenciando mayor contaminación de material y a la postre influyendo de manera negativa en la EB. Moda *et al.* (2005) proponen el lavado como un método alternativo para descartar los contaminantes biológicos en el sustrato y prescindir de la pasteurización para la producción de *P. sajor-caju*. Estos autores encontraron que el contenido de sólidos solubles fue 16.5° Brix en bagazo de caña fresco, 1.8° Brix en bagazo pasteurizado y 0.3° Brix en bagazo lavado y sugieren que la baja cantidad de sólidos solubles (en especial azúcares simples) por lavado, es importante para reducir la contaminación.

Por otra parte, la baja EB en bagazo de yuca se debe probablemente a la cantidad elevada de lignina o compuestos de difícil degradación como extractivos (fenoles o resinas) Rani *et al.* (2008) para *P. eous* sobre paja de arroz, tallo de sorgo y pseudotallo de plátano encontraron la máxima EB (55.49%) en paja de arroz, y la menor en pseudotallo de plátano (30.00%), atribuyeron este comportamiento a la mayor cantidad de lignina en el pseudotallo de plátano con respecto a la paja de arroz.

Posiblemente el bagazo de yuca presenta valores bajos de lípidos en su composición química y esto afecta de manera negativa la producción de curepos fructíferos. Así mismo, probablemente el bagazo de yuca no cuenta con la cantidad de minerales necesarios para apoyar la metabolización del hongo en sus diferentes etapas, lo que se traduce en una pobre EB.

### 7.1.2. Tasa de producción (%TP)

La Tasa de Producción (TP) se determinó al dividir la Eficiencia Biológica (EB) por el ciclo total de producción, que comprende el número de días transcurridos desde la inoculación del sustrato hasta alcanzar la tercera cosecha. En este sentido la TP nos indica la Eficiencia Biológica diaria. El tiempo de incubación es inversamente proporcional, mientras que el número de cosechas son proporcionalmente correlacionadas con la TP (Mandeel *et al.*, 2005).

La TP acumulada por cosecha para cada cepa se muestra en el Cuadro 12. Se observó que en la segunda cosecha se lograron los valores más altos de TP para las tres cepas en cada uno de los tratamientos (1.28% a 4.82%), posteriormente en la tercera cosecha (final del cultivo) se tiene una disminución significativa mostrando los valores mas bajos (0.79% a 2.35%), incluso menores a la primera cosecha. Romero *et al.* (2010) y Sánchez *et al.* (2008) informan que una TP alta indica una elevada EB en un ciclo corto de producción, desde la inoculación hasta la última cosecha. Bermúdez *et al.* (2007) mencionan que en el cálculo de la TP interviene el tiempo de cultivo, el cual es necesario disminuir para reducir los costos de producción. Es importante destacar que a partir de estos resultados se puede inferir que el cultivo se podría finalizar en la segunda cosecha, ya que la tercera cosecha no representa rentabilidad en el proceso, por que se obtiene una menor producción en un tiempo mas largo, limitando el espacio utilizable para el cultivo.

La Tasa de Productividad total (%TP) para las tres cepas de *Pleurotus* spp. sobre cada sustrato, se presentan en la Figura 10. Al realizar la prueba de ANOVA de dos vías se obtuvieron diferencias significativas entre las cepas, la prueba a posteriori de Duncan clasificó dichas diferencias en 2 grupos, en donde el primero (A) estuvo conformado por las cepas SEC y SAUA, en el segundo grupo (B) se encuentra la cepa UAP9 la cual exhibe los valores mas altos (1.02% a 2.35%) que las dos cepas anteriores (0.79% a 2.02%). A partir de estos resultados se puede resaltar que el híbrido (SAUA) no superó a sus parentales en este parámetro de productividad. La cepa UAP9 presentó un ciclo de producción promedio de 71.0 días, la cepa SEC de 71.9 días y la cepa SAUA (híbrido) de 75.7 días. Se puede notar que las cepas parentales tienen un tiempo de cultivo total similar, mientras que el híbrido muestra un tiempo mas extenso. Este comportamiento podría deberse a factores ambientales del cultivo y genéticos de las cepas. Debe de considerarse que las cepas con que se trabajó en el presente estudio son de diferentes procedencias y no se conoce su especie y cada cepa podría tener diferente requerimientos nutricionales y por tanto, distintos ciclos de producción, lo que está relacionado con el tiempo que tardan las cepas del género *Pleurotus* en degradar el sustrato y afecta el valor de TP.

Cuadro 12. Valores promedio de la Tasa de Produccion (%TP) acumulada en las tres cosechas realizadas para las tres cepas utilizadas.

Tratamiento	1ª cosecha	2ª cosecha	3ª cosecha
SEC	TP ± ESM	TP ± ESM	TP ± ESM
<b>Bagazo</b>	0.82 ± 0.12	1.28 ± 0.16	0.79 ± 0.09
<b>75-25%</b>	1.19 ± 0.06	1.84 ± 0.07	1.00 ± 0.04
<b>50-50%</b>	1.66 ± 0.08	2.43 ± 0.11	1.30 ± 0.05
<b>25-75%</b>	2.11 ± 0.15	2.89 ± 0.16	1.47 ± 0.08
<b>Paja</b>	2.33 ± 0.09	3.59 ± 0.12	2.02 ± 0.07
<b>UAP9</b>			
<b>Bagazo</b>	2.18 ± 0.22	2.71 ± 0.22	1.31 ± 0.09
<b>75-25%</b>	1.56 ± 0.17	2.15 ± 0.22	1.02 ± 0.07
<b>50-50%</b>	2.27 ± 0.08	3.19 ± 0.11	1.43 ± 0.06
<b>25-75%</b>	2.74 ± 0.14	3.77 ± 0.17	1.78 ± 0.09
<b>Paja</b>	3.48 ± 0.34	4.82 ± 0.38	2.35 ± 0.18
<b>SAUA</b>			
<b>Bagazo</b>	1.32 ± 0.13	1.94 ± 0.14	0.96 ± 0.07
<b>75-25%</b>	1.24 ± 0.06	1.94 ± 0.08	0.97 ± 0.03
<b>50-50%</b>	1.62 ± 0.13	2.43 ± 0.16	1.21 ± 0.07
<b>25-75%</b>	2.05 ± 0.13	3.09 ± 0.11	1.53 ± 0.04
<b>Paja</b>	2.21 ± 0.13	3.44 ± 0.13	1.80 ± 0.07

Las medidas en este trabajo son mayores a las reportadas por Salmones *et al.* (1997) quienes encontraron valores de TP de 0.34 a 1.68% para *P. djamor*, de 0.48 a 1.38% para *P. ostreatus* y de 0.31 a 1.3% para *P. pulmonarius* los cuales fueron cultivados sobre paja de cebada en 2-5 cosechas, y similares a lo citado por Pérez y Mata (2005) quienes reportan valores de TP para *P. pulmonarius* y *P. ostreatus* sobre viruta de pino y paja de cebada en 3 cosechas que van de 0.63% a 2.46%. Salmones *et al.* (2004) obtuvieron una mayor TP en las cruas de *P. djamor* (1.22-1.90%) que sus parentales (0.89-1.44%) sobre paja de cebada en 3-5 cosechas. Dundar *et al.* (2008), informan que el tiempo total de producción en 3 cosechas fue de 67.5 días para *P. sajor-caju*, 82.6 días para *P. ostreatus* y 85.3 días para *P. eryngii* crecidos en tallo de trigo. García *et al.* (2006) observaron tiempos de cultivo en 3-4 cosechas para *Pleurotus sp.* sobre pulpa de café de 45 a 60 días con un intervalo de TP de 0.62-4.50%. En general los datos obtenidos en el presente estudio concuerdan con lo reportado por los diferentes autores citados, corroborando que la TP total obtenida se encuentra en los parámetros de productividad deseables.

La TP es la relación existente entre la EB y el ciclo de cultivo, lo cual indica que aquellos tratamientos que presenten valores similares de EB también presentarán valores similares de TP siempre y cuando el tiempo de fructificación sea muy similar entre ellos, por lo tanto, de la misma forma que sucedió con la Eficiencia Biológica total (EB) en general y como se muestra

en la Figura 10, se observó que la tendencia de los datos de Tasa de Producción total (TP) es aumentar con respecto incrementa la cantidad de paja de trigo que se tiene en el tratamiento. Se presentaron diferencias significativas con el ANOVA de dos vías entre los sustratos, la prueba de Duncan muestra la formación de 4 grupos, el cultivo en paja de trigo (control) arrojó los valores mas altos de TP (1.80% a 2.35%) localizándose en el cuarto grupo (d), la TP mas baja se dio cuando se tenían altas cantidades de bagazo de yuca en el sustrato (0.79% a 1.31%) siendo los tratamientos 1 y 2 los que conformaron el primer grupo (a), mientras que los tratamientos 3 y 4 presentaron TP intermedias (1.21% a 1.78%), perteneciendo al grupo dos (b) y tres (c) respectivamente. Las variaciones de TP indican que la producción de carpóforos diarios en los tratamientos fue heterogénea. Esta tendencia generalizada se puede deber a que los valores se obtienen de una relación directa con la Eficiencia Biológica y por lo tanto se ve afectada por los mismos factores. El ciclo de producción para el bagazo de yuca (solo) fue de 69.5, mezcla 75-25% de 77.6, mezcla 50-50 de 74.0, mezcla 25-75 de 73.1 y paja de trigo (control) de 70.2 días. El período de cultivo fue menor en el tratamiento 1, seguido por el tratamiento 5 y las mezclas presentaron periodos mas elevados, lo anterior se ve compensado con el porcentaje de EB ya que fue mayor en las mezclas con respecto al sustrato que solo tubo bagazo.

La tendencia encontrada es similar a lo reportado por Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010), para *Pleurotus spp.* sobre paja de trigo como sustrato principal, sustituido con residuos de molino de oliva (OMW de 25 a 100%), estos autores hallaron un perfil equivalente cuando EB y TP se trazaron. Con 25-50% de OMW en la mezcla la TP fue parecida a la obtenida en paja de trigo (1.75% a 2.00%), con más de 50% de OMW se redujo la TP directamente conforme el OMW se adicionaba al sustrato (1.85% a 0.65%), incluso llego a ser cero (0%) cuando se sustituyo por completo la paja de trigo por los OMW. Algo similar encontraron Lara *et al.* (2002) para *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* sobre bagazo de maguey tequilero como sustrato principal adicionado con masilla de cerveza (grano gastado) a diferentes proporciones. Romero *et al.* (2010) reportan una TP en paja de trigo de 2.08% a 2.20% para *P. ostreatus* en 3 cosechas. Los valores obtenidos para el mismo sustrato en el presente trabajo concuerdan con lo citado por los autores y por tanto la paja de trigo sirvió como un referente de productividad. La baja producción del bagazo de yuca se vio mejorada en las mezclas, de la misma forma lo mencionan Bermúdez *et al.* (2007) quienes en una relación 1:1 de viruta de cedro y pulpa de café obtubieron valores mas elevados (1.31-2.32%) con respecto a la viruta de cedro sola (1.07-1.60%) para *Pleurotus sp.* En la fase de incubación se observó una menor colonización del micelio, tanto en densidad como en abundancia, con altas concentraciones de bagazo de yuca presente en el tratamiento (a 100% y 75%), lo que genero menos biomasa y a la postre probablemente afecto negativamente la producción.

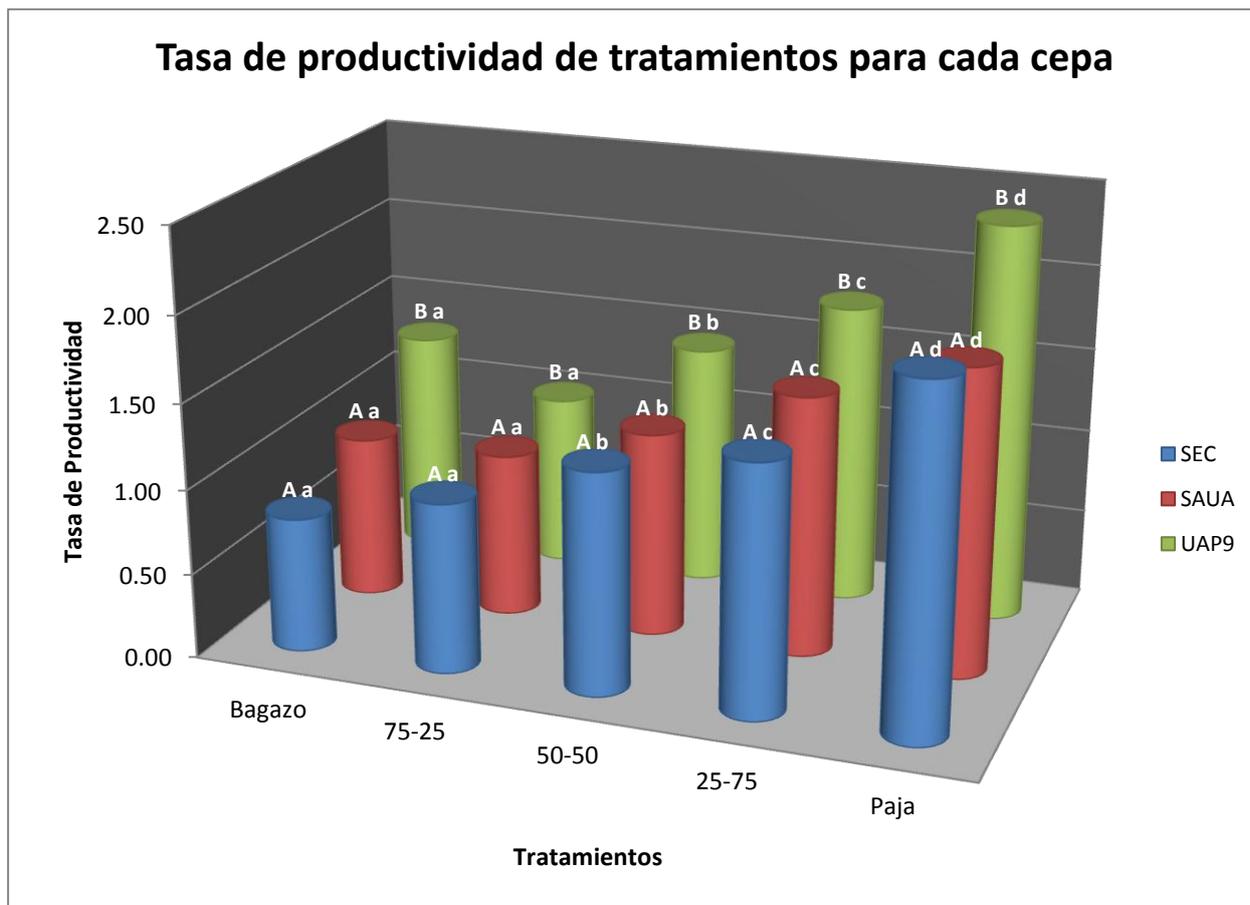


Figura 10. Valores promedio de la tasa de producción total (TP) para las tres cepas utilizadas.

### 7.1.3. Rendimiento (%R)

El rendimiento se calculó dividiendo el peso fresco de los hongos cosechados entre el peso del sustrato húmedo utilizado en el cultivo. De igual forma que en la Eficiencia Biológica en el Rendimiento (R) se observó que en las dos primeras cosechas se alcanzó más del 80% de la producción total del cultivo (Cuadro 13), en todas las cepas fructificadas. Otros autores han reportado de datos similares ya que han logrado alcanzar en las dos primeras cosechas de *Pleurotus spp.* más del 80% de la producción total (García *et al.*, 2006; Gaitán-Hernández y Salmones, 2008).

El Rendimiento total (%R) para las tres cepas de *Pleurotus spp.* sobre cada tratamiento, se muestran en la Figura 11. El análisis comparativo de medias entre las cepas, mostró que existen diferencias significativas, el post hoc de Duncan reveló la formación de 2 grupos, en el primero (A) se sitúan las cepas SEC y SAUA y en el segundo grupo (B) se encuentra la cepa UAP9 la cual presenta mayores valores (21.1% a 27.4%) con respecto a las dos cepas del grupo uno (17.1% a 25.6%). A partir de estos resultados se pudo notar que el híbrido (SAUA) no superó a sus parentales en este parámetro de productividad. Los datos obtenidos en el presente trabajo son ligeramente superiores a los encontrados por Salmones *et al.* (2004)

quienes reportan para *P. djamor* sobre paja de cebada en 3-5 cosechas, que el rendimiento de las cepas parentales fue menor (11.5-17.4%) en comparación a lo obtenido en las cruas (17.5-26.9%). Para la especie *P. eryngii* sobre el mismo sustrato en 2 cosechas, se alcanzó un rendimiento de 14.87% a 17.27% (Gaitán-Hernández, 2005). Idareta *et al.* (2004), para *P. ostreatus* sobre paja hidrolizada en 3 cosecha, obtienen un rendimiento de 12.4 al 21.6%. Larraya *et al.*, 2003 citan que la localización de una región genómica en el cromosoma VII esta directamente relacionada con los incrementos en la producción de setas.

Cuadro 13. Valores promedio del rendimiento (R) en las tres cosechas realizadas y el total para las tres cepas utilizadas.

Tratamiento	1ª cosecha	2ª cosecha	3ª cosecha
SEC	R ± ESM	R ± ESM	R ± ESM
<b>Bagazo</b>	7.6 ± 0.9	13.1 ± 1.4	17.1 ± 1.7
<b>75-25%</b>	11.2 ± 0.4	17.9 ± 0.5	21.1 ± 0.6
<b>50-50%</b>	13.2 ± 0.6	20.2 ± 0.9	23.9 ± 1.1
<b>25-75%</b>	14.6 ± 1.1	19.9 ± 1.3	23.5 ± 1.4
<b>Paja</b>	13.1 ± 0.5	21.2 ± 0.5	25.6 ± 0.5
<b>UAP9</b>			
<b>Bagazo</b>	16.5 ± 1.5	22.2 ± 1.5	25.2 ± 1.6
<b>75-25%</b>	13.4 ± 1.3	18.8 ± 1.4	21.1 ± 1.4
<b>50-50%</b>	16.9 ± 0.7	23.2 ± 0.8	25.9 ± 1.0
<b>25-75%</b>	16.6 ± 0.8	23.3 ± 0.8	26.8 ± 0.9
<b>Paja</b>	17.5 ± 1.1	24.3 ± 1.1	27.4 ± 1.2
<b>SAUA</b>			
<b>Bagazo</b>	12.9 ± 0.9	17.8 ± 1.1	20.3 ± 1.3
<b>75-25%</b>	12.6 ± 0.8	18.7 ± 0.8	21.6 ± 0.8
<b>50-50%</b>	14.7 ± 1.1	20.6 ± 1.5	23.6 ± 1.7
<b>25-75%</b>	15.4 ± 0.7	21.1 ± 0.7	24.1 ± 0.8
<b>Paja</b>	14.1 ± 0.6	20.2 ± 0.8	23.4 ± 0.8

El análisis estadístico (ANOVA de dos vías) sobre el Rendimiento total mostró que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Figura 11), la comparación de medias por el procedimiento de Duncan determino la formación de 2 grupos, las tres cepas tuvieron el mismo comportamiento. El primero grupo (a) esta constituido por los sustratos con mayor cantidad de bagazo de yuca (tratamiento 1 y 2) y son los que presentan menores rendimientos (17.1% a 25.2%), mientras que en el segundo grupo (b), se localizan los sustratos con 50-75% de bagazo y el control (paja de trigo) que mostraron los mayores valores de rendimiento (23.4% a 27.4%). Esto último es de suma importancia ya que revela que a partir de la adición del 50% de bagazo de yuca al sustrato base (paja de trigo) no perjudica la productividad obtenida en el cultivo. Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010) reportan un comportamiento similar para *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* en paja de trigo con suplemento de 0-90% de

residuos de molino de oliva (OMW), estos autores mencionan que los hongos ostra pueden ser cultivados en paja de trigo con hasta un 50% de OMW sin cambios significativos en los parámetros del cultivo.

En general el Rendimiento (R) da un panorama más homogéneo y comparable entre los tratamientos que se estudiaron, esto se debe a que el valor no se pondera por ningún otro, como lo es en el caso de la Eficiencia Biológica en la cual intervenía de manera importante la humedad de cada sustrato y mezcla de estos. De tal suerte, que permite percibir que los tratamientos son cercanos al control y entre ellos, que con los otros parámetros. Cayetano-Catarino y Bernabé-González (2008), mencionan que los bajos rendimientos de ciertos tratamientos obedece a que el peso seco del sustrato fue inferior con respecto al peso seco de los demás sustratos. Por ejemplo, Vetayasuporn (2007b) encontraron para *P. ostreatus* que el aserrín tiene mayor rendimiento (536.85g) que el bagazo (360.84g) pero el bagazo es ligeramente mayor (103.56%) en EB que el aserrín (95.02%), esto es resultado de la humedad inicial del sustrato, ya que el bagazo tiene una humedad de 65% y el aserrín del 44%.

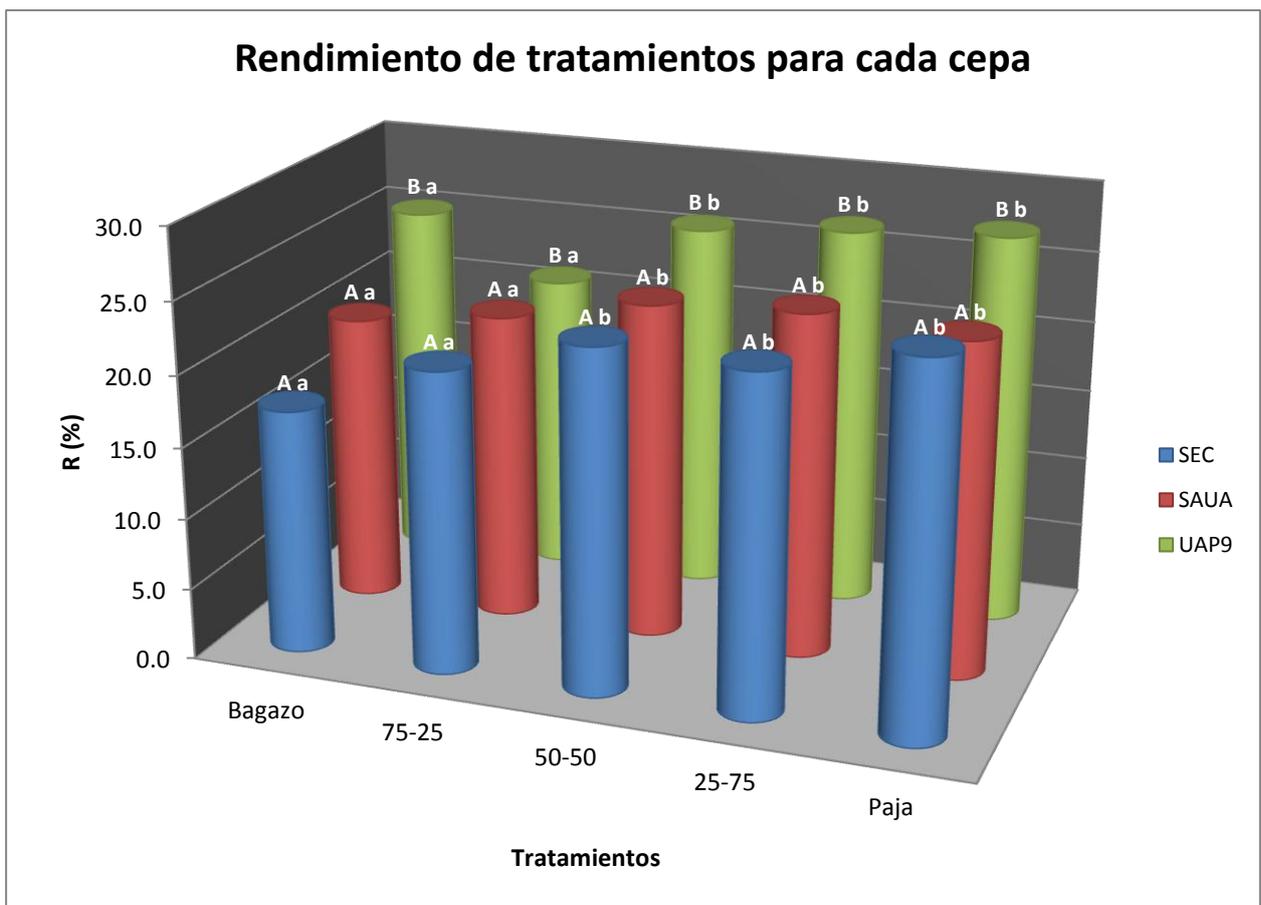


Figura 11. Valores promedio de rendimiento total (R) para las tres cepas utilizadas.

#### 7.1.4. Peso Medio

El Peso medio (Pm) se determinó como el cociente entre el peso fresco de los hongos cosechados entre el numero total de estos en cada una de las bolsas. Los datos obtenidos de Pm en tres cosechas para las cepas en estudio en los diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 14. Con respecto a este parámetro se observaron tres casos diferentes.

Para la cepa SEC (cepa comercial) se obtuvo que en la primera cosecha se generaron los mayores valores de este parámetro, seguido de la segunda y los menores datos en la tercera, por tanto se observó una correlacion negativa entre el peso de los hongos y el numero de cosechas, siendo la primera cosecha la de mayor importancia. Del Pilar-Rios *et al.* (2010) reportaron un comportamiento similar para *Pleurotus ostreatus* sobre bagazo de caña, estos autores encontraron que el peso promedio de los carpóforos disminuyó conforme se cosecharon los hongos indicando que el suministro de nutrientes fue paulatino hasta agotarse. Asi mismo, Sánchez y Royse (2001) mencionan que debido al agotamiento de los nutrientes del sustrato y la acumulación de desechos del metabolismo del hongo, alcanzando niveles limitantes para el crecimiento, la tasa de crecimiento máxima no se puede mantener y empieza a disminuir gradualmente lo cual incide en el comportamiento en la fase de fructificación, presentando diferencias entre las cosechas. Con respecto a la cepa SAUA se encontró que tanto la primera como la segunda cosecha muestran valores de peso medio muy similares, siendo estos los más altos, por tanto no se podría descartar la segunda cosecha como parámetro importante en el cultivo. Por último la cepa UAP9 presentó, en general, datos con mayor valor de peso medio para la segunda cosecha, siendo esta la de mas importancia con respecto a este parámetro.

Las productoras de hongos no solo se preocupan por la productividad y rendimiento si no también estan interesados en la calidad del producto (Lechner y Albertó, 2011). En general, se pudo notar que la tercera cosecha presenta los menores valores de peso medio siendo estos de menor calidad y aceptación para el consumidor. Por tanto, se podría inferir que si se detiene el cultivo en la segunda cosecha se obtendrían hongos de buena calidad y se ahorraría tiempo y espacio para los cultivos subsecuentes.

Los valores promedio de Peso medio total (Pm) para las tres cepas sobre los diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 14. Se puede notar que los datos reportados en el presente trabajo (8.8g a 12.5g) están ligeramente por encima de los valores informados por Onuoha y Obi-Adumanya (2010) quienes citan un intervalo de 6.0g a 8.4g para *Pleurotus tuber-reguim* crecido sobre aserrín, humus y restos de madera, y Yildiz *et al.* (1997) para *P. ostreatus* sobre distintas pajas con un intervalo de peso medio que va de 6.7g a 9.6g. Al respecto, Garzón y Cuervo (2008) para *P. ostreatus* sobre sobras de café, aserrín, tallo de maíz y bagazo

de caña de azúcar, mencionan que en todos los tratamientos entre el 67% y 98% de los cuerpos fructíferos pesaron de 1g a 15g.

Cuadro 14. Valores promedio de peso medio (Pm) en las tres cosechas realizadas y el total para las tres cepas utilizadas.

Tratamiento	1ª cosecha	2ª cosecha	3ª cosecha	Total
<b>SEC</b>	Pm ± ESM	Pm ± ESM	Pm ± ESM	Pm ± ESM
<b>Bagazo</b>	21.4 ± 6.3	12.3 ± 1.5	10.8 ± 2.2	12.5 ± 0.1 <sup>B b</sup>
<b>75-25%</b>	15.9 ± 3.2	10.4 ± 2.7	5.0 ± 0.1	8.8 ± 1.0 <sup>B a</sup>
<b>50-50%</b>	15.7 ± 3.8	8.9 ± 1.1	5.5 ± 0.4	9.3 ± 0.6 <sup>B a</sup>
<b>25-75%</b>	15.4 ± 1.3	12.8 ± 1.2	5.6 ± 0.4	11.3 ± 0.7 <sup>B a</sup>
<b>Paja</b>	13.3 ± 3.6	15.0 ± 3.1	9.1 ± 0.8	10.9 ± 1.1 <sup>B b</sup>
<b>UAP9</b>				
<b>Bagazo</b>	16.5 ± 3.6	16.2 ± 4.5	6.0 ± 0.6	11.3 ± 1.7 <sup>A b</sup>
<b>75-25%</b>	7.0 ± 1.0	16.1 ± 4.2	5.3 ± 1.4	6.7 ± 0.5 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	6.1 ± 0.7	20.0 ± 5.3	6.6 ± 0.7	6.6 ± 0.4 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	6.3 ± 0.5	15.3 ± 4.7	7.3 ± 1.5	6.8 ± 0.2 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	9.5 ± 1.1	9.3 ± 0.8	7.6 ± 1.3	8.6 ± 0.7 <sup>A b</sup>
<b>SAUA</b>				
<b>Bagazo</b>	10.2 ± 1.4	10.6 ± 2.7	5.0 ± 0.7	7.9 ± 0.4 <sup>A b</sup>
<b>75-25%</b>	13.6 ± 3.1	15.8 ± 4.1	4.7 ± 0.3	9.5 ± 1.2 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	9.3 ± 1.8	9.2 ± 0.9	7.5 ± 1.4	8.1 ± 1.0 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	9.3 ± 1.3	9.7 ± 1.5	6.7 ± 1.6	8.0 ± 0.7 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	10.4 ± 1.7	9.1 ± 0.8	5.8 ± 0.5	8.7 ± 0.9 <sup>A b</sup>

Existieron diferencias estadísticamente significativas entre las cepas, según el ANOVA de dos vías, la prueba a posteriori de Duncan clasificó dichas diferencias en dos grupos, en donde el primero (A) estuvo conformado por las cepas UAP9 y SAUA quienes presentaron los menores valores comparados con la cepa SEC quien se localizó en el segundo grupo (B). Es importante destacar que esta última cepa es de origen comercial. Los datos encontrados en el presente trabajo coinciden con lo citado por Philippoussis *et al.* (2001) quienes reportan que *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius* sobre paja de trigo, residuos de algodón y cascara de mani en 2-3 cosechas, presentaron los valores más altos de peso medio para las cepas comerciales. Algunos autores mencionan que independientemente del sustrato para su cultivo, *Pleurotus spp.* puede mostrar diferencias en el peso de los hongos atribuibles a un factor genético, así como por el metabolismo de cada semilla al provenir de cepas diferentes, lo cual incide en el comportamiento en la fase de fructificación (Varnero *et al.*, 2010; Sánchez y Royse, 2001).

Los resultados del ANOVA de dos vías mostraron que hay efecto sobre el peso medio según el tratamiento aplicado, la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan permitió identificar 2 grupos, las mezclas de los sustratos (tratamiento 2, 3 y 4) presentaron los

valores menores y se localizan en el primer grupo (a), mientras que el bagazo de yuca y paja de trigo solos (tratamientos 1 y 5) conforman el segundo grupo (b) mostrando los datos mas altos de peso medio. Las razones por las cuales los sustratos solos presentan los mayores valores de peso medio no tienen que ser las mismas, ya que estos materiales al menos tienen propiedades físicas diferentes. Por ejemplo, la paja de trigo puede favorecer a un mejor peso de hongo por el hecho de presentar mayor porosidad y menor compactación. Al respecto Chiejina y Olufokunbi (2010) mencionan para *Pleurotus tuber-regium* que el mayor peso fresco de hongos, podría ser debido a que la arena de río proporciona una buena aireación para la fructificación, también los suelos arenosos de arena de río, ofrecen menor resistencia a la ampliación de esporóforos a diferencia de los suelos compactos. Por otro lado, Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010) mencionan que *P. ostreatus* y *P. pulmonarius* a concentraciones altas de OMW dio pocos cuerpos fructíferos (10-4), pero con mayor peso, el peso total de hongos cosechados se mantuvo casi constante ya que la cantidad de cuerpos fructíferos se vio compensada por el aumento de peso fresco del hongo. Esto último podría ser la explicación del por que el bagazo de yuca también presenta hongos con peso fresco alto, incluso se podría pensar que al desarrollar menos carpóforos estos podrían tener mas nutrientes a su disposición y por tanto tener un peso considerable.

## **7.2. Características morfológicas/físicas**

Una vez cosechados los cuerpos fructíferos maduros de todas las cepas fructificadas, se determinaron las características fenotípicas de cada cosecha y los resultados de dichas determinaciones se detallan a continuación.

### **7.2.1. Tamaño del carpóforo**

Para determinar el tamaño del carpóforo se midió el ancho y largo del píleo, así como, el largo del estípite, se obtuvo un promedio de cada una de las cosechas para cada réplica de todas las cepas, para así agruparlas de acuerdo al tamaño del píleo en G1, G2, G3 ó G4 y tamaño de estípite en A y B, según Salmones *et al.* (1997). Lechner y Albertó (2011) mencionan que los agricultores de hongos no sólo están interesados en la obtención de altos rendimientos, sino también en ofrecer un buen producto de alta calidad, donde la morfología de los cuerpos fructíferos también es importante. Color, tamaño del píleo y estípite son también hechos imprescindibles de tener en cuenta cuando los agricultores seleccionan la “semilla”. En el Cuadro 15 se muestran las significancias que tubo cada parámetro de tamaño del carpóforo.

Cuadro 15. Significancia de los parametros de tamaño del carpóforo en relacion con la cepa, sustrato y la interaccion cepa x sustrato.

Causa de variacion	Valor de F		
	Dmay	Dmen	Estipite
<b>Cepa</b>	*	*	*
<b>Sustrato</b>	*	ns	ns
<b>Cepa x Sustrato</b>	*	ns	ns

Los valores promedio obtenidos para la cepa SEC presentaron para todos los tratamientos así como para las dos primeras cosechas y el total, los datos del píleo correspondieron a la categoría de tamaño G2 (5 a 9.9 cm). En el Cuadro 16 se registran los valores promedio del ancho y largo del píleo, teniendo en G2 un intervalo de 6.6 a 8.2 cm, 5.8 a 7.3 cm, 5.0 a 5.8 cm y 5.7 a 6.6 cm en la primera, segunda, tercera y total de cosechas respectivamente para el ancho del píleo (Dmay), cabe señalar que el tratamiento 25-75% en la tercera cosecha salió del rango ya que presenta un valor promedio de 4.9 cm. Para el largo del píleo (Dmen) se tiene un intervalo de 5.8 a 7.3 cm, 5.3 a 6.4 cm, 5.0 a 5.1 cm y 5.8 a 5.3 cm para la primera, segunda, tercera y el total de cosechas respectivamente en la categoría G2, de igual forma la tercera cosecha presentó valores que quedan fuera del intervalo como son 4.6 cm para la mezcla 75-25%, 4.8 cm para la mezcla 50-50% y 4.7 cm para la mezcla 25-75%. De manera general se observó que los datos de la primera cosecha son los más altos, seguidos por la segunda cosecha, el total y por último la tercera cosecha para los parámetros.

Con respecto al tamaño del estípote de los cuerpos fructíferos cosechados para la cepa SEC, en el Cuadro 16 se presentan los valores obtenidos para los tratamientos aplicados. El tamaño correspondiente a la categoría A (menos de 5 cm de largo) fue el que predominó en los tratamientos teniendo un intervalo de 3.5 a 4.5 cm, 2.8 a 4.9 cm, 2.8 a 3.5 cm y 3.2 a 4.1 cm para la primera, segunda, tercera y total de cosechas.

Cuadro 16. Valor promedio del ancho y largo del píleo y largo del estípote para la cepa SEC.

SEC Tratamiento	Pileo (cm)		Estipite (cm)
	Dmay	Dmen	
<b>1ª cosecha</b>	± ESM	± ESM	± ESM
<b>Bagazo</b>	8.3 ± 0.9	7.3 ± 0.8	4.5 ± 0.8
<b>75-25%</b>	7.6 ± 0.9	6.9 ± 0.8	4.2 ± 0.8
<b>50-50%</b>	7.0 ± 0.7	6.2 ± 0.5	3.9 ± 0.5
<b>25-75%</b>	6.7 ± 0.3	6.0 ± 0.2	3.5 ± 0.2
<b>Paja</b>	6.6 ± 0.7	5.8 ± 0.5	3.6 ± 0.4
<b>2ª cosecha</b>			
<b>Bagazo</b>	7.1 ± 0.5	6.4 ± 0.5	4.9 ± 0.4
<b>75-25%</b>	6.2 ± 0.7	5.9 ± 0.7	3.9 ± 0.5
<b>50-50%</b>	5.8 ± 0.3	5.3 ± 0.3	2.8 ± 0.2

<b>25-75%</b>	6.9 ± 0.4	5.9 ± 0.3	3.2 ± 0.4
<b>Paja</b>	7.3 ± 0.9	6.3 ± 0.6	3.3 ± 0.3
<b>3ª cosecha</b>			
<b>Bagazo</b>	5.8 ± 0.5	5.0 ± 0.5	3.5 ± 0.4
<b>75-25%</b>	4.9 ± 0.3	4.6 ± 0.3	3.0 ± 0.2
<b>50-50%</b>	5.0 ± 0.2	4.8 ± 0.2	3.5 ± 0.3
<b>25-75%</b>	5.0 ± 0.2	4.7 ± 0.2	3.1 ± 0.2
<b>Paja</b>	5.4 ± 0.2	5.1 ± 0.1	2.9 ± 0.2
<b>Total</b>			
<b>Bagazo</b>	6.6 ± 0.3 <sup>C b</sup>	5.9 ± 0.2 <sup>B a</sup>	4.1 ± 0.3 <sup>B a</sup>
<b>75-25%</b>	5.8 ± 0.3 <sup>C a</sup>	5.3 ± 0.3 <sup>B a</sup>	3.5 ± 0.4 <sup>B a</sup>
<b>50-50%</b>	5.7 ± 0.1 <sup>C a</sup>	5.3 ± 0.1 <sup>B a</sup>	3.3 ± 0.2 <sup>B a</sup>
<b>25-75%</b>	6.1 ± 0.2 <sup>C a</sup>	5.5 ± 0.1 <sup>B a</sup>	3.3 ± 0.1 <sup>B a</sup>
<b>Paja</b>	6.1 ± 0.3 <sup>C b</sup>	5.4 ± 0.2 <sup>B a</sup>	3.2 ± 0.2 <sup>B a</sup>

Los valores promedio referentes a la cepa UAP9 para el tamaño del píleo presentaron dos categorías G1 (menor a 5 cm) y G2 (5 a 9.9 cm). En el Cuadro 17 se muestran los valores promedio del ancho y largo del píleo, teniendo para el ancho del píleo (Dmay) en la primera cosecha presencia de las dos categorías, apreciándose que en los tratamientos 2 (75-25), 3 (50-50) y 4 (75-25) los valores están en G1 (4.4 cm, 4.4 cm y 4.5 cm respectivamente), mientras que en los tratamientos 1 (bagazo) y 5 (paja) se encuentran en G2 (6.7 cm y 5.4 cm respectivamente), en la segunda cosecha solo se tienen valores de la categoría G2 con un intervalo de 5.6 a 7.4 cm, para la tercera cosecha se presentaron valores solo en la categoría G1 con un intervalo de 4.1 a 4.8 cm y finalmente el total mostro comportamiento similar al de la primera cosecha teniendo valores de la categoría G1 para los tratamientos 2, 3 y 4 de 4.3 cm, 4.6 cm y 4.6 cm respectivamente, mientras que los valores de los tratamientos 1 (5.7 cm) y 5 (5.2 cm) formaron parte de la categoría G2. Para el largo del píleo (Dmen) se observó que en la primera cosecha los valores está en la categoría G1, exceptuando el tratamiento 1 (bagazo) que está en la categoría G2 (5.7 cm), en la segunda cosecha los valores se presentan en G2, exceptuando el tratamiento 5 (paja) que se encuentra en G1 (4.8 cm), para la tercera cosecha se presentaron valores solo en la categoría G1 con un intervalo de 3.9 a 4.3 cm y por último el total presentó valores en G1, excepto para el crecimiento en bagazo que mostró un valor de 5 cm (categoría G2). De manera general se observó que los datos de la segunda cosecha son los más altos, seguidos por la primera cosecha, el total y por último la tercera cosecha para los parámetros.

Con respecto al tamaño del estípite de los carpoforos cosechados para la cepa UAP9, en el Cuadro 17 se presentan los valores promedio para los tratamientos. El tamaño correspondiente a la categoría A (menor de 5 cm) fue el que predominó en los tratamientos

teniendo un intervalo de 2.6 a 3.0 cm, 2.7 a 3.2 cm, 2.2 a 2.5 cm y 2.5 a 2.7 cm para la primera, segunda, tercera y total de cosechas.

Cuadro 17. Valor promedio del ancho y largo del píceo y largo del estípite para la cepa UAP9.

UAP9 Tratamiento	Píceo (cm)		Estípite (cm)
	Dmay	Dmen	
<b>1ª cosecha</b>	± ESM	± ESM	± ESM
<b>Bagazo</b>	6.7 ± 0.6	5.7 ± 0.4	3.1 ± 0.2
<b>75-25%</b>	4.4 ± 0.3	4.2 ± 0.3	2.6 ± 0.1
<b>50-50%</b>	4.4 ± 0.2	4.2 ± 0.1	2.6 ± 0.1
<b>25-75%</b>	4.5 ± 0.1	4.2 ± 0.1	2.8 ± 0.2
<b>Paja</b>	5.4 ± 0.3	4.8 ± 0.2	2.9 ± 0.2
<b>2ª cosecha</b>			
<b>Bagazo</b>	6.8 ± 0.8	5.7 ± 0.7	2.7 ± 0.2
<b>75-25%</b>	6.6 ± 0.7	6.0 ± 0.7	3.0 ± 0.2
<b>50-50%</b>	7.4 ± 0.8	6.3 ± 0.7	3.2 ± 0.3
<b>25-75%</b>	6.0 ± 0.7	5.6 ± 0.6	2.8 ± 0.1
<b>Paja</b>	5.6 ± 0.2	4.8 ± 0.2	2.7 ± 0.1
<b>3ª cosecha</b>			
<b>Bagazo</b>	4.6 ± 0.2	4.2 ± 0.2	2.4 ± 0.1
<b>75-25%</b>	4.1 ± 0.6	3.9 ± 0.4	2.3 ± 0.1
<b>50-50%</b>	4.7 ± 0.4	4.4 ± 0.2	2.2 ± 0.1
<b>25-75%</b>	4.5 ± 0.5	4.0 ± 0.3	2.5 ± 0.2
<b>Paja</b>	4.8 ± 0.5	4.3 ± 0.3	2.5 ± 0.1
<b>Total</b>			
<b>Bagazo</b>	5.7 ± 0.2 <sup>A b</sup>	5.0 ± 0.2 <sup>A a</sup>	2.7 ± 0.1 <sup>A a</sup>
<b>75-25%</b>	4.3 ± 0.1 <sup>A a</sup>	4.1 ± 0.1 <sup>A a</sup>	2.5 ± 0.1 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	4.6 ± 0.1 <sup>A a</sup>	4.3 ± 0.1 <sup>A a</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	4.6 ± 0.1 <sup>A a</sup>	4.2 ± 0.1 <sup>A a</sup>	2.7 ± 0.1 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	5.2 ± 0.2 <sup>A b</sup>	4.6 ± 0.2 <sup>A a</sup>	2.7 ± 0.1 <sup>A a</sup>

Los valores promedio obtenidos para la cepa SAUA presentaron para todos los tratamientos así como para las dos primeras cosechas y el total, los datos del píceo correspondieron a la categoría G2 (5 a 9.9 cm), mientras que para la tercera cosecha el tamaño corresponde a la categoría G1 (menor a 5 cm). En el Cuadro 18 se registran los valores promedio del ancho y largo del píceo, teniendo en G2 un intervalo de 5.2 a 6.0 cm, 5.7 a 6.9 cm y 5.1 a 5.5 cm en la primera, segunda y total de cosechas respectivamente para el ancho del píceo (Dmay), cabe señalar que en la tercera cosecha predominó la categoría G1 presentando un intervalo de 4.1 a 4.7 cm. Para el largo del píceo (Dmen) se tiene un intervalo de 5.0 a 5.4 cm y 5.0 a 6.1 cm para la primera y la segunda de cosechas respectivamente en la categoría G2, el tratamiento 3 de la primera cosecha y el tratamiento 5 de la segunda presentaron valores que quedan fuera del intervalo (4.7 cm y 4.9 cm respectivamente), mientras que se

obtuvo un intervalo de 3.7 a 4.5 cm y 4.6 a 4.9 cm para la tercera y el total de cosechas respectivamente en la categoría G1. De manera general se observó que los datos de la segunda cosecha son los más altos, seguidos por la primera cosecha, el total y por último la tercera cosecha para los parámetros.

Con respecto al tamaño del estípote de los carpoforos cosechados para la cepa SAUA, en el Cuadro 18 se presentan los valores promedio para los tratamientos. El tamaño correspondiente a la categoría A (menor de 5 cm) fue el que predominó en los tratamientos teniendo un intervalo de 2.6 a 3.3 cm, 2.5 a 3.0 cm, 2.1 a 2.5 cm y 2.5 a 2.8 cm para la primera, segunda, tercera y total de cosechas.

Cuadro 18. Valor promedio del ancho y largo del pileo y largo del estípote para la cepa UAP9.

SAUA Tratamiento	Pileo (cm)		Estípote (cm)
	Dmay	Dmen	
<b>1ª cosecha</b>	± ESM	± ESM	± ESM
<b>Bagazo</b>	6.0 ± 0.4	5.0 ± 0.3	2.6 ± 0.1
<b>75-25%</b>	6.1 ± 0.7	5.4 ± 0.5	3.0 ± 0.1
<b>50-50%</b>	5.2 ± 0.4	4.7 ± 0.3	2.6 ± 0.1
<b>25-75%</b>	5.4 ± 0.4	5.0 ± 0.3	2.7 ± 0.1
<b>Paja</b>	5.9 ± 0.4	5.3 ± 0.4	3.3 ± 0.2
<b>2ª cosecha</b>			
<b>Bagazo</b>	5.7 ± 0.5	5.2 ± 0.5	2.5 ± 0.2
<b>75-25%</b>	6.9 ± 0.9	6.1 ± 0.8	3.0 ± 0.3
<b>50-50%</b>	5.8 ± 0.3	5.0 ± 0.2	2.5 ± 0.1
<b>25-75%</b>	5.9 ± 0.5	5.0 ± 0.3	2.6 ± 0.2
<b>Paja</b>	5.8 ± 0.3	4.9 ± 0.2	2.8 ± 0.2
<b>3ª cosecha</b>			
<b>Bagazo</b>	4.3 ± 0.3	3.9 ± 0.3	2.1 ± 0.1
<b>75-25%</b>	4.1 ± 0.2	3.7 ± 0.2	2.5 ± 0.1
<b>50-50%</b>	5.3 ± 0.4	4.5 ± 0.3	2.3 ± 0.1
<b>25-75%</b>	4.7 ± 0.4	4.4 ± 0.4	2.3 ± 0.1
<b>Paja</b>	4.7 ± 0.2	4.1 ± 0.2	2.1 ± 0.1
<b>Total</b>			
<b>Bagazo</b>	5.4 ± 0.3 <sup>Bb</sup>	4.6 ± 0.1 <sup>Aa</sup>	2.5 ± 0.1 <sup>Aa</sup>
<b>75-25%</b>	5.3 ± 0.3 <sup>Ba</sup>	4.7 ± 0.2 <sup>Aa</sup>	2.7 ± 0.1 <sup>Aa</sup>
<b>50-50%</b>	5.1 ± 0.3 <sup>Ba</sup>	4.6 ± 0.2 <sup>Aa</sup>	2.5 ± 0.1 <sup>Aa</sup>
<b>25-75%</b>	5.1 ± 0.3 <sup>Ba</sup>	4.6 ± 0.2 <sup>Aa</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>Aa</sup>
<b>Paja</b>	5.5 ± 0.3 <sup>Bb</sup>	4.9 ± 0.2 <sup>Aa</sup>	2.9 ± 0.1 <sup>Aa</sup>

Rizki y Tamai (2011) menciona que en *P. ostreatus* la producción total se produjo durante 1ª cosecha, los hongos en 2ª y 3ª cosecha tenían menor calidad y producción. Como el número de cosechas aumentó, los rendimientos disminuyeron debido a la disminución de los nutrientes disponibles en el sustrato. Este comportamiento se observó en el presente trabajo. Por otro

lado, en general para las tres cepas se pueden observar que la mayor proporción de los hongos obtenidos se encuentra en los grupos G1 (menor a 5cm) y G2 (5cm a 9.9cm), esto coincide con lo citado por varios autores para distintas especies de *Pleurotus* crecidas sobre diferentes sustratos (Gaitán-Hernández y Salmones, 2008; Pérez y Mata, 2005; Salmones *et al.*, 1997; Velazquez-Cedeño *et al.*, 2002). Por ejemplo, Salmones *et al.* (1997) para *P. djamor*, *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*, sobre paja de cebada, reportaron que el grupo G1 fue el mayoritario, con porcentajes de 50 a 75%, mientras que G2 alcanzó valores de 17.6 a 34.8%.

El ANOVA de dos vías mostró diferencias significativas entre las cepas para los tres parámetros, la prueba de Duncan muestra la formación de 3 grupos para el ancho del pileo donde el primer grupo (A) está conformado por la cepa UAP9 quien presentó los valores más bajos, seguidamente la cepa SAUA (grupo B), y finalmente la cepa SEC que mostró los mayores datos se localiza en el tercer grupo (C). Con respecto al largo del pileo el post hoc de Duncan reveló que la cepa SEC presentó los mayores valores situándose en el segundo grupo (B), mientras que la cepa UAP9 y SAUA conformaron el grupo A. Por otro lado, para el largo del estípite la prueba a posteriori de Duncan mostró la formación de dos grupos, teniendo el mismo comportamiento anterior, es decir, las cepas UAP9 y SAUA se localizaron en el grupo A siendo las que presentan los menores datos, la cepa SEC presentó los valores más altos y se sitúa en el segundo grupo (B).

En general, se puede ver que la cepa SEC es la que presenta el mayor tamaño de carpóforos con respecto a las otras dos cepas. Esto particularmente es de importancia por que los cuerpos fructíferos más grandes, tienen un alto valor en el mercado debido al tamaño de su púleo (Onuoha y Obi-Adumanya, 2010.). Sin embargo, la proporción entre el púleo y el estípite coloca a la cepa SAUA como la mejor ya que presenta una relación más alta entre estas partes del hongo, seguida de la cepa UAP9 y por último la cepa SEC. La longitud del estípite es un factor importante para los productores de setas, porque cuando los estípites son muy largos se necesitan cortar y desechar. Debido a la naturaleza fibrosa y sabor desagradable del estípite, setas con púleo grande y sin estípite o con estípite pequeño son preferidas (Kamat *et al.*, 2010; Lechner y Albertó, 2011).

El análisis de varianza (ANOVA de dos vías) reveló que los tratamientos solo afectan al parámetro ancho de púleo, la prueba de Duncan mostró que las mezclas (tratamiento 2, 3 y 4) se localizaron dentro de un mismo grupo (grupo a) quienes presentan los valores más bajos y son distintos a los sustratos bagazo de yuca y paja de trigo solos (tratamiento 1 y 5) que muestran los mayores datos para el ancho del púleo. Esto está de acuerdo con lo encontrado en el parámetro peso medio (Pm), donde se obtuvo la misma tendencia corroborando los hallazgos.

## 7.2.2. Color

El color y la textura del alimento son de primordial importancia para el consumidor como criterio de calidad de los productos (Kotwaliwale *et al.*, 2007). El color del hongo es una característica muy variable en *Pleurotus spp.* y dependiendo de las condiciones de cultivo, la especie y la cepa, los cuerpos fructíferos presentan diversas coloraciones tales como blanco, crema, rosa, amarillo, azul grisáceo, marrón, griseaso a casi negro (Croan, 2003; Huerta *et al.*, 2009; Valencia del Toro y Leal-Lara, 2002; Croan, 2000). Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010) mencionan que la buena calidad de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus* se considera cuando presentan un color de blanquecino a marrón.

El color es un parámetro que con base en el sistema CIELAB, considera la luminosidad ( $L^*$ ) y los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , los cuales definen la coloración de la muestra (Jiménez, 2002). Para medir el color de los carpóforos se tomaron muestras de la primera cosecha y se registraron con un colorímetro MINOLTA, CR 300 los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la parte frontal del pileo, que a continuación se muestran y discuten. En el Cuadro 19 se muestra la significancia que tubo cada parámetro estudiado.

Cuadro 19. Significancia de los parametros de color en relacion con la cepa, sustrato y la interaccion cepa x sustrato.

Causa de variacion	Valor de F			
	L	a	b	E
<b>Cepa</b>	*	*	*	*
<b>Sustrato</b>	ns	*	ns	ns
<b>Cepa x Sustrato</b>	ns	*	*	ns

### 7.2.2.1. Parametro $L^*$

En el Cuadro 20 se muestran los valores promedio del parámetro  $L^*$  para las tres cepas en cada uno de los sustratos de crecimiento. El ANOVA presentó diferencias estadísticas significativas entre las cepas, la prueba a posteriori de Duncan clasifico dichas diferencias en 2 grupos, en donde el grupo B estuvo formado por la cepa SAUA la cual presentó los valores más elevados (51 a 57), mientras que las cepas SEC y UAP9 tubieron valores ligeramente menores (46 a 53) y conformaron el primer grupo (A). Este parámetro refleja la luminosidad del material que se analiza y va de 0 a 100, siendo este último valor el más cercano al blanco con el cual se calibra el equipo, por tanto la cepa SAUA es más “blanca” o clara, con respeto a las otras dos cepas. A partir de estos resultados es importante destacar que la cepa hibrida (SAUA), fue diferente a sus cepas parentales.

Las medidas en este estudio son menores a lo informado por Villaescusa y Gil (2003) quines reportan para hongos frescos de *P. ostreatus* un valor de L de 96.6 y similares a lo reportado por Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010) quienes citan que para sieten cepas de *Pleurotus*

*spp.* obtuvieron un rango de 50 a 63 y para una cepa comercial de 67 sobre paja de trigo. La variación podría deberse a las condiciones ambientales del cultivo o las características genéticas expresadas aportadas por sus cepas parentales.

El análisis estadístico aplicado a los datos, ANOVA de dos vías, mostró que no existieron diferencias significativas entre los distintos sustratos de crecimiento (Cuadro 20). Obteniéndose un rango de 46 a 57. Sin embargo, se observó una tendencia de aumento conforme incrementa la cantidad de paja en el tratamiento para la cepa SAUA, es decir, el tratamiento 5 (paja de trigo sola) presentó el mayor valor (57), mientras que el tratamiento 1 (bagazo de yuca solo) exhibe el valor más bajo (51). La cepa SEC y UAP9 no tienen una tendencia bien definida ya que los datos se comportan de una manera compleja, muestran un comportamiento zigzagueante (con altas y bajas a lo largo de los tratamientos) sin explicar el motivo de dicha observación. El estudio de Ruiz-Rodríguez *et al.* (2010) es contrario a los resultados de la cepa SAUA, estos autores hallaron que la luminosidad promedio ( $L^*$ ) cambia de 59 a 76 para siete cepas de *Pleurotus spp.*, lo que indica que las cepas fueron más “brillantes, blancas o claras” con el aumento de la cantidad de de OMW. Por otro lado, Rodríguez-Estrada *et al.* (2009) para *P. eryngii* encontraron que el color es afectado por la cobertura, ya que los valores de  $L^*$  son más altos cuando no hay cobertura (68.4-74.1) que cuando existe esta (55.3-57.3). Mencionan que el brillo del píleo se redujo con la cobertura, pero, los cambios fueron casi imperceptibles para el ojo humano.

Cuadro 20. Valores promedio del parametro  $L^*$  para las tres cepas utilizadas

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	L ± ESM	L ± ESM	L ± ESM
<b>Bagazo</b>	47.4 ± 1.8 <sup>A a</sup>	48.9 ± 0.4 <sup>A a</sup>	51.4 ± 1.3 <sup>B a</sup>
<b>75-25%</b>	53.1 ± 0.6 <sup>A a</sup>	47.3 ± 1.7 <sup>A a</sup>	51.4 ± 0.4 <sup>B a</sup>
<b>50-50%</b>	47.2 ± 0.5 <sup>A a</sup>	46.2 ± 1.7 <sup>A a</sup>	53.1 ± 3.0 <sup>B a</sup>
<b>25-75%</b>	49.2 ± 0.8 <sup>A a</sup>	46.8 ± 0.7 <sup>A a</sup>	53.5 ± 2.6 <sup>B a</sup>
<b>Paja</b>	52.0 ± 0.5 <sup>A a</sup>	47.8 ± 0.7 <sup>A a</sup>	56.6 ± 2.5 <sup>B a</sup>

#### 7.2.2.2. Parametro $a^*$

Los datos obtenidos para el parámetro  $a^*$  se muestran en el Cuadro 21. Este parámetro se vio afectado tanto por la cepa como por el sustrato. Al realizar la prueba de ANOVA de dos vías se obtuvieron diferencias significativas entre las cepas en estudio, el post hoc de Duncan situó a la cepa SAUA dentro del grupo A, mostrando los menores valores (2.5 a 4.4), y las cepas SEC y UAP9 presentaron los mayores valores (3.2 a 5.5), quienes se encuentran en el segundo grupo (B). Este parámetro indica la tendencia para sus valores negativos hacia coloraciones de tono verde y para sus valores positivos coloraciones rojas. Por lo tanto, en

general las tres cepas tienden a una coloración rojiza, por otro lado y apoyándonos en el análisis estadístico la cepa híbrida (SAUA) presenta un menor tono rojo que sus dos parentales. Los anteriores datos son superiores a lo citado por Villaescusa y Gil (2003) quien reporto para hongos frescos de *P. ostreatus* un valor de  $a^*$  de 0.2. Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010) encontraron que para siete cepas de *Pleurotus spp.* sobre paja de trigo un rango de -0.7 a 3.1, y para una cepa comercial un valor de 1.0.

Por otra parte, el análisis de varianza también reveló que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Cuadro 21), la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan permitió identificar 2 grupos, los sustratos que contiene mayor cantidad de bagazo en su composición presentaron valores más altos (3.2 a 5.5) y pertenecen al segundo grupo (b), mientras que el control y el tratamiento con menor cantidad de bagazo se localizaron en el primer grupo (a) arrojando valores ligeramente más pequeños (2.5 a 4.5). Como ya se mencionó anteriormente en general los hongos presentan una tendencia de coloración rojiza, debido a que los valores fueron positivos, siendo ligeramente más rojos los que crecen en sustratos con mayor cantidad de bagazo de yuca. Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010) encontraron que el parámetro  $a^*$  fue influenciado ya que cambio de rojo a verde de forma concomitante con el aumento de OMW, tomando valor promedio para las siete cepas de *Pleurotus spp.* de 1.9 a -0.8.

Cuadro 21. Valores promedio del parámetro  $a^*$  para las tres cepas utilizadas

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	$a \pm \text{ESM}$	$a \pm \text{ESM}$	$a \pm \text{ESM}$
<b>Bagazo</b>	$4.5 \pm 0.2^{\text{B b}}$	$4.4 \pm 0.2^{\text{B b}}$	$4.4 \pm 0.3^{\text{A b}}$
<b>75-25%</b>	$3.2 \pm 0.1^{\text{B b}}$	$4.4 \pm 0.3^{\text{B b}}$	$4.3 \pm 0.1^{\text{A b}}$
<b>50-50%</b>	$4.6 \pm 0.1^{\text{B b}}$	$5.5 \pm 0.5^{\text{B b}}$	$3.4 \pm 0.2^{\text{A b}}$
<b>25-75%</b>	$4.5 \pm 0.3^{\text{B a}}$	$3.9 \pm 0.1^{\text{B a}}$	$2.5 \pm 0.1^{\text{A a}}$
<b>Paja</b>	$3.5 \pm 0.2^{\text{B a}}$	$4.1 \pm 0.1^{\text{B a}}$	$4.0 \pm 0.7^{\text{A a}}$

### 7.2.2.3. Parámetro $b^*$

Villaescusa y Gil (2003) menciona que el parámetro más representativo para detectar diferencias en el color de *Pleurotus* es el valor de  $b^*$ . Los valores promedio del parámetro  $b^*$  obtenidos en el presente trabajo para las tres cepas en los diferentes tratamientos se presentan en el Cuadro 22. El análisis de varianza para los datos, reveló diferencias significativas entre las cepas utilizadas, la prueba de Duncan muestra la formación de 2 grupos, en el primer grupo (A) se encuentran las cepas UAP9 y SEC quienes mostraron valores menores (9.6 a 12.3), mientras que la cepa SAUA se situó en el grupo B con los mayores datos (11.1 a 14.9). El parámetro  $b^*$  refiere para sus valores positivos coloraciones amarillas y azules

para sus valores negativos. En general, los valores obtenidos en el presente estudio revelan que la coloración de los carpoforos es amarilla, así mismo se puede observar que la cepa híbrida (SAUA) es estadísticamente más amarilla que sus dos parentales. Villaescusa y Gil (2003) encontraron para hongos frescos de *P. ostreatus* un valor de 5.1 a 14.2. Ruiz-Rodríguez *et al.* (2010) reportan para siete cepas de *Pleurotus* crecidas sobre paja de trigo un rango que va de 10.0 a 16.8. Se puede notar que los datos reportados en el presente trabajo están dentro de los valores informados en la literatura.

El análisis estadístico (ANOVA de dos vías) mostró que no existieron diferencias significativas entre los distintos tratamientos aplicados (Cuadro 22). Obteniendo un rango de 9.6 a 14.9. Las tres cepas no presentan una tendencia bien definida, los datos muestran un comportamiento zigzagueante sin explicación aparente. Por el contrario Ruiz-Rodríguez *et al.* (2010) encontraron cambios en el parámetro  $b^*$  por incremento de OMW y estos dependen de cada cepa, ya que algunas se volvieron azul, y otras se volvieron más amarillas, con un rango en promedio para las siete cepas de 12.5 a 13.8.

Cuadro 22. Valores promedio del parámetro  $b^*$  para las tres cepas utilizadas

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	$b \pm \text{ESM}$	$b \pm \text{ESM}$	$b \pm \text{ESM}$
<b>Bagazo</b>	$9.7 \pm 0.5^{Aa}$	$12.3 \pm 0.8^{Aa}$	$11.9 \pm 0.8^{Ba}$
<b>75-25%</b>	$9.8 \pm 0.2^{Aa}$	$9.6 \pm 0.3^{Aa}$	$14.2 \pm 0.2^{Ba}$
<b>50-50%</b>	$10.4 \pm 0.6^{Aa}$	$11.0 \pm 0.2^{Aa}$	$13.0 \pm 0.9^{Ba}$
<b>25-75%</b>	$12.1 \pm 0.7^{Aa}$	$9.9 \pm 0.3^{Aa}$	$11.1 \pm 1.3^{Ba}$
<b>Paja</b>	$10.4 \pm 0.5^{Aa}$	$9.9 \pm 0.4^{Aa}$	$14.9 \pm 2.2^{Ba}$

#### 7.2.2.4. Delta E ( $\Delta E^*$ )

La diferencia de color CIELab (simbolizada como  $\Delta E^*$ ), cuantifica numéricamente la diferencia de percepción de color, para el ojo humano, entre dos muestras, en este caso se utilizó la fórmula CIE2000 ( $CIE_{00}$ ) tomando como referencia los valores de los hongos crecidos sobre paja de trigo. Los datos obtenidos para este parámetro se muestran en el Cuadro 23. El análisis de varianza (ANOVA de dos vías) reveló que existen diferencias estadísticas entre las cepas, la prueba de Duncan muestra la formación de 2 grupos, el primer grupo (A) está conformado por la cepa UAP9 la cual presenta los valores más bajos, mientras que los datos más altos los presentan las cepas SEC y SAUA quienes se localizan en el segundo grupo (B). Este resultado no indica que estas últimas cepas presenten el mismo color, ya que el delta E es independiente entre las cepas, sino menciona que estas dos cepas presentaron mayores diferencias de color con respecto a su referencia (paja de trigo) que la cepa UAP9.

Con respecto al sustrato no se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos aplicados, según el ANOVA de dos vías. Sin embargo, LaCie (2005) menciona que el observador medio percibe diferencias superiores a 5 ó 6 unidades, sólo un ojo bien preparado percibe diferencias de 3 ó 4 unidades. Pero, el ojo humano es mucho más sensible a los cambios en los niveles de gris y tonos medios. En esos casos, puede llegar a percibir hasta una diferencia de 0.5 unidades. Este último es nuestro caso, por tanto, se puede decir que el tipo de sustrato influye en la coloración del carpóforo. Ruiz-Rodríguez *et al.* (2010) reportan que cuando el cambio de color total fue calculado como delta E en comparación con el control de hongos una correlación lineal entre el cambio de color se observó con la cantidad de OMW añadido, obtuvieron valores de 5-20 con 25-90% de OMW.

Cuadro 23. Valores promedio del parámetro  $\Delta E^*$  para las tres cepas utilizadas.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	$\Delta E^* \pm \text{ESM}$	$\Delta E^* \pm \text{ESM}$	$\Delta E^* \pm \text{ESM}$
<b>Bagazo</b>	$4.8 \pm 1.3^{\text{B a}}$	$2.5 \pm 0.4^{\text{A a}}$	$6.2 \pm 1.8^{\text{B a}}$
<b>75-25%</b>	$2.0 \pm 0.4^{\text{B a}}$	$1.6 \pm 0.8^{\text{A a}}$	$5.8 \pm 1.8^{\text{B a}}$
<b>50-50%</b>	$5.0 \pm 0.2^{\text{B a}}$	$2.5 \pm 0.8^{\text{A a}}$	$5.6 \pm 1.8^{\text{B a}}$
<b>25-75%</b>	$3.2 \pm 1.1^{\text{B a}}$	$1.3 \pm 0.1^{\text{A a}}$	$4.1 \pm 2.1^{\text{a}}$

Existe una diferencia en todos los parámetros entre la cepa híbrida y sus parentales. Diversos autores han reportado que la intensidad luminosa afecta la coloración por ejemplo, Kamat *et al.* (2010) demostraron que para *P. ostreatus* sobre paja de arroz la exposición a la luz directa del sol produce la pigmentación marrón en algunos cuerpos fructíferos y los que estaban protegidos no presentaron la pigmentación. La naturaleza de fototropismo y fotosensible mostró que el color de píleo podría ser regulado por la manipulación de las condiciones de cultivo. Marino *et al.* (2003) encontraron para *P. ostreatus* sobre aserrín que todos los aislamientos presentaron píleo con coloraciones cambiantes de gris a plomo. Sólo un aislamiento que fructificó a 28°C con 900 lux, no presentó coloración del píleo (blanco). A 15°C con 900 lux, los 8 aislamientos presentaron reducción de la coloración, lo que evidencia la importancia de la temperatura y la intensidad luminosa. Jiménez (2000) menciona que por lo general la variación de tonalidad de coloración se atribuye a la influencia de la luz, debido a que durante el desarrollo del cuerpo fructífero los pigmentos presentes en el hongo tienen baja fotosensibilidad. Sin embargo, aun que no se controlaron las condiciones en la cámara de fructificación los cambios fueron los mismos en el experimento para cada cosecha realizada, se observó que el color de los carpóforos fue estable en todas las cepas trabajadas. En cuanto a la cepa híbrida se tiene diferencia de tonalidad en la coloración con respecto a las cepas parentales. El ligero cambio de color de la cepa SAUA con respecto a sus parentales no puede

ser considerado como pérdida de calidad ya que las cepas de *Pleurotus* comercialmente disponibles en los supermercados muestran una amplia gama de colores desde el blanco hasta el marrón oscuro y todos ellos son fácilmente aceptados por los consumidores.

Por tanto, la causa más probable de la diferencia de color en la cepa SAUA podría ser atribuida a cuestiones genéticas. Valencia del Toro y Leal-Lara (2002) encontraron que algunos híbridos difieren de la coloración de sus progenitores, ya que las cepas parentales tienen coloraciones blancas y rosas, mientras que los híbridos son de color amarillo. El color amarillo en los hongos puede ser codificado por un solo gen o un grupo de genes presentes en ambas cepas híbridas. La información genética de esta pigmentación puede que ya exista en la naturaleza y su expresión fenotípica puede ser desencadenada por varios factores desconocidos tales como respuesta a cambios en las condiciones ambientales, factores extracromosómico, cambios en las unidades de proteínas presentes en el citoplasma. Los pocos estudios acerca de la naturaleza química de los pigmentos confirmar la complejidad de este tema. Se sugieren que tanto la presencia simultánea de varios tipos de pigmentos en los hongos y la intercambiabilidad de su estructura resulta en cambios en las coloraciones. Marino *et al.* (2003) reportan la presencia de genes responsables de la inducción de primordios y otros genes relacionados con la coloración de los basidiocarpos. Estos autores indican que el control genético de la coloración del píleo está dada por un factor monogénicas, dominante, mientras que el color blanco o sin color se relaciona con alelos recesivos. Maldonado (2007), cita que por un lado, al conformar el micelio dicariótico con la información genética de ambos progenitores, se podría plantear la posibilidad de que existiera dominancia por parte de un alelo. Por otro lado, se encuentra la posibilidad de la presencia de un gen denominado alb. Cualquiera que sea la causa a la que obedezca la coloración de los híbridos, es necesario implementar técnicas de biología molecular con las cuales se corrobore alguna de las hipótesis planteadas y con ello, contribuir con mayor certeza en el estudio y la caracterización de estas especies.

El cambio de color indica que la composición química de estos cuerpos fructíferos ha cambiado. Melaninas y complejos de melanina son los compuestos responsables del color del píleo (Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2010). En general, no se tiene cambios en la coloración de los cuerpos fructíferos por acción de los sustratos, esto concuerda con Liu *et al.* (2005) quienes encontraron para *P. sajor-caju* sobre diferentes residuos que el color no se ve afectado por los sustratos. Sugieren los autores que los pigmentos naturales que contribuyen al color de los sustratos no han sido ocupados por los hongos durante el crecimiento, como se indica por el color. También hallaron que la adición de gluten de maíz a los sustratos no afecta el color. El gluten de maíz tiene bajos pigmentos carotenoides por lo tanto la absorción de los pigmentos no fue suficiente para producir un cambio de color.

En las Figuras 12-14 se muestran los cuerpos fructíferos obtenidos durante la primera cosecha para cada una de las cepas tanto parentales como híbridas, así como en los distintos tratamientos.



Figura 12. Cuerpos fructíferos obtenidos en la primera cosecha de la cepa SEC. a) bagazo de yuca (BY), b) BY+PT (75%-25%), c) BY+PT (50%-50%), d) BY+PT (25%-75%) y e) paja de trigo (PT).



Figura 13. Cuerpos fructíferos obtenidos en la primera cosecha de la cepa UAP9. a) bagazo de yuca (BY), b) BY+PT (75%-25%), c) BY+PT (50%-50%), d) BY+PT (25%-75%) y e) paja de trigo (PT).

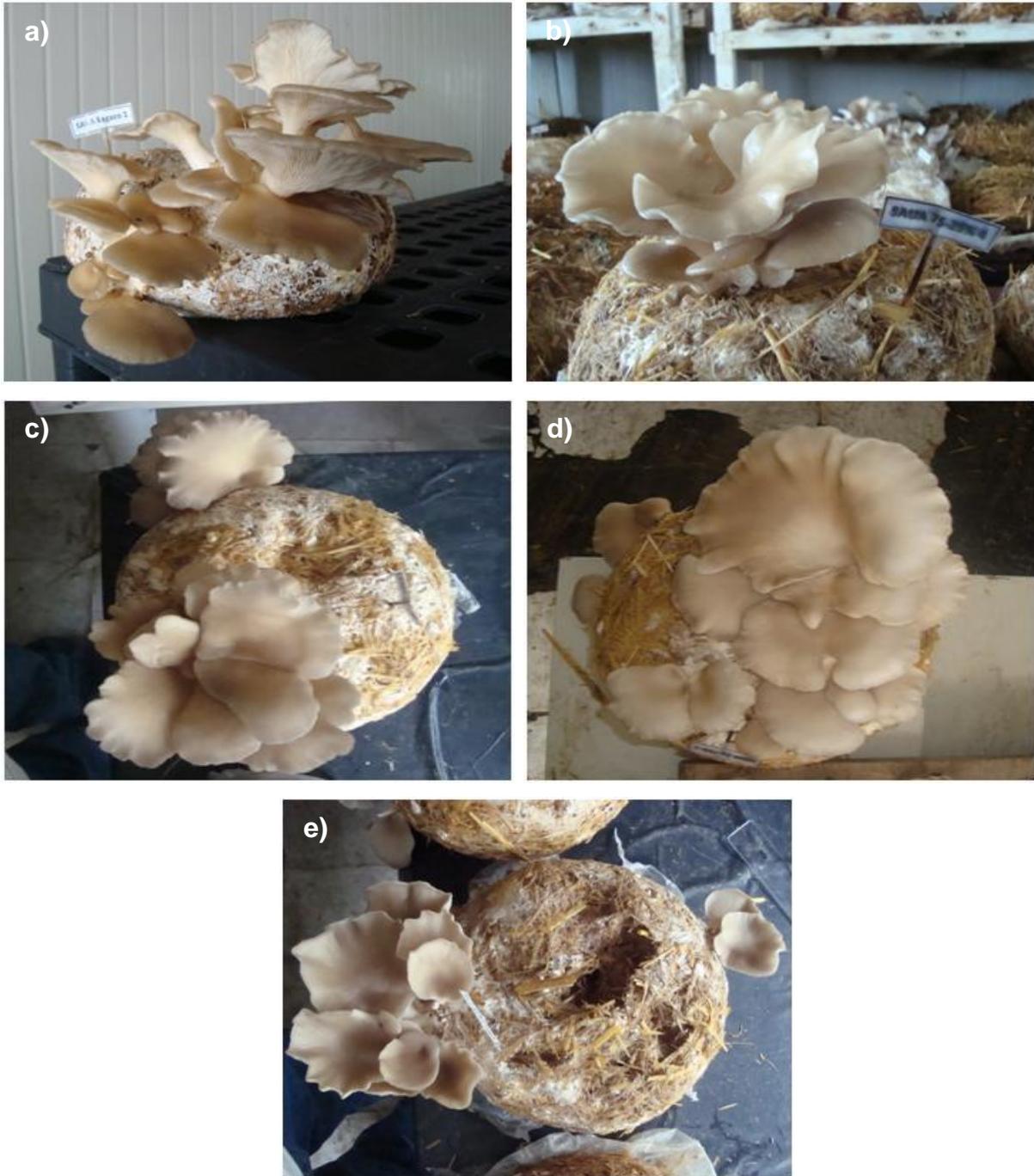


Figura 14. Cuerpos fructíferos obtenidos en la primera cosecha de la cepa SAUA. a) bagazo de yuca (BY), b) BY+PT (75%-25%), c) BY+PT (50%-50%), d) BY+PT (25%-75%) y e) paja de trigo (PT).

### 7.2.3. Textura

La textura de un alimento es de suma importancia para el consumidor final, ya que con base en esta el alimento es aceptado o rechazado según sus características más evidentes. Por tanto a nivel industrial y de investigación se analiza este aspecto con sus diferentes parámetros (Ruiz-Rodriguez *et al.*, 2010). Hoy en día el consumo de hongos comestibles se da más por su textura y sabor que por sus propiedades nutricionales y medicinales (Akyüz y Kirbağ, 2010b). De los carpoforos cosechados se tomó una muestra de la primera colecta y se aplicó un análisis de perfil de textura. Se obtuvieron las mediciones de dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad, para cada cepa en cada tratamiento y a continuación se muestran. El análisis de textura aplicado a los cuerpos fructíferos de las distintas cepas, solo arrojó diferencias significativas (ANOVA de dos vías) en el parámetro de elasticidad. La aplicación de los diferentes tratamientos solo tubo efecto significativo, según el análisis de varianza, sobre los parametros de dureza y adhesividad medidos en los carpoforos obtenidos en ellos (Cuadro 24).

Cuadro 24. Significancia del analisis de textura a los hongos de *Pleurotus spp.* cultivados en diferentes sustratos, en relacion con las cepas, sustratos y la interaccion cepa sustrato.

Causa de variacion	Valor de F					
	Dureza	Cohesivid ad	Elasticidad	Adhesivi dad	Gomosi dad	Masticabilidad
<b>Cepa</b>	ns	ns	*	ns	ns	ns
<b>Sustrato</b>	*	ns	ns	*	ns	ns
<b>Cepa x Sustrato</b>	*	ns	*	ns	*	*

#### 7.2.3.1. Dureza

La dureza es la fuerza necesaria para alcanzar una deformación, es un parámetro primario de textura y es el mas utilizado para determinar la calidad y frescura del los hongos comestibles (Zivanovic *et al.*, 2000). El ANOVA de dos vias mostró que no existen diferencias significativas entre las tres cepas, aun que se pudo notar que el valor promedio más alto fue para SEC, seguido de SAUA y finalmente el menor para UAP9 (Cuadro 25). Los datos obtenidos son menores a lo encontrado por Ruiz-Rodriguez *et al.* (2010), quienes reportan para siete cepas de *Pleurotus spp.* sobre paja de trigo un nivel de firmeza (equivalente a la dureza) de 0.2855kgf a 0.4181kgf y para un hongo (*Pleurotus*) obtenido comercialmente de 0.3262kgf. Jiménez (2002), obtiene 1.1625kgf de dureza para carpoforos enteros de *Pleurotus* producidos en paja de trigo y 0.9483kgf para cortes cilíndricos de 18mm de diámetro y 10mm de espesor. Y superiores a lo mencionado por Kotwaliwale *et al.*, 2007 quienes para hongos frescos de *Pleurotus sp.* adquiridos comercialmente, citan una dureza de 0.0471kgf.

Con respecto a los hongos producidos en los diferentes sustratos, se observó que existieron diferencias significativas entre los tratamientos, según el análisis estadístico aplicado (ANOVA de dos vías), la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan, permitió identificar 2 grupos, presentándose en promedio los mayores valores en el tratamiento control (paja de trigo) (Cuadro 25), esto coincide con lo citado por Ruiz-Rodríguez *et al.* (2010), quienes mencionan que la firmeza de *Pleurotus sp.* se ve afectada negativamente por la adición de los residuos de la molienda de oliva (OMW, por sus siglas en inglés) al sustrato base (paja de trigo) provocando un ablandamiento de los hongos, ya que la firmeza fue disminuyendo con el aumento de la concentración de OMW (0.3620kgf con 0%OMW a 0.1785kgf con 90%OMW de firmeza promedio) y para pocas cepas la textura no fue afectada por la adición de 25-50% de OMW.

En general, los valores obtenidos son menores a los reportados por otros autores, excepto por Kotwaliwale *et al.* (2007) quienes obtienen valores parecidos a los encontrados en el presente trabajo, esto se debe principalmente a las diferentes condiciones de análisis de este parámetro, en donde la compresión reportada fue de 50-60% de la altura inicial de las muestras, mientras que en este trabajo la compresión fue del 30%. Esta condición afecta considerablemente la respuesta ya que de la altura total de las muestras el 50% está conformado por el contexto del hongo y el resto por las laminillas (Jiménez, 2002), por lo cual al comprimir solo el 30% de la muestra la fuerza necesaria será menor a la requerida para comprimir el contexto en su totalidad. Por otro lado, se ha encontrado que la variabilidad de la fuerza en la prueba de punción es parcialmente causada por el cambio de forma a que es sometida la muestra en la prueba, y este cambio depende de la dureza y cohesión del alimento (Botta, 1995).

Se ha reportado que la textura de los cuerpos fructíferos se ve afectada por diferencias en su composición química y condiciones del ambiente. Por ejemplo, Caglarırmak (2007) encontró que los valores de textura de *P. ostreatus*, *P. sajor-caju* y *L. edodes* presentan una correlación positiva con el contenido de proteína total y una correlación negativa con el contenido de humedad en los cuerpos fructíferos. Al respecto Liu *et al.* (2005) reportan que los hongos sobre paja de trigo tuvieron menor dureza, mientras que la mayor dureza se encontró sobre cascara de soja, atribuyen estos resultados a que el aumento de la proteína lleva a la acumulación de acetilglucosamina (quitina) en la pared celular, lo que conduce a un incremento en la dureza. La dureza también está influenciada por el contenido de proteínas y carbohidratos insolubles y solubles (Rama *et al.*, 1995), ya que durante la maduración de los cuerpos fructíferos se van degradando carbohidratos y proteínas y al mismo tiempo sintetizándose carbohidratos insolubles (quitina), los cuales contribuyen al incremento de la dureza. Por otro lado, Shashirekha *et al.* (2005) observaron que la dureza se ve influenciada positivamente por

la cantidad de fibra dietaria total (FDT) para *Pleurotus florida*, ya que hubo una disminución significativa en el contenido de FDT en el sustrato de paja de arroz con polvo de semilla de algodón (CS-M) dando como resultado menor dureza (textura mas suave), mientras que en paja de arroz sin suplementar (RS-M) tuvo un mayor contenido de FDT y por lo tanto una dureza superior (alrededor de 45% mayor).

Villaescusa y Gil (2003) mencionan que la firmeza de *P. ostreatus* fue influenciada por la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Una reducción significativa en la firmeza se detectó después de 7 y 11 días de almacenamiento en comparación con los valores iniciales. La firmeza del hongo se redujo después del almacenamiento, aunque se consideró que era aceptable en todos los tratamientos. Kotwaliwale *et al.* (2007) encontraron que durante el secado, la dureza se incremento. El aumento de la dureza se puede atribuir a la eliminación de la humedad y puede que haya aumento en la concentración de otros componentes con la eliminación de la humedad durante el secado para *Pleurotus sp.* comerciales. Cuando los hongos se rehidrataron fue evidente que la dureza decrece. La reducción de la dureza se puede atribuir a un ablandamiento de las fibras y los tejidos debido a la humedad.

Seria interesante realizar pruebas sensoriales ya que la dureza en la boca, en donde las propiedades de fusión juegan un papel, implica una percepción más compleja de la percivida por el instrumento.

Cuadro 25. Dureza (kgf) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de *Pleurotus spp.* en diferentes sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Dureza(kgf) ± ESM	Dureza(kgf) ± ESM	Dureza(kgf) ± ESM
<b>Bagazo</b>	0.1538 ± 0.045 <sup>A a</sup>	0.1707 ± 0.035 <sup>A a</sup>	0.0656 ± 0.016 <sup>A a</sup>
<b>75-25%</b>	0.0692 ± 0.007 <sup>A a</sup>	0.0831 ± 0.019 <sup>A a</sup>	0.1412 ± 0.005 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	0.0922 ± 0.017 <sup>A b</sup>	0.2339 ± 0.018 <sup>A b</sup>	0.1078 ± 0.018 <sup>A b</sup>
<b>25-75%</b>	0.1051 ± 0.020 <sup>A a</sup>	0.1149 ± 0.016 <sup>A a</sup>	0.1418 ± 0.030 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	0.2572 ± 0.043 <sup>A b</sup>	0.0522 ± 0.011 <sup>A b</sup>	0.1845 ± 0.014 <sup>A b</sup>

### 7.2.3.2. Cohesividad

La cohesividad es la fuerza de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto, es un parámetro primario de la textura de los alimentos. Para este parámetro no se observaron diferencias significativas entre las cepas, según el ANOVA de dos vías, aun que se pudo notar que los valores más altos fueron para UAP9 (Cuadro 26). Meullenet *et al.* (1998), realizaron un análisis de perfil de textura a ventium alimentos diferentes (manufacturados y naturales) y reportan un rango de cohesividad que va de 0.035 (cacahuate) a 0.749 (gelatina), con valores cercanos a la investigación mostrada, para el pan de centeno y blanco, asi como salchichas y

clara de huevo. Kotwaliwale *et al.* (2007) obtuvieron una cohesividad de 0.54 para hongos frescos de *Pleurotus sp.* este valor es parecido a los obtenidos en el presente trabajo.

En cuanto a los carpoforos producidos en los diferentes tratamientos, tampoco se presentaron diferencias significativas con el ANOVA de dos vías, sin embargo, se observaron mayores valores en las mezclas y menores en el bagazo de *Yucca* en promedio (Cuadro 26). La mayoría de las setas producidas se venden en fresco en el mercado después de un periodo corto de refrigeración o se colocan directamente en cajas para su distribución local. Pueden ser empacadas usando películas plásticas de baja densidad para distribuirse a largas distancias o para su preservación (Martinez-Carrera, 2002). Un alimento con cohesión presenta aptitud para mantener unidos sus elementos (Chamorro y Losada, 2002). Durante el manejo de los alimentos sus tejidos conectivos pueden romperse fácilmente causando su separación, afectando seriamente su apariencia (Botta, 1995). Con una buena cohesividad, los enlaces internos mantienen la integridad del producto, evitando la fractura (Pons y Fiszman, 1996). Por tanto, como estos productos necesitan ser transportados una propiedad importante es su resistencia al manejo que esta estrechamente relacionada a su cohesividad, en este sentido los hongos producidos sobre las mezclas presentan la mejor característica para su distribución.

Se considera que un alimento es blando cuando presenta una baja cohesividad y baja dureza (Botta, 1995). La cohesión se ve afectada por las condiciones ambientales de crecimiento y de procesamiento. Por ejemplo Marino *et al.* (2003) demostró que para *P. ostreatus* sobre aserrín, los hongos cultivados a 15°C presentan una mejor calidad y durabilidad (resistencia al manejo) que los fructificados a 28°C. Kotwaliwale *et al.* (2007) para *Pleurotus sp.* encontraron que durante el secado la cohesividad aumento inicialmente y disminuyo en la etapa final. El aumento inicialmente es debido a la migración de humedad en el interior del hongo, sin embargo, cuando la humedad disminuyo por debajo de un escenario que los huecos capilares fueron creados, la cohesión se redujo. La rápida eliminación de la humedad pudo haber causado el colapso de los huecos capilares dentro del hongo, por ello la cohesión disminuyó con el aumento de la temperatura de secado. La cohesividad aumenta durante la rehidratación, esto se puede atribuir al relleno de los capilares vacíos por la humedad. También la cohesividad se ve afectada por la adhesividad del material en estudio, ya que afecta de manera significativa la segunda compresión (distorsión por la adhesión al dispositivo) (Friedman *et al.*, 1963).

Cuadro 26. Cohesividad (-) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de *Pleurotus* spp. en distintos sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Cohesividad(-) ± ESM	Cohesividad(-) ± ESM	Cohesividad(-) ± ESM
<b>Bagazo</b>	0.3077 ± 0.136 <sup>A a</sup>	0.4417 ± 0.016 <sup>A a</sup>	0.4064 ± 0.028 <sup>A a</sup>
<b>75-25%</b>	0.5817 ± 0.012 <sup>A a</sup>	0.4542 ± 0.049 <sup>A a</sup>	0.3857 ± 0.137 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	0.4419 ± 0.051 <sup>A a</sup>	0.5275 ± 0.057 <sup>A a</sup>	0.5977 ± 0.017 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	0.4328 ± 0.162 <sup>A a</sup>	0.4970 ± 0.014 <sup>A a</sup>	0.5913 ± 0.040 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	0.4234 ± 0.131 <sup>A a</sup>	0.5437 ± 0.062 <sup>A a</sup>	0.4321 ± 0.088 <sup>A a</sup>

### 7.2.3.3. Elasticidad

La elasticidad es la tasa a la cual un alimento vuelve a su tamaño y forma original, después de la compresión parcial (sin falla) y el cual es un parámetro primario. El análisis estadístico, ANOVA de dos vías mostró que existieron diferencias significativas entre las cepas en estudio, el post hoc de Duncan situó a la cepa UAP9 dentro del grupo B y fue quien presentó los mayores valores, siendo diferente a las otras cepas que conformaron el grupo A (Cuadro 27). Meullenet *et al.* (1998), aplicaron un análisis texturométrico a diferentes alimentos (manufacturados y naturales) y reportan un rango de elasticidad que va de 0.11 (salvavidas y estelar) a 0.87 (gelatina), con valores parecidos al presente trabajo para el queso americano. El citado por Kotwaliwale *et al.* (2007) quienes encontraron una elasticidad de 0.63 para los carpoforos frescos de *Pleurotus* sp. son mayores a los medidos en este estudio. En lo que respecta a los diferentes sustratos, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, según el ANOVA de dos vías empleado, sin embargo, se aprecia que los valores más elevados se obtienen cuando la cantidad de bagazo es mayor (tratamientos 1, 2 y 3) (Cuadro 27). Una elasticidad con valor uno o cercana a este valor indica que el material se recupera instantáneamente a la deformación (Pons y Fiszman, 1996). Así mismo, este parámetro refleja la característica debido al comportamiento viscoso. Las propiedades viscoelásticas de los alimentos podrían dar una elasticidad mayor (Pegel, 1976). En general, los valores de elasticidad obtenidos en el presente trabajo son menores al 50%.

Kotwaliwale *et al.* (2007) reportan que la elasticidad se ve afectada negativamente durante el secado, ya que este parámetro aumentó inicialmente y disminuyó al final del proceso, este fenómeno podría ser atribuible a que inicialmente existe una migración de humedad en el interior del cuerpo de hongo, sin embargo, cuando la humedad disminuyó por debajo de un punto tal que los huecos capilares se crearon, la elasticidad cayó drásticamente. La elasticidad medida en el trabajo es real ya que este parámetro se percibe de mejor manera si no hay fractura o falla del material, ya que esta afecta significativamente el valor (Pons y Fiszman, 1996).

Cuadro 27. Elasticidad (-) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en diferentes sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Elasticidad(-) ± ESM	Elasticidad(-) ± ESM	Elasticidad(-) ± ESM
<b>Bagazo</b>	0.3605 ± 0.035 <sup>A a</sup>	0.3827 ± 0.065 <sup>B a</sup>	0.4496 ± 0.038 <sup>A a</sup>
<b>75-25%</b>	0.3107 ± 0.031 <sup>A a</sup>	0.4726 ± 0.039 <sup>B a</sup>	0.3947 ± 0.009 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	0.4770 ± 0.056 <sup>A a</sup>	0.3807 ± 0.064 <sup>B a</sup>	0.2296 ± 0.022 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	0.3520 ± 0.072 <sup>A a</sup>	0.4072 ± 0.015 <sup>B a</sup>	0.2357 ± 0.042 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	0.2466 ± 0.049 <sup>A a</sup>	0.3853 ± 0.045 <sup>B a</sup>	0.3468 ± 0.050 <sup>A a</sup>

#### 7.2.3.4. Adhesividad

La adhesividad es el trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los materiales con los que el alimento entra en contacto, es un parámetro primario de la textura de los alimentos y esta relacionado con las propiedades de superficie del alimento. En este parámetro no se observaron diferencias significativas entre las cepas, según el análisis estadístico usado (ANOVA de dos vías). Por otro lado, el análisis de varianza de dos vías mostró que existen diferencias significativas entre los diferentes sustratos utilizados para el cultivo y la prueba a posteriori de Duncan clasifico dichas diferencias en 2 grupos, presentando el mayor valor promedio la mezcla 50-50 (tratamiento 3) localizándose en el segundo grupo (b), mientras que los demás sustratos conformaron el grupo a (Cuadro 28). Se pudo notar en general que los valores obtenidos en el presente estudio son muy bajos, practicamente cero, lo cual indicaría que este material no se adhiere a las superficies como la lengua, paladar, lengua, etc. siendo una característica desable para un alimento, lo anterior coincide con lo reportado por Bourne, 1968 quien afirmo que la adhesividad podría ser considerada como cero en la mayoría de frutas y vegetales frescos. Por otro lado, la baja adhesividad permite percibir de manera certera los demás parámetros de textura, específicamente la cohesividad, ya que no influye de manera notable en la prueba.

Cuadro 28. Adhesividad (kgf\*mm) del pileo del cuerpo fructifero para tres cepas de Pleurotus spp. en distintos sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Adhesividad(kgf*mm) ± ESM	Adhesividad(kgf*mm) ± ESM	Adhesividad(kgf*mm) ± ESM
<b>Bagazo</b>	0.0011 ± 0.0001 <sup>A b</sup>	0.0022 ± 0.0013 <sup>A b</sup>	0.0101 ± 0.0031 <sup>A b</sup>
<b>75-25%</b>	0.0022 ± 0.0013 <sup>A a</sup>	0.0021 ± 0.0003 <sup>A a</sup>	0.0014 ± 0.0001 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	0.0077 ± 0.0026 <sup>A b</sup>	0.0125 ± 0.0050 <sup>A b</sup>	0.0016 ± 0.0007 <sup>A b</sup>
<b>25-75%</b>	0.0020 ± 0.0009 <sup>A a</sup>	0.0033 ± 0.0009 <sup>A a</sup>	0.0035 ± 0.0015 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	0.0016 ± 0.0010 <sup>A a</sup>	0.0025 ± 0.0012 <sup>A a</sup>	0.0087 ± 0.0076 <sup>A a</sup>

### 7.2.3.5. Gomosidad

La gomosidad es la energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para ingerir, este parámetro es secundario y se obtiene del producto de la dureza y cohesividad. A pesar de ser un parámetro exclusivo para alimentos semisólidos Zivanovic *et al.* (2000) mencionan que es una de las principales características de calidad que se considera en los hongos comestibles (junto con la dureza), por ello se muestra en el presente trabajo. Además Bourne, 2003, menciona que los materiales semisólidos sufren deformación permanente y no tiene elasticidad, anteriormente ya se pudo comprobar que los hongos en estudio si presentan elasticidad y esta se encuentra por debajo del 50%.

De acuerdo con el análisis estadístico aplicado (ANOVA de dos vías) se observo que las cepas no presentan diferencias significativas (Cuadro 29). Las medidas del presente trabajo son menores a lo obtenido por Jiménez, 2002, quien reporta un valor de masticabilidad de 0.7546kgf para cuerpos fructíferos enteros de *Pleurotus* producidos en paja de trigo y 0.5914kgf para cortes cilíndricos de 18mm de diámetro y 10mm de espesor.

Por otra parte, tampoco se encontraron diferencias significativas entre los sustratos de cultivo (ANOVA de dos vías), sin embargo, se observó un comportamiento similar al encontrado en el parámetro de dureza, en donde el control (paja de trigo) y la mezcla 1:1 (tratamiento 3), presentaron los mayores valores (Cuadro 25 y 29). Este comportamiento indica que el tejido de los carpóforos en los sustratos 3 y 5 requiere de una mayor fuerza para ser desintegrados durante la masticación, que la requerida por los carpóforos en los sustratos 1, 2 y 4. Esta característica favorece a estos últimos, ya que comercialmente los carpóforos de textura suave son mejor aceptados que los de textura correosa y difíciles de digerir (Jimenez, 2000).

En general, los valores obtenidos en el presente trabajo son menores a los reportados, esto se debe principalmente a las diferentes condiciones de análisis (como en la dureza), en donde la compresión reportada fue de 50-60% de la altura inicial de las muestras, mientras que en este trabajo la compresión fue del 30%. Estas condiciones afectaron tanto a la dureza como a la gomosidad, ya que este último incluye en su cálculo al valor de dureza.

Cuadro 29. Gomosidad (kgf) del pileo del cuerpo fructífero para tres cepas de *Pleurotus* spp. en diferentes sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Gomosidad(kgf) ± ESM	Gomosidad(kgf) ± ESM	Gomosidad(kgf) ± ESM
<b>Bagazo</b>	0.0619 ± 0.033 <sup>A a</sup>	0.0754 ± 0.015 <sup>A a</sup>	0.0280 ± 0.009 <sup>A a</sup>
<b>75-25%</b>	0.0404 ± 0.005 <sup>A a</sup>	0.0350 ± 0.005 <sup>A a</sup>	0.0557 ± 0.021 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	0.0448 ± 0.013 <sup>A a</sup>	0.1262 ± 0.025 <sup>A a</sup>	0.0650 ± 0.012 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	0.0490 ± 0.021 <sup>A a</sup>	0.0566 ± 0.007 <sup>A a</sup>	0.0827 ± 0.016 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	0.1158 ± 0.044 <sup>A a</sup>	0.0276 ± 0.005 <sup>A a</sup>	0.0778 ± 0.017 <sup>A a</sup>

### 7.2.3.6. Masticabilidad

La masticabilidad es la cantidad de energía requerida para masticar un alimento sólido a un estado listo para tragar, es un parámetro secundario de textura y se obtiene del producto de la dureza, cohesividad y elasticidad. Al realizar la prueba ANOVA de dos vías no se obtuvieron diferencias significativas entre las tres cepas utilizadas, pero, se observó que la cepa UAP9 presentó el mayor valor promedio (Cuadro 30). Meullenet *et al.*, (1998), aplicaron un análisis texturométrico a veintinueve alimentos (manufacturados y naturales) y reportan un intervalo de masticabilidad que va de 0.02kgf\*mm (queso crema y pan de maíz) a 1.27kgf\*mm (salvavidas). Kotwaliwale *et al.* (2007) reportaron una masticabilidad de 0.0143 kgf\*mm para los carpoforos frescos de *Pleurotus* sp. Los valores obtenidos en el presente trabajo se encuentran dentro de lo reportado en la literatura.

Con respecto a los tratamientos, tampoco se encontraron diferencias significativas, según el análisis estadístico (ANOVA de dos vías), sin embargo, se pudo notar que la mezcla 1:1 (tratamiento 3) presentó el valor promedio más alto (Cuadro 30). Esto concuerda con lo encontrado en los parámetros de dureza y cohesividad que en este tratamiento presentan valores elevados. Esto quiere decir que en este tratamiento se generan hongos con opción a la desintegración ligeramente mayores que en los demás sustratos.

Sería interesante aplicar pruebas sensoriales de textura a los cuerpos fructíferos obtenidos ya que la saliva durante la masticación humana podría ser un factor decisivo, el cual obviamente modifica las magnitudes de los parámetros mecánicos.

Cuadro 30. Masticabilidad (kgf\*mm) del pileo del cuerpo fructífero para tres cepas de *Pleurotus* spp. en distintos sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Masticabilidad(kgf*mm) ± ESM	Masticabilidad(kgf*mm) ± ESM	Masticabilidad(kgf*mm) ± ES
<b>Bagazo</b>	0.0200 ± 0.011 <sup>A a</sup>	0.0273 ± 0.004 <sup>A a</sup>	0.0132 ± 0.005 <sup>A a</sup>
<b>75-25%</b>	0.0125 ± 0.002 <sup>A a</sup>	0.0169 ± 0.003 <sup>A a</sup>	0.0216 ± 0.008 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	0.0180 ± 0.003 <sup>A a</sup>	0.0434 ± 0.002 <sup>A a</sup>	0.0143 ± 0.002 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	0.0152 ± 0.007 <sup>A a</sup>	0.0232 ± 0.003 <sup>A a</sup>	0.0177 ± 0.002 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	0.0224 ± 0.005 <sup>A a</sup>	0.0103 ± 0.002 <sup>A a</sup>	0.0255 ± 0.005 <sup>A a</sup>

### 7.3. Análisis Bromatológico

La crisis energética, el deterioro del medio ambiente y el acusado crecimiento demográfico ponen de manifiesto la importancia de producir alimentos proteicos de calidad, siempre que su producción no ocasione un riesgo contaminante. Los hongos comestibles constituyen una importante fuente de alimento en algunos países en vías de desarrollo. La composición química de los hongos comestibles determina su valor nutricional y propiedades

sensoriales (Manzi *et al.*, 2001). Esta composición difiere según la especie, también depende del sustrato, las condiciones atmosféricas, la edad y parte del hongo (Dundar *et al.*, 2008). La bromatología de *P. ostreatus* es muy variable y depende del estado de desarrollo y la cepa utilizada; la variabilidad es ocasionada por diferencias en el contenido de humedad, temperatura y la presencia de nutrientes (Varnero *et al.*, 2010). Los hongos como alguno de los vegetales que normalmente forman parte de la dieta diaria, presentan una composición nutricional similar, ambos están compuestos por más del 80% de agua, son bajos en grasas y ricos en vitaminas y minerales (Ciappini *et al.*, 2004).

Por tanto, como el análisis proximal es un método por el cual se evalúan las propiedades nutritivas de los alimentos. Este análisis se realizó en los cuerpos fructíferos del hongo de acuerdo con las técnicas reportadas en material y métodos, obteniéndose resultados para proteína cruda, grasa total, fibra cruda, carbohidratos totales, ceniza totales y humedad. Se pudo observar que solo los datos de proteína y carbohidratos no tienen diferencias significativas (ANOVA de dos vías) entre las diferentes cepas cultivadas (Cuadro 31). Por otra parte, se encontró que existen diferencias significativas (ANOVA de dos vías) para todos los parámetros bromatológicos según el material que sirve de sustrato (Cuadro 31).

Cuadro 31. Significancia del analisis bromatologico a los carpoforos de *Pleurotus* spp. en relacion con la cepa, sustrato y la interaccion cepa x sustrato.

Causa de variacion	Valor de F					
	Humedad	Cenizas totales	Lipidos totales	Fibra cruda	Proteina cruda	Carbohidratos totales
<b>Cepa</b>	*	*	*	*	ns	ns
<b>Sustrato</b>	*	*	*	*	*	*
<b>Cepa x Sustrato</b>	*	*	*	*	ns	*

### 7.3.1. Humedad.

La humedad que presentan las diversas especies y cepas del genero *Pleurotus* es muy variable, por ejemplo Bano *et al.* (1963) reportaron un valor promedio de 90.95% para *Pleurotus* sp. crecido sobre paja de trigo. Los cuerpos fructiferos de *P. ostreatus* y *P. sajor-caju* provenientes de plantas comerciales presentaron un rango de 92.63% al 94.07% según Caglarırmak (2007). Por otro lado, Manzi *et al.* (1999) encontraron valores de 85.2% a 94.7% para *P. ostreatus*, *P. eryngii* y *P. pulmonarius* cultivados en paja de trigo. Los valores reportados en la literatura son cercanos a los obtenidos en este trabajo que presentan un intervalo de 91.12% a 94.27% (Cuadro 32). El alto contenido de humedad de los hongos frescos ha sido considerado como una adaptación fisiológica al mantenimiento de la concentración osmótica celular, debido a la presencia de compuestos tales como manitol y

otras sustancias osmóticamente activas en cantidades significativas (Bano y Rajarathnam, 1988 citado por Moda, 2008).

El análisis estadístico (ANOVA de dos vías) mostró que existen diferencias significativas entre las cepas y el tipo de sustrato en cuanto a la humedad que presentan los hongos, pero, sin seguir una tendencia definida, probablemente la variación se deba atribuir a las fluctuaciones en las condiciones ambientales (temperatura ambiente, humedad relativa), ya que no se tuvo un control en la cámara de fructificación. Al respecto Bonatti *et al.* (2004) mencionan que la humedad no se ve afectada por el tipo de sustrato. Se ha reportado que una humedad alta se debe a la buena aspersión de agua realizada en el cuarto de fructificación durante toda la etapa y que la variabilidad depende exclusivamente de las especies de hongos y otros parámetros de interferencia como período de post-cosecha, temperatura y almacenamiento (Ahmed *et al.*, 2009; Ciappini *et al.*, 2004; Dundar *et al.*, 2009b). Garcés *et al.* (2005) mencionan que el contenido de humedad en los hongos se debe a las condiciones de manejo al momento de la cosecha. Por otro lado Onuoha y Obi-Adumanya (2010) afirman que la alta humedad de los hongos puede ser el resultado de tener un pileo más grande el cual contiene mayor humedad que las otras partes de la seta (estípite y tubérculo).

Cuadro 32. Humedad (%) promedio de los carpóforos de *Pleurotus* spp. crecido en diferentes sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Humedad(%) ± ESM	Humedad(%) ± ESM	Humedad(%) ± ESM
<b>Bagazo</b>	93.17 ± 0.30 <sup>B b</sup>	93.43 ± 0.25 <sup>A b</sup>	93.20 ± 0.16 <sup>B b</sup>
<b>75-25%</b>	92.66 ± 0.20 <sup>B c</sup>	92.38 ± 0.02 <sup>A c</sup>	93.19 ± 0.12 <sup>B c</sup>
<b>50-50%</b>	91.12 ± 0.08 <sup>B a</sup>	91.93 ± 0.34 <sup>A a</sup>	93.22 ± 0.45 <sup>B a</sup>
<b>25-75%</b>	93.62 ± 0.21 <sup>B b</sup>	92.95 ± 0.30 <sup>A b</sup>	92.88 ± 0.12 <sup>B b</sup>
<b>Paja</b>	94.27 ± 0.05 <sup>B c</sup>	92.11 ± 0.22 <sup>A c</sup>	92.15 ± 0.14 <sup>B c</sup>

### 7.3.2. Ceniza total

Las cenizas contienen los minerales, encontrándose elementos como el sodio, calcio, zinc, fósforo, entre otros (Tisdale, 2004). Vetter, 2003 citado por Akyüz *et al.* (2010b), menciona que los elementos minerales son esenciales para la salud humana. La concentración de los elementos tiene un efecto fisiológico importante en los diferentes órganos y mecanismos celulares por lo tanto, es necesario conocer los niveles de elementos tóxicos y esenciales en las setas antes de usarlos. La cenizas totales de los hongos comestibles oscilan entre el 3.7% (Shii-take) al 11.4% (Morchellas) y *P. ostreatus* presenta valores intermedios (Ciappini *et al.*, 2004). Se ha reportado que los minerales se concentran fuertemente en los cuerpos fructíferos (Miles y Chang, 1999 citado por Garcés *et al.*, 2005). Existe una variabilidad en el contenido de cenizas reportado en la literatura, por ejemplo BANO *et al.* (1963) encontraron un valor

promedio para *Pleurotus sp.* crecido sobre paja de trigo de 9.7%. Para *P. ostreatus*, *P. eryngii* y *P. pulmonarius* producidos en el mismo sustrato se reporto un rango que va de 6.9% al 10.6% (Manzi *et al.*, 1999). Aguilar-Rivera y De Jesús-Merales (2010) hallaron para *P. ostreatus* sobre paja de trigo y bagazo de caña de azúcar valores de ceniza total de 8.3% y 5.8% respectivamente. Espinosa-Valdemar *et al.* (2011) reportaron un valor promedio de 9.9% para *P. ostreatus* crecido sobre paja de trigo y pañales desechables. En general, los valores de cenizas obtenidos en el presente trabajo (7.70% a 9.35%) se encuentran en el rango que reportan los autores (Cuadro 33). Según el análisis de varianza realizado a los datos revelo diferencias significativas en los valores de cenizas tanto entre las cepas como en entre los diferentes sustratos de crecimiento. Sin embargo, no se tiene una tendencia bien definida ya que los datos se comportan de una manera compleja, muestran un comportamiento zigzagueante (con altas y bajas a lo largo de los tratamientos) sin explicar el motivo de dicha observación, entonces no se puede atribuir la variación a los distintos sustratos de crecimiento.

Se ha citado que el contenido de cenizas (minerales) en el cuerpo fructífero se ve afectado por la procedencia del hongo, por ejemplo Akyüz *et al.* (2010b) reportaron variaciones entre cepas silvestres (12.7% a 13.7%) y comerciales (6.0 a 6.3%). También se ve afectado por el tipo de especie ya que se ha encontrado que *P. ostreatus* contiene 5.81%, mientras que *P. sajor-caju* presenta 7.95% (Chirinang y Intarapichet, 2009). De igual forma se ve involucrado el tipo de sustrato empleado para la fructificación, por ejemplo, Forero *et al.* (2008) obtuvieron rangos altos (8.81-9.84%) de cenizas para *P. ostreatus* en residuos de ají con cascarilla de arroz y con pasto King Grass, ellos atribuyen dichos valores a los elevados contenidos de cenizas que suministraron los sustratos. Incluso las partes del hongo muestran valores diferentes de minerales como lo reporta Akindahunsi y Oyetayo (2006) quienes encontraron un contenido del 2.6% en el estípite y del 4.9% en el pileo. Akyüz *et al.* (2010b) mencionan que la concentración de metales en los hongos está afectada principalmente por el contenido de materia orgánica y ácidos de los ecosistemas y el suelo. La absorción de los iones metálicos por las setas es en muchos aspectos diferente a la de las plantas, por lo que las concentraciones de metales dependerán de las especies de hongos y sus ecosistemas.

Cuadro 33. Cenizas totales (%) promedio de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus spp.* crecido en distintos sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Cenizas(%) ± ESM	Cenizas(%) ± ESM	Cenizas(%) ± ESM
<b>Bagazo</b>	8.55 ± 0.06 <sup>Cc</sup>	8.14 ± 0.06 <sup>A c</sup>	9.35 ± 0.06 <sup>B c</sup>
<b>75-25%</b>	8.85 ± 0.05 <sup>C a</sup>	8.47 ± 0.05 <sup>A a</sup>	7.70 ± 0.17 <sup>B a</sup>
<b>50-50%</b>	9.20 ± 0.06 <sup>C b</sup>	7.79 ± 0.06 <sup>A b</sup>	8.47 ± 0.03 <sup>B b</sup>
<b>25-75%</b>	8.59 ± 0.05 <sup>C b</sup>	8.60 ± 0.04 <sup>A b</sup>	8.46 ± 0.04 <sup>B b</sup>
<b>Paja</b>	8.08 ± 0.08 <sup>C a</sup>	8.62 ± 0.01 <sup>A a</sup>	8.26 ± 0.02 <sup>B a</sup>

### 7.3.3. Grasa total

Actualmente en vista de su bajo contenido de lípidos, y por tanto bajas calorías, el genero *Pleurotus* es adecuado como un componente en la dieta de restricción de peso (Silva *et al.*, 2002; Akindahunsi y Oyetayo, 2006). Los valores medidos de grasa total en el presente estudio (Cuadro 34) son inferiores a los citados por Ortega *et al.* (1992) quienes obtuvieron para *Pleurotus spp.* crecido sobre residuos del cultivo de cañan de azúcar un rango de 3.3% a 4.7% de grasa, estos mismos autores señalan que los resultados son mas bajos comparados con lo que se obtuvo para otros hongos comestibles como *A. bisporus* (8%), *L. edodes* (5%) y *V. volvacea* (10%). Bonatti *et al.* (2004) obtuvieron para *P. ostreatus* y *P. sajor-caju* fructificados en paja de arroz y paja de plátano altos valores de grasa (4.99-6.32%). Por otro lado, los datos obtenidos en el presente trabajo son similares a lo reportado por Forero *et al.* (2008) quienes encontraron bajos niveles de lípidos totales (1.41-2.85%) en cuerpos fructíferos de *P. ostreatus* cultivados en residuos de ají con cascarilla y con pasto King Grass. Bano *et al.* (1963) reporta para *Pleurotus sp.* sobre paja de trigo un contenido de 1.7% de lípidos totales. Los cuerpos fructíferos de *P. sajor-caju*, *P. florida* y *P. eous* utilizando paja de soja como sustrato arrojaron valores de grasa cruda de 1.2% a 1.9% (Ingale y Ramteke, 2010).

El análisis de varianza realizado (ANOVA de dos vías) a los datos de grasa total reveló que existen diferencias significativas tanto entre las cepas en estudio como entre los tratamientos aplicados. Para las cepas según el post hoc de Duncan se formaron 2 grupos, la cepa parental UAP9 y la cepa hibrida SAUA conformaron el primer grupo (A), mientras que la cepa SEC se localizó en el grupo B y presenta un valor promedio mayor a las dos anteriores. Para los sustratos la prueba a posteriori de Duncan distinguió la formación de 3 grupos, el tratamiento con menor contenido de bagazo de yuca y el control 4 y 5 respectivamente presentaron los valores mas bajos (grupo a), mientras que apartir del 50% de bagazo se obtienen datos ligeramente mayores (Cuadro 34). Esta característica podría ser importante ya que en la actualidad este componente alimenticio se prefiere que este presente en cantidades bajas.

La variación del contenido de grasa cruda no obedece al tipo de sustrato según lo afirman la literatura (Liu *et al.*, 2005). Pero, si puede intervenir la procedencia de la cepa, por ejemplo Akyüz y Kirbağ (2010b) encontraron para *Pleurotus sp.* que la grasa total va de 0.9 a 1.3% para hongos silvestres y de 0.5 a 1.0% para hongos cultivados. Por otro lado, Bermúdez *et al.* (2002) mencionan que la cantidad de lípidos en *P. ostreatus* sobre residuos de cacao no se ve afectado por el régimen de iluminación y considera que la variación puede ser atribuible a la naturaleza del hongo. Los carpoforos de *P. eryngii* presentaron un aumento de casi el doble de grasa cruda (de 2.5% a 4.1%) al adicionar salvado de trigo (10 o 20%) al sustrato y esto podría derivar de la estructura biológica del aditivo (Akyüz y Kirbağ, 2010). Akindahunsi y Oyetayo

(2006) observaron que le estípite contiene menor cantidad de lípidos totales (0.7%) que el pileo (1.1%).

Cuadro 34. Lípidos totales (%) promedio de los hongos de *Pleurotus* spp. crecido en diferentes sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Grasa(%) ± ESM	Grasa(%) ± ESM	Grasa(%) ± ESM
<b>Bagazo</b>	1.86 ± 0.08 <sup>B<sup>b</sup></sup>	1.51 ± 0.01 <sup>A<sup>b</sup></sup>	2.10 ± 0.16 <sup>A<sup>b</sup></sup>
<b>75-25%</b>	2.08 ± 0.15 <sup>B<sup>b</sup></sup>	1.52 ± 0.07 <sup>A<sup>b</sup></sup>	1.61 ± 0.04 <sup>A<sup>b</sup></sup>
<b>50-50%</b>	1.96 ± 0.10 <sup>B<sup>c</sup></sup>	2.17 ± 0.15 <sup>A<sup>c</sup></sup>	1.82 ± 0.05 <sup>A<sup>c</sup></sup>
<b>25-75%</b>	1.94 ± 0.04 <sup>B<sup>a</sup></sup>	1.50 ± 0.04 <sup>A<sup>a</sup></sup>	1.50 ± 0.03 <sup>A<sup>a</sup></sup>
<b>Paja</b>	1.81 ± 0.15 <sup>B<sup>a</sup></sup>	1.42 ± 0.09 <sup>A<sup>a</sup></sup>	1.64 ± 0.02 <sup>A<sup>a</sup></sup>

#### 7.3.4. Fibra cruda

INN, 2001 citado por Ciappini *et al.*, 2004 mencionan que algunos compuestos funcionales como la quitina y los beta glucanos (considerados responsables de ciertas propiedades medicinales, como la disminución del colesterol y niveles de glucosa en sangre y el incremento de la resistencia del sistema inmunológico) están presentes en la fracción de fibra de los hongos, en particular en la fracción insoluble, el contenido de fibra dietaria del *P. ostreatus* presenta valores intermedios, sin embargo, dichos valores aún son considerados importantes nutricionalmente. Bano *et al.* (1963) para *Pleurotus* sp. sobre paja de trigo informan un contenido 10.8% de fibra cruda en los carpoforos. Patrabansh y Madan (1997) citado por Bonatti *et al.* (2004) reportan valores que van del 12.70% al 18.01% para *P. sajor-caju* cultivado en diversos residuos agroindustriales. En los cuerpos fructíferos de *P. sajor-caju*, *P. florida* y *P. eous* sobre paja de soja se encontraron valores de fibra cruda de 10.9 a 12.00% (Ingale y Ramteke, 2010).

Los datos obtenidos en el presente trabajo están ligeramente por encima de lo reportado en la literatura (Cuadro 35). Al realizar la prueba de ANOVA de dos vías mostró que existieron diferencias significativas tanto entre las cepas como entre los sustratos. La prueba de Duncan mostró la formación de 2 grupos para las cepas, la cepa SEC tubo los valores más altos (grupo B) en comparación a las otras dos cepas que conformaron el grupo A. El post hoc de Duncan determino la existencia de 3 grupos entre los tratamientos, los hongos que crecieron en los tratamientos que tienen los materiales solos (bagazo de yuca y paja de trigo) presentaron los datos mas elevados de fibra cruda y se localizan en el grupo c, en comparación a las mezclas que conforman los grupos a y b. Esto es importante ya que el contenido de fibra cruda es elemental en la nutrición humana, indica que los hongos son eficaces como participantes en la regulación intestinal debido a que ayuda al organismo en la digestión de los alimentos, además de ser útil en su excreción (Silva *et al.*, 2002; Baena, 2005).

Cuadro 35. Fibra cruda (%) promedio de los carpoforos de *Pleurotus* spp. crecido en distintos sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Fibra(%) ± ESM	Fibra(%) ± ESM	Fibra(%) ± ESM
<b>Bagazo</b>	19.45 ± 0.18 <sup>Bc</sup>	17.92 ± 0.88 <sup>Ac</sup>	16.54 ± 0.29 <sup>Ac</sup>
<b>75-25%</b>	16.59 ± 0.37 <sup>Ba</sup>	16.15 ± 0.13 <sup>Aa</sup>	16.46 ± 0.40 <sup>Aa</sup>
<b>50-50%</b>	16.73 ± 0.55 <sup>Bb</sup>	16.55 ± 0.30 <sup>Ab</sup>	18.26 ± 0.36 <sup>Ab</sup>
<b>25-75%</b>	15.95 ± 0.14 <sup>Ba</sup>	16.22 ± 0.95 <sup>Aa</sup>	17.27 ± 0.51 <sup>Aa</sup>
<b>Paja</b>	19.75 ± 0.29 <sup>Bc</sup>	18.10 ± 0.16 <sup>Ac</sup>	14.99 ± 0.13 <sup>Ac</sup>

### 7.3.5. Proteína cruda

Ortega *et al.* (1992) reportan para *Pleurotus* spp. sobre residuos del cultivo de caña de azúcar un rango de proteína cruda que va del 23 al 33%, el cual es mayor a lo que presentan otros hongos comestibles como *Agaricus bisporus* (24%), *Lentinula* (*Lentinus*) *edodes* (13%) y *Volvariella volvacea* (21%).

El análisis estadístico (ANOVA de dos vías) mostró que los valores obtenidos en el trabajo no presentan diferencias significativas entre las cepas (Cuadro 36). Lo observado está de acuerdo con lo que reportan Chirinang y Intarapichet (2009) para *P. ostreatus* y *P. sajor-caju*, en donde no hubo diferencias significativas entre las especies cultivadas (20.82 y 21.30%) y los perfiles de aminoácidos fueron similares en ambos hongos. Por otro lado, Akyüz y Kirbağ (2010) mencionan que el contenido de proteínas varía en función de la estructura genética de las especies, esto significa que los hongos cultivados (12.9-19.7%) contienen más proteínas que las setas silvestres (8.5%). Garzón y Cuervo (2008) reportan que el contenido de proteína cruda (bs) de *P. ostreatus* oscila entre 10.5 a 30.4%, y la calidad biológica de estas proteínas en términos de contribución nutricional para la dieta humana es alta según Valencia del Toro *et al.* (2006).

Por otro lado, el análisis de varianza ANOVA de dos vías reveló que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan, permitió identificar 2 grupos (Cuadro 36). En el primer grupo (a), las medias de los tratamientos 2, 3, 4 y 5, son estadísticamente iguales, siendo dentro de este grupo el tratamiento control el que presentó los valores más bajos, el contenido de proteína cruda fue mayor en el sustrato constituido por bagazo de yuca solo (tratamiento 1) el cual se localiza en el segundo grupo (b). Estos resultados sugieren que el sustrato afecta la cantidad de proteína en los cuerpos fructíferos. Estas observaciones están de acuerdo con lo que reportan diversos autores, ya que se ha detectado que la cantidad de nitrógeno influye positivamente en el contenido de proteínas y aminoácidos en los carpoforos (Wang *et al.*, 2001; Garcés *et al.*, 2005; Dundar *et al.*, 2009b).

Naraian *et al.* (2011) afirman que la disponibilidad de los nutrientes puede afectar la composición y, especialmente, el contenido de proteínas de cuerpos fructíferos de los hongos ostra. Al respecto Forero *et al.* (2008) mencionan que se puede apreciar que la naturaleza química del sustrato tiene una acción marcada sobre la composición química de los cuerpos fructíferos y esto se atribuye a la importancia que tiene el nitrógeno como nutriente durante el crecimiento y desarrollo del hongo. Akindahunsi y Oyetayo (2006) reportan mayor concentración de proteína cruda en el pileo (13.8%) que en el estípite (7.8), el análisis de los aminoácidos muestra que la proteína contiene todos los aminoácidos esenciales. Estos resultados muestran, como se esperaba, que se mantiene el valor nutricional al emplear las mezclas en la producción de setas comestibles. Las condiciones físicas del lugar de cultivo no se ven involucradas en el contenido de proteína cruda, según Bermúdez *et al.* (2003) para *P. ostreatus* sobre residuos de cacao con períodos de luz de 4, 8 y 12h, no se apreciaron variaciones en la concentración de proteínas totales, que mostraron valores de 28.37, 28.68 y 28.89%.

Como se puede apreciar en la literatura se reporta una amplia variabilidad sobre el contenido de proteína cruda esto también se puede atribuir al factor utilizado de conversión de nitrógeno. En vista del hecho de que los hongos contienen una cantidad importante de nitrógeno no proteico en forma de glucosamina en sus paredes celulares de quitina y que está presente en diferentes cantidades en las especies de hongos y, en consecuencia, el factor multiplicativo (4.38) no puede ser perfectamente adecuado para todas las muestras. Una estimación de la proteína puede ser obtenida de la suma de la cantidad de cada aminoácido expresado como porcentaje de la muestra seca o húmeda. La falta de proporcionalidad matemática entre estos resultados podría explicarse asumiendo una cantidad diferente de compuestos que contienen nitrógeno en las muestras estudiadas (Manzi *et al.*, 1999; Shashirekha *et al.*, 2002; Moda, 2008).

Los valores de proteína cruda en el presente estudio son menores a los obtenidos por Çaglarirmak (2007) que encontró un valor medio de 21.76% (bs) para *P. sajorcaju* cultivado en paja de trigo. Rangunathan y Swaminathan (2003) obtuvieron medidas superiores, con valores de 31.4, 44.3, 36.2 e 38.3% de proteína cruda para *P. sajor-caju* cultivado en residuos del cultivo de algodón, paja de maíz, sorgo y mezcla, respectivamente. En general, se obtuvieron niveles bajos de proteína cruda en el presente estudio esto puede atribuirse a que las condiciones del cultivo no fueron controladas, especialmente en lo referente a la contaminación. Chiejina y Olufokunbi (2010) afirman que los microorganismos de la fermentación en el aserrín pueden alimentarse de las proteínas de los esporóforos, por tanto, podrían tener menor contenido de proteína para *Pleurotus tuber-regium*.

Cuadro 36. Proteína cruda (%) promedio de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus* spp. crecido en diferentes sustratos.

Cepa	SEC	UAP9	SAUA
<b>Tratamiento</b>	Proteína(%) ± ESM	Proteína(%) ± ESM	Proteína(%) ± ESM
<b>Bagazo</b>	17.09 ± 1.22 <sup>A b</sup>	18.96 ± 0.28 <sup>A b</sup>	18.85 ± 0.59 <sup>A b</sup>
<b>75-25%</b>	16.54 ± 0.67 <sup>A a</sup>	17.89 ± 0.71 <sup>A a</sup>	17.68 ± 0.54 <sup>A a</sup>
<b>50-50%</b>	16.66 ± 0.76 <sup>A a</sup>	17.90 ± 1.33 <sup>A a</sup>	17.68 ± 0.59 <sup>A a</sup>
<b>25-75%</b>	16.43 ± 0.50 <sup>A a</sup>	16.63 ± 0.75 <sup>A a</sup>	18.12 ± 0.51 <sup>A a</sup>
<b>Paja</b>	17.00 ± 1.25 <sup>A a</sup>	15.69 ± 0.70 <sup>A a</sup>	15.88 ± 0.67 <sup>A a</sup>

### 7.3.6. Carbohidratos

Los carbohidratos son degradados como fuente de energía para la formación de cuerpos fructíferos y también sirven como componentes estructurales de los carpóforos, ya que los hongos, en peso seco se sabe que contienen 60% de carbohidratos (Shashirekha, 2002). Ortega *et al.* (1992) reportaron para *Pleurotus* spp. sobre residuos del cultivo de caña de azúcar gran variabilidad en el contenido de carbohidratos totales con un rango que va de 36% a 68%. Rashad *et al.* (2009) encontraron valores mas bajos para *Pleurotus ostreatus* crecido sobre pulpa de limón, residuos de papaya y paja de arroz con un rango que varia de 20.88% a 33.00% y mencionan que esta variación se le atribuye al tipo de sustrato empleado para la producción. También se reportado que la especie afecta el nivel de carbohidratos presente en los carpóforos ya que Chirinang y Intarapichet (2009) en hongos de granjas comercializadoras encontraron que *P. ostreatus* contiene 68.35% mientras que para *P. sajor-caju* obtuvieron 65.14% de carbohidratos totales. Akindahunsi y Oyetayo (2006) afirman incluso que según la parte del cuerpo fructífero afecta el contenido de carbohidratos ya que observaron que es menor la cantidad en el estípite (34.0%) que en el pileo (53.2%). Por otro lado, Bonatti *et al.* (2004) para *P. ostreatus* y *P. sajor-caju* sobre paja de arroz y paja de plátano encontraron un total de carbohidratos de 42.8% a 47.6%, el cual no mostró diferencias entre los cuerpos de fructificación, las especies estudiadas o el sustratos empleado para el cultivo.

Los datos obtenidos en la presente investigación no mostraron diferencias significativas (ANOVA de dos vías) entre las cepas, pero si existieron diferencias significativas según el material utilizado como sustrato, la prueba de Duncan reveló la formación de 2 grupos, obteniéndose el valor mas bajo para el bagazo solo (tratamiento 1) el cual se localiza en el grupo a y los tratamientos 2, 3, 4 y 5 conformaron el segundo grupo (b) con los valores mas altos (Cuadro 37). Esto es importante por que los carbohidratos son la principal fuente de energía y si los hongos contienen mayor cantidad de estas sustancias podrian aportar un superior valor energético. La glucosa es el azúcar presente mayoritariamente, seguido por

manosa y trehalosa en los carbohidratos de los hongos (Kim *et al.* 2009; La Guardia *et al.* 2005; Manzi *et al.*, 1999).

Cuadro 37. Carbohidratos totales (%) promedio de los hongos de *Pleurotus* spp. crecido en distintos sustratos.

<b>Cepa</b>	<b>SEC</b>	<b>UAP9</b>	<b>SAUA</b>
<b>Tratamiento</b>	Carbohidratos(%) ± ESM	Carbohidratos(%) ± ESM	Carbohidratos(%) ± ESM
<b>Bagazo</b>	53.06 ± 1.07 <sup>A a</sup>	53.48 ± 0.61 <sup>A a</sup>	53.17 ± 0.74 <sup>A a</sup>
<b>75-25%</b>	55.93 ± 0.81 <sup>A b</sup>	55.97 ± 0.84 <sup>A b</sup>	56.55 ± 0.44 <sup>A b</sup>
<b>50-50%</b>	55.45 ± 1.26 <sup>A b</sup>	55.59 ± 1.17 <sup>A b</sup>	53.76 ± 0.60 <sup>A b</sup>
<b>25-75%</b>	57.09 ± 0.50 <sup>A b</sup>	57.04 ± 0.73 <sup>A b</sup>	54.64 ± 0.38 <sup>A b</sup>
<b>Paja</b>	53.36 ± 1.32 <sup>A b</sup>	56.18 ± 0.72 <sup>A b</sup>	59.24 ± 0.74 <sup>A b</sup>

## 8. CONCLUSIONES

El presente trabajo demuestra que:

Las Eficiencias Biológicas (EB) de los tratamientos 1 y 2 a pesar de ser las más bajas (55-86% y 75-78%, respectivamente) se perciben como aceptables desde el punto de vista comercial, ya que a partir del 50% de EB es redituable económicamente el cultivo de setas. La adición a partir del 50% de bagazo de yuca incrementó considerablemente la EB dando como resultado una EB alrededor del 100%, valor que se considera adecuado para un material que se usa como sustrato en el cultivo de *Pleurotus* spp. La paja de trigo fungió como un buen control, ya que superó el 100% de EB como se esperaba.

La Tasa de Producción (TP) tomó la misma tendencia que la Eficiencia Biológica (EB).

El Rendimiento total (R) corroboró que a partir del 50% de bagazo de yuca en el tratamiento la producción es importante, ya que los tratamientos 3, 4 y 5 fueron estadísticamente iguales.

Analizando por separado las cosechas se podría inferir que el cultivo es más provechoso si se finaliza en la segunda cosecha, ya que presentó más del 80% de la producción total en las dos primeras cosechas y una mejor EB diaria con respecto a la tercera.

Según los parámetros de productividad la cepa UAP9 fue estadísticamente superior a las cepas SEC y SAUA.

Los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) de los cuerpos fructíferos no se ven influenciados significativamente por el tipo de sustrato, manteniéndose la calidad con respecto al control.

Los parámetros de textura, en general, de los carpóforos no se vieron afectados por el tipo de tratamiento, excepto la dureza en la cual cuando se tiene mayor cantidad de bagazo de yuca en el tratamiento les confiere mejor calidad, ya que el consumidor prefieren setas menos correosas.

La composición química de los cuerpos fructíferos se vio influida por el tipo de sustrato de crecimiento, los tratamientos con mayor cantidad de bagazo de yuca presentaron los carpóforos con mayor concentración de proteína cruda. Los carbohidratos totales mostraron valores inversos con respecto a los de proteína en los diferentes tratamientos, es decir, el control tuvo los valores más altos de carbohidratos y más bajos de proteínas. Los valores de humedad, ceniza y fibra cruda fueron altos, los lípidos totales presentaron valores bajos.

Por lo anterior, el bagazo de yuca es un buen material para el establecimiento y desarrollo del hongo *Pleurotus* spp., lográndose una mejor producción y manteniéndose la calidad física y química de los carpóforos si se adiciona como sustituto de paja de trigo a partir del 50%. Esta alternativa es sustentable por que se genera una opción de uso de un desperdicio actual de la agroindustria de extracto de yuca, a la vez que se obtiene beneficios ambientales y socioeconómicos.

## 9. REFERENCIAS

- Adebayo** G. J., Omolara B. N. y Toyin A. E. 2009. Evaluation of yield of oyster mushroom (*Pleurotus pulmonarius*) grown on cotton waste and cassava peel. African Journal of Biotechnology 8 (2): 215-218.
- Adenipekun** C. O. y Gbolagade J. S. 2006. Nutritional Requirements of *Pleurotus florida* (Mont.) Singer, A Nigerian Mushroom. Pakistan Journal of Nutrition 5 (6): 597-600.
- Aguilar** L. 2007. Producción de inóculo líquido para el cultivo de *Pleurotus* spp. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN). D.F. México. Tesis de Maestría, págs. 90.
- Aguilar-Rivera** N. y De Jesús-Merales J. 2010. Edible mushroom *Pleurotus ostreatus* production on cellulosic biomass of sugar cane. Sugar Tech 12(2): 176-178.
- Ahmed** S. A., Kadam J. A., Mane V. P., Patil S. S. y Baig M. M. V. 2009. Biological Efficiency And Nutritional Contents Of *Pleurotus florida* (Mont.) Singer Cultivated On Different Agro-wastes. Nature and Science. 7(1): 44-48.
- Akindahunsi** A. A. y Oyetayo F. L. 2006. Nutrient and antinutrient distribution of edible mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (fries) singer. LWT. 39: 548–553.
- Akyüz** M. y Kirbağ S. 2010. Effect of Various Agro-Residues on Nutritive Value of *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. var. ferulae Lanzi. Journal of Agricultural Sciences 16: 83-88.
- Akyüz** M. y Kirbağ S. 2010b. Nutritive value of wild edible and cultured mushrooms. Turk J Biol 34: 97-102.
- Alemawor** F., Dzogbefia V. P., Oddoye E. O. K. y Oldham J. H. 2009. Effect of *Pleurotus ostreatus* fermentation on cocoa pod husk composition: Influence of fermentation period and Mn<sup>2+</sup> supplementation on the fermentation process. African Journal of Biotechnology Vol. 8(9): 1950-1958.
- Alexopoulos** C, Mims C y Blackwell M. 1996. **Introductory Mycology**. 4 Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, EUA. Págs. 869.
- Andrino** A., Morte A. y Honrubia M. 2011. Caracterización y cultivo de tres cepas de *Pleurotus eryngii* (Fries) Quélet sobre sustratos basados en residuos agroalimentarios. Anales de Biología 33: 53-66.
- Baena** A. 2005. Aprovechamiento del bagazo del maguey (*Agave salmiana*) verde de la agroindustria del mezcal en San Luis Potosí para la producción de de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Instituto Potosino de Investigación Científica Y Tecnológica, A.C. (IPICYT). San Luis Potosí, México. 116 págs.
- Bano** Z. y Rajarathnam S. 1986. Vitamin values of *Pleurotus* mushrooms. Qual Plant Plant Foods Hum Nutr. 36: 11-15.

- Bano Z.**, Srinivasan K. S. y Srivastava H. C. 1963. Amino Acid Composition of the Protein from a Mushroom (*Pleurotus sp.*). *Appl. Microbiol.* 11: 184-187.
- Benavides J** y Herrera J. 2009. Reconocimiento de las características del género *Pleurotus* spp. y sus aplicaciones. Universidad Católica de Manizales. Manizales, Caldas, Colombia. Págs. 24.
- Bermúdez R. C.**, Donoso C., Martínez C. E., Ramos E. I. y Morris H. J. 2002. Efecto de la luz en la concentración de micosteroides de *Pleurotus ostreatus* var. Florida. *Revista Cubana Aliment Nutr* 16(1): 13-8.
- Bermúdez R. C.**, García N. y Murlot A. 2007. Fermentación sólida para la producción de *Pleurotus sp.* sobre mezclas de pulpa de café y viruta de cedro. *Tecnología Química* 27(2): 55-62.
- Bermúdez R. C.**, García N., Gross P. y Serrano M. 2001. Cultivation of *Pleurotus* on agricultural substrates in Cuba. *Micología Aplicada Internacional*. 13(1): 25-29.
- Bermúdez R. C.**, Morris H. J., Donoso C., Martínez C. E. y Ramos E. I. 2003. Influencia de la luz en la calidad proteica de *Pleurotus ostreatus* var. Florida. *Rev Cubana Invest Biomed* 22(4): 226-31.
- Bernabé-González T**, Cayetano-Catarino M., Adán-Díaz A. y Torres-Pastrana M. A. 2004. Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* sobre diversos subproductos agrícolas de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Micología* 18: 77-80.
- Bernas E.**, Jaworska G. y Lisiewska Z. 2006. Edible mushrooms as a source of valuable nutritive constituents. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 5(1): 5-20.
- Bezalel L**, Hadar Y, Cerniglia C. 1996. Mineralization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by the White Rot Fungus *Pleurotus ostreatus*. *Applied and environmental microbiology*. 62(1): 292–295.
- Bonatti M.**, Karnopp P., Soares H. M., y Furlan S. A. 2004. Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when cultivated in different lignocellulosic wastes. *Food Chemistry*. 88: 425–428.
- Bonzom, P.**; Nicolaou, A.; Baldeo, W. 1999. NMR lipid profile of *Pleurotus ostreatus*. *Phytochemistry*. 50: 1311-1321.
- Boscarol M.** 2008. Calculadora gratuita de diferencias de color  $\Delta E$ . <http://www.adobe.com/cfusion/marketplace/index.cfm?event=marketplace.offering&offerid=10244>.
- Botta J. R.** 1995. Evaluation of Seafood Freshness Quality. Wiley-IEEE. New York, E.U.A. Pags. 180.
- Bourne M.** 1978. Texture Profile Analysis. *Food Technol.* 32(7): 62-67.
- Bourne M. C.** 1968. Texture Profile of ripening pears. *J. Food Sci.* 33: 223-226.

- Bourne** M. C. 2003. Texture Profile Analysis Explained and Annotated. [http://128.121.92.221/texture\\_profile\\_analysis.html](http://128.121.92.221/texture_profile_analysis.html).
- Boyle** C, Kropp B R, Reid I. 1992. Solubilization and mineralization of lignin by white rot fungi. Applied and environmental microbiology. 58(10): 3217-3224.
- Bran** M., Morales E., Cáceres R., González M. y Flores R. 2006. Mejoramiento genético y producción de inóculo de cepas nativas de *Pleurotus spp.* Resúmenes de investigaciones Área Técnica, DIGI – USAC. 43-48.
- Cabral**, M. 2004. Crecimiento de Shiitake (*Lentinus edodes*) en medios de cultivo líquidos con aceite automotriz. Tesis inédita. pag: 25.
- Çaglarirmak** N. 2007. The nutrients of exotic mushrooms (*Lentinula edodes* and *Pleurotus* species) and an estimated approach to the volatile compounds. Food Chemistry 105: 1188–1194.
- Cardona** L. 2001. Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Crónica forestal y del medio ambiente 16: 99-119.
- Carrillo** G, Constantino R y Roldán A. Incentivos de la política ambiental para ecología industrial en México. Memorias del 5º Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad 2010. Tecnologías Convergentes para la Competitividad: Innovación y ecología industrial. Celaya, Guanajuato, México. 25 al 27 de agosto del 2010. págs. 31.
- Casassa** F. y Sari S. 2006. Aplicación del Sistema Cie-Lab a los vinos tintos. Correlación con algunos parámetros tradicionales. Revista Enología. 3: 1-10.
- Cayetano-Catarino** M. y Bernabé-González T. 2008. Cultivo de *Pleurotus* sobre residuos de las cosechas de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y plátano (*Musa paradisiaca*). Revista Mexicana de Micología 26: 57-60.
- Cervantes** G, Sosa R, Rodríguez G y Robles F. 2009. Ecología industrial y desarrollo sustentable. *Ingeniería*. 13(1): 63-70.
- Chamorro** C. y Losada M. M. 2002. El Análisis Sensorial de Los Quesos. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pags. 235.
- Chang** S. 1999. World production of cultivated edible and medical mushrooms in 1997 with emphasis on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. in China. International Journal of Medicinal Mushrooms. 1: 291-300.
- Cheeke** P. 2000. Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. Oregon State University, United States. Department of Animal Sciences.
- Chiejina** N. V. y Olufokunbi J. O. 2010. Effects of different substrates on the yield and protein content of *Pleurotus tuberregium*. African Journal of Biotechnology. 9(11): 1573-1577.

- Chirinang P.** y Intarapichet K. O. 2009. Amino acids and antioxidant properties of the oyster mushrooms, *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju*. *Science Asia*, 35: 326–331.
- Ciappini M. C.**, Gatti B., López M. L. 2004. *Pleurotus ostreatus*, una opción en el menú estudio sobre las gírgolas en la dieta diaria. *Invenio*. 7(12): 127-132.
- Cohen R.**, Persky L. y Hadar Y. 2002. Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. *Appl Microbiol Biotechnol*. 58: 582–594.
- Croan S. C.** 2000. Conversion of Wood Waste into Value-Added Products by Edible and Medicinal *Pleurotus* (Fr.) P. Karst. Species (Agaricales s.l., Basidiomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2: 73-80.
- Croan S. C.** 2003. Utilization of treated conifer wood chips by *Pleurotus* (Fr.) P. Karst. species for cultivating mushrooms. *Mushrooms International Newsletter*. 91: 4-7.
- Cruz A.** 2009. Evaluación morfológica y de productividad de cepas híbridas de *Pleurotus* spp. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN). D.F. México. Págs. 34.
- Cuadros A.** 2010. Evaluación antibacteriana de metabolitos secundarios de extractos de cepas híbridas de *Pleurotus* spp. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN). D.F. México. Tesis de Maestría, Págs. 98.
- Curvetto N. R.**, Figlas D., Devalis R. y Delmastro S. 2002. Growth and productivity of different *Pleurotus ostreatus* strains on sunflower seed hulls supplemented with N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and/or Mn(II). *Bioresource Technology*. 84: 171-176.
- Das N.** y Mukherjee M. 2007. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on weed plants. *Bioresource Technology*. 98: 2723–2726.
- Dashtban M.**, Schraft H. y Qin W. 2009. Fungal Bioconversion of Lignocellulosic Residues; Opportunities & Perspectives. *Int. J. Biol. Sci.* 5(6): 578-595.
- Del Pilar-Rios M.**, Hoyos J. L. y Mosquera S. A. 2010. Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 8(2): 86-94.
- Díaz R.** 2009. Efecto del pH inicial de desarrollo de *Pleurotus ostreatus* en fermentación sumergida sobre su actividad de lacasas. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). Tlaxcala, México. Págs. 108.
- Dünder A.** y Yildiz A. 2009. A Comparative Study on *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm. Cultivated on Different Agricultural Lignocellulosic Wastes. *Turk J Biol*. 33: 171-179.
- Dunder A.**, Acay H. y Yildiz A. 2008. Yield performances and nutritional contents of three oyster mushroom species cultivated on wheat stalk. *African Journal of Biotechnology*. 7(19): 3497-3501.

- Dundar A.**, Acay H. y Yildiz A. 2009b. Effect of using different lignocellulosic wastes for cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. on mushroom yield, chemical composition and nutritional value. *African Journal of Biotechnology*. 8(4): 662-666.
- Eichlerová-Volánová I** y Homolka L. 1997. Variability of ligninolytic enzyme activities in basidiospore isolates of the fungus *Pleurotus ostreatus* in comparison with that of protoplast-derived isolates. *Folia Microbiologica*. 42(6): 583-588.
- Espinosa-Valdemar R. M.**, Turpin-Marion S., Delfín-Alcalá I. y Vázquez-Morillas A. 2011. Disposable diapers biodegradation by the fungus *Pleurotus ostreatus*. *Waste Management*. 5: 230-247.
- Fanadzo M.**, Zireva D. T., Dube E. y Mashingaidze A. B. 2010. Evaluation of various substrates and supplements for biological efficiency of *Pleurotus sajor-caju* and *Pleurotus ostreatus*. *African Journal of Biotechnology*. 9 (19): 2756-2761.
- Fernández F.** 2004. Guía Práctica de Producción de Setas ( *Pleurotus* spp.). Fungitec. Guadalajara, Jalisco. México. Págs. 54.
- Flores G.** 2009. Propuesta para el aprovechamiento de residuos industriales de Yucca. Tesis de licenciatura para obtener el título de ingeniero ambiental. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN). Junio 2009 D.F., México. págs. 55.
- Forero C. L.**, Hoyos O. L. y Bazante W. E. 2008. Evaluación de residuos de ají (*Capsicum spp.*) como sustrato en la producción de setas comestibles (*Pleurotus ostreatus*). *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 6(1): 42-53.
- Fracchia S.**, ArandaRickert A. y Terrizzano E. 2009. Cultivo de una cepa comercial de *Pleurotus ostreatus* en desechos de *Simmondsia chinensis* y *Jatropha macrocarpa*. *Revista Mexicana de Micología*. 29: 37-42.
- Friedman H.**, Whitney J. y Szczeniak A. 1963. The texturometer: a new instrument for objective texture measurement. *J. Food Sci.* 28: 390-396.
- Gaitán-Hernández R.**, Salmones D, Pérez R y Mata G. 2006. Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción, 1era. ed., 2a. reimp. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., México, 56 pp.
- Gaitán-Hernández R.** 2005. Evaluación in vitro del hongo comestible *Pleurotus eryngii*: Efecto de diferentes suplementos orgánicos en el crecimiento micelial y producción de cuerpos fructíferos. *Revista Mexicana de Micología*. 21: 77-84.
- Gaitán-Hernández R.** y Salmones D. 2008. Obtaining and characterizing *Pleurotus ostreatus* strains for commercial cultivation under warm environmental conditions. *Scientia Horticulturae*. 118(2): 106-110.

- Gaitán-Hernández R.**, Salmones D., Pérez R. y Mata G. 2009. Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. *Revista Mexicana de Micología*. 30: 63-71.
- Garcés A. M.**, Velez N., Ruiz S., Serna J. G. y Suarez E. 2005. Evaluación de algunos residuos orgánicos como sustrato para el cultivo de hongos comestibles. *Revista Lasallista de Investigación*. 2(2): 15-20.
- García E.** 2008. Economía ecológica frente a economía industrial. El caso de la industria de la curtiduría en México. *Argumentos*. 21: 55-71.
- García N.**, Bermúdez R. C., Gross P. y Hernández M. 2006. Cultivo de cepas de *Pleurotus* sp. sobre pulpa de café. *Revista Mexicana de Micología*. 23: 99-101.
- Garzón J. P.** y Cuervo J. L. 2008. Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. *Ciencias Biomédicas*. 6(10):126-140.
- Gayosso M.** 2001. Caracterización de los componentes de un extracto de primordios de *Pleurotus ostreatus* que induce su fructificación. Universidad de Colima. Colima, México. Págs. 78.
- Graciano G.**, Ávila E., Fossati L., Antunes A. P. y Vieira J. A. 2009. Protein enrichment and digestibility of soft rush (*Juncus effusus*) and rice residues using edible mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju*. *World J Microbiol Biotechnol*. 25: 449-456.
- Gregori A.**, Svagelj M y Pohleven J. 2007. Cultivation Techniques and Medicinal Properties of *Pleurotus* spp. *Food Technol. Biotechnol*. 45(3): 238-249.
- Guillot D** y Van der Meer P. 2008. El género *Yucca* L. en España. Monografías de la revista *Bouteloua*. Valencia, España. nº 2, Págs. 124.
- Gunde-Cimerman, N.** (1999) Medicinal value of the Genus *Pleurotus* (Fr.) P.Karst. (Agaricales s.l., Basidiomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 1: 69-80.
- Guzmán G.** 1996 ¿Cuántos hongos crecen en México? *Ciencia y Desarrollo*. 21(127): 86-89.
- Guzmán G.**, Mata G, Salmones D, Soto-Velazco C y Guzmán-Dávalos L. 2008. El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales. 1era. ed., 2a. reimp. Instituto Politécnico Nacional. D.F., México. Págs. 245.
- Guzmán-Dávalos L.**, Martínez-Carrera D., Morales P. y Soto C. 1987a. El Cultivo de hongos comestibles *Pleurotus* sp. sobre bagazo del maguey de la industria tequilera. *Rev. Mex. Mic.* 3: 47-49.
- Guzmán-Dávalos L.**, Soto C. y Martínez-Carrera D. 1987b. El bagazo de caña de azúcar como sustrato para la producción de *Pleurotus* en Jalisco. *Rev. Mex. Mic.* 3: 79-82.
- Hadar Y.**, Kerem Z, Gorodecki B y Ardon O. 1992. Utilization of lignocellulosic waste by the edible mushroom, *Pleurotus*. *Biodegradation*. 3: 189-205.

- Hernández D.**, Sánchez J. E. y Yamasaki K. 2003. A simple procedure for preparing substrate for *Pleurotus ostreatus* cultivation. *Bioresource Technology*. 90: 145–150.
- Herrera T** y Ulloa M. 1998. El reino de los hongos: Micología básica y aplicada. 2a ed. Fondo de cultura económica-UNAM. D. F., México. Págs. 552.
- Huerta G.**, Martínez-Carrera D., Sánchez J. E. y Leal-Lara H. 2009. Grupos de interesterilidad y productividad de cepas de *Pleurotus* de regiones tropicales y subtropicales de México. *Revista Mexicana de Micología*. 30: 31-42.
- Hurst C.**, Crawford R, Garland J, Lipson D, Mills A y Stetzenbach L. 2007. Manual of environmental microbiology. AMS press. Washington DC. Págs. 1352.
- Idareta, E.**; Larraya, L.; Pisabarro, A. G. y Ramírez, L. 2004. Evaluación de parámetros de producción y de calidad en cultivo semi-industrial de cepas de seta ostra *Pleurotus ostreatus* obtenidas mediante selección asistida por marcadores moleculares. *Actas de horticultura nº 40 II congreso de mejora genética de plantas león*. 416-419.
- Ingale A.** y Ramteke A. 2010. Studies on Cultivation and Biological Efficiency of Mushrooms Grown on Different Agro-Residues. *Innovative Romanian Food Biotechnology*. 6: 25-28.
- Iqbal S. H. M.**, Rauf C. H. A. Y Iqbal M. 2005. Yield Performance of Oyster Mushroom on Different Substrates. *Int. J. Agri. Biol.* 7(6): 154-168.
- Irish G e Irish M.** 2000. Agaves, yuccas and related plants: A gardener's guide. Timber Press. Portland, Oregon. Págs. 312.
- Jiménez J.** 2000. Evaluación de la productividad y coloración de esporóforos de diferentes cepas de *Pleurotus spp.* Tesis UNAM-Iztacala. Estado de México, México. Págs. 60.
- Jiménez J.** 2002. Evaluación de la vida útil de carpóforos de *Pleurotus spp.* recubiertos con películas comestibles. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biotecnología, CINVESTAV-IPN. D. F., México. Págs. 93.
- Jwanny E. W.**, Rashad M. M., y Abdu, H. M. 1995. Solid-state fermentation of agricultural wastes into food through *Pleurotus* cultivation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 50(1): 71–78.
- Kalmis E.** y Sargin S. 2004. Cultivation of two *Pleurotus* species on wheat straw substrates containing olive mill waste water. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 53: 43-47.
- Kamat N. M.**, Desilva N. V. y Phadte K. R. 2010. Successful outdoor cultivation of a photosensitive wild strain of edible *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummel (Oyster mushroom) from the Western Ghats region of Goa. *Nature Precedings*.
- Kawai M.**, Sato T, Kimura A, Takahashi J y Matsuoka S. 2000. Effect of *Yucca schidigera* on nitrogen and energy balance in sheep fed alfalfa or grass silage. *Asian-Aus. J. Anim. Sci. C*: 218.

- Kim M.**, Chung M., Lee S., Ahn J., Kim E., Kim M. J., Kim S., Moon H., Ro H., Kang E., Seo S., Song H. 2009. Comparison of free amino acid, carbohydrates concentrations in Korean edible and medicinal mushrooms. *Food Chemistry*. 113: 386-393.
- Kim S.**, Kim H., Lee B., Hwang H., Baek D., Ko S. 2006. Effects of mushroom, *Pleurotus eryngii*, extracts on bone metabolism. *Clinical Nutrition*. 25: 166-170.
- Kotwaliwale N.**, Bakane P. y Verma A. 2007. Changes in textural and optical properties of oyster mushroom during hot air drying. *Journal of Food Engineering*. 78: 1207-1211.
- Kudryavtseva O. A.**, Dunaevsky Ya. E., Kamzolkina O. V. y Belozersky M. A. 2008. Fungal Proteolytic Enzymes: Features of the Extracellular Proteases of Xylotrophic Basidiomycetes. *Microbiology*. 77(6): 643-653.
- Kües U** y Liu Y. 2000. Fruiting body production in basidiomycetes. *Appl Microbiol Biotechnol*. 54(2): 141-152.
- Kumari D.** y Achal V. 2008. Effect of different substrates on the production and non-enzymatic antioxidant activity of *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom). *Life Science Journal*. 5(3): 73-76.
- Kurt S.** y Buyukalaca S. 2010. Yield performances and changes in enzyme activities of *Pleurotus spp.* (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*) cultivated on different agricultural wastes. *Bioresource Technology*. 101: 3164-3169.
- La Guardia M.**, Venturella G., Venturella F. 2005. On the chemical composition and nutritional value of *Pleurotus* taxa growing on umbelliferous plants (apiaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 5997-6002.
- LaCie.** 2005. Libro blanco de la gestión del color. Oregón, USA. Pags. 1-15.
- Lara M.**, Arias A. y Villaseñor L. 2002. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *P. pulmonarius* on spent brewer's grain and tequila maguey bagasse. *Mushroom Biology and Mushroom Products*. Sánchez et al. (eds). UAEM. ISBN 968-878-105-3. 323-330.
- Larraya, L.**, Alfonso, M., Pisabarro, A.G. y Ramírez, L. 2003. Mapping of genomic regions (QTLs) controlling production and quality in industrial cultures of the edible basidiomycete *Pleurotus ostreatus*. *Appl. Environ. Microbiol*. 69(6): 3617-3625.
- Lechner B. E.** y Albertó E. 2011. Search for new naturally occurring strains of *Pleurotus* to improve yields. *Pleurotus albidus* as a novel proposed species for mushroom production. *Rev Iberoam Micol*.
- Liang Z.-C.**, Wu C.-Y., Shieh Z.-L. y Cheng S.-L. 2009. Utilization of grass plants for cultivation of *Pleurotus citrinopileatus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 63: 509-514.
- Liu J.**, Vijayakumar C., Hall-Iii C. A., Hadley M. y Wolf-Hall C. E. 2005. Sensory and Chemical Analyses of Oyster Mushrooms (*Pleurotus sajor-caju*) Harvested from Different Substrates. *Journal of Food Science*. 70(9): 586-592.

- López-Rodríguez** C., Hernández-Corredor R., Suárez-Franco C. y Borrero M. 2008. Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. *Universitas Scientiarum*. 13(2): 128-137.
- Lule D** y Cervantes G. 2010. Diagramas de flujo de sistemas industriales, una herramienta para la ecología industrial. El caso del corredor industrial de Altamira. *Memorias del 5º Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad 2010. Tecnologías Convergentes para la Competitividad: Innovación y ecología industrial*. Celaya, Guanajuato, México. 25 al 27 de agosto del 2010. págs. 14.
- Maldonado** Y. 2007. Obtención de cepas híbridas de *Pleurotus spp.* por apareamiento de neohaplontes compatibles. Unidad Profesional Interdisciplinaria de biotecnología (UPIBI-IPN). D.F., México. Tesis de Maestría, págs. 142.
- Mamiro** D. P. y Mamiro P. S. 2011. Yield and mushroom size of *Pleurotus ostreatus* grown on rice straw basal substrate mixed and supplemented with various crop residues. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 10(1): 1211-1218.
- Manàchere**, G. (1988). Regulation of sporophore differentiation in some macromycetes, particularly in Coprini: an overview of some experimental studies, from fruiting initiation to sporogenesis. *Cryptogamie, Mycology*. 9(4): 291-323.
- Mandeel** Q. A., Al-Laith A. A. y Mohamed S.A. 2005. Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus spp.*) on various lignocellulosic wastes. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 21: 601-607.
- Mane** V. P., Patil S. S., Syed A. A. y Baig M. M. V. 2007. Bioconversion of low quality lignocellulosic agricultural waste into edible protein by *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer. *J Zhejiang Univ Sci B*. 8(10): 745-751.
- Manzi** P., Aguzzi A., Pizzoferrato L. 2001. Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy. *Food Chem*. 73: 321-325.
- Manzi** P., Gambelli L., Marconi S., Vivanti V., Pizzoferrato L. 1999. Nutrients in edible mushrooms: an interspecies comparative study. *Food Chemistry*. 65(4): 477-482.
- Marino** R. H.; Ferreira da Eira A., Kuramae E. E. y Cardoso-Queiroz E. 2003. Morphomolecular characterization of *Pleurotus ostreatus* (jacq. Fr.) Kummer strains in relation to luminosity and temperature of frutification. *Scientia Agricola*. 60(3): 531-535.
- Martínez-Carrera** D, Morales P, Sobal M, Bonilla M y Martínez W. 2007. México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción consumo de los hongos comestibles. En: *El Cultivo de Setas Pleurotus spp. en México*. Sánchez J, Martínez-Carrera D, Mata G y Leal H (Eds.). ECOSUR-CONACYT, México, D.F.

- Martínez-Carrera D.** 2000. Mushroom Biotechnology in Tropical America. *The International Journal of Mushroom Sciences*. 3: 9-20.
- Martínez-Carrera D.** 2002. Current development of mushroom biotechnology in Latin America. *Micologia Aplicada internacional*. 14(2): 61-74.
- Melo de Carvalho C. S., Sales-Campos C., y Nogueira de Andrade M. C.** 2010. Mushrooms of the pleurotus genus: a review of cultivation techniques. *Interiencia*. 35(3): 177-182.
- Meullenet J.-F., Lyon B. G., Carpenter J. A. y Lyon C. E.** 1998. Relationship between sensory and instrumental texture profile attributes. *Journal of Sensory Studies*. 13: 77-93.
- Moda E. M.** 2008. Aumento da vida útil de cogumelos *Pleurotus sajor-caju* in natura com aplicação de radiação gama. Tesis. São Paulo, Brasil. Pags. 107.
- Moda E. M., Horii J. y Fillet-Spoto M. H.** 2005. Edible mushroom *Pleurotus sajor-caju* production on washed and supplemented sugarcane bagasse. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 62(2): 127-132.
- Muñoz A. M.** 1986. Development and application of texture reference scales. *J. Sensory Studies*. 1: 55-83.
- MushWorld.** 2004. Mushroom Growers' Handbook 1: Oyster Mushroom Cultivation. Edited by MushWorld. Seoul, Korea. Pags. 298.
- Naraian R., Sahu R. K., Kumar S., Garg S. K., Singh C. S. y Kanaujia R. S.** 2009. Influence of different nitrogen rich supplements during cultivation of *Pleurotus florida* on corn cob substrate. *Environmentalist*. 29: 1-7.
- Naraian R., Srivastava J. y Garg S. K.** 2011. Influence of dairy spent wash (DSW) on different cultivation phases and yield response of two *Pleurotus* mushrooms. *Ann Microbiol.*
- Narh D. L., Obodai M., Baka D. y Dzomeku M.** 2011. The efficacy of sorghum and millet grains in spawn production and carpophore formation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex. Fr) Kummer. *International Food Research Journal*. 18(3): 1092-1097.
- Ng T y Wang H.** 2004. A novel ribonuclease from fruiting bodies of the common edible mushroom *Pleurotus eryngii*. *Peptides*. 25: 1365-1368.
- Oleszek W., Sitek M., Stochmal A., Piacente S, Pizza C, Cheeke P.** 2001. Steroidal saponins of *Yucca schidigera* Roezl. *J Agric Food Chem*. 49: 4392-4396.
- Onuoha C. I.** 2007. Cultivation of the mushroom (*Pleurotus tuber regium*) using some local substrates. *Life Science Journal*. 4(4): 58-61.
- Onuoha C. I. y Obi-Adumanya G. A.** 2010. Proximate Analysis Of *Pleurotus Tuberregium* (Sing) Grown On The Different Substrates. *Researcher*. 2(10): 7-11.
- Ortega G. M., Martinez E. O., Betancourt O., González A. E. y Otero M. A.** 1992. Bioconversion of sugar cane crop residues with white-rot fungi *Pleurotus sp.* *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 8: 402-405.

- Öztaşan** N, Bülbül A, Eryavuz A, Avcı G, Küçük Kurt I y Fidan A. 2008. Effect of *Yucca schidigera* extract on blood pressure, antioxidant activity and some blood parameters in the L-name-induced hypertensive rats. *Ankara Üniv Vet Fak Derg.* 55: 149-153.
- Palmieri** G, Giardina P, Bianco C, Scaloni A, Capasso A y Sannia G. 1997. A novel White laccase from *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Biological Chemistry.* 272(50): 31301-31307.
- Peleg** M. 1976. Texture profile analysis parameters obtained by an Instron Universal testing machine. *J. Food Sci.* 41: 721-722.
- Pérez** J, Muñoz-Dorado J, de la-Rubia T y Martínez J. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int Microbiol.* 5: 53-63.
- Pérez** R. y Mata G. 2005. Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción. *Revista Mexicana de Micología.* 20: 53-59.
- Philippoussis** A., Zervakis G. y Diamantopoulou P. 2001. Bioconversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus spp.* *World Journal of Microbiology and Biotechnology.* 17: 191-200.
- Pointing** S. 2001. Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Appl Microbiol Biotechnol.* 57: 20-33.
- Pons** M y Fiszman S. 1996. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies.* 27: 597-624.
- Ragunathana** R. y Swaminathan K. 2003. Nutritional status of *Pleurotus spp.* grown on various agro-wastes. *Food Chemistry.* 80: 371-375.
- Rajak** S., Mahapatra S. C. y Basu M. 2011. Yield, Fruit Body Diameter and Cropping Duration of Oyster Mushroom (*Pleurotus sajor caju*) Grown on Different Grasses and Paddy Straw as Substrates. *European Journal of Medicinal Plants.* 1(1): 10-17.
- Rama** T., Burton K. S. y Vincent J. F. V. 1995. Changes of the surface texture of mushrooms during postharvest storage. In Elliott T. J. editor *Science and cultivation of edible fungi.* Rotterdam: Balkema. Pags 365.
- Rani** P., Kalyani N. y Prathiba K. 2008. Evaluation of Lignocellulosic Wastes for Production of Edible Mushrooms. *Appl Biochem Biotechnol.* 151: 151-159.
- Rashad** M. M., Abdou H. M., Mahmoud A. E. y Nooman M. U. 2009. Nutritional Analysis and Enzyme Activities of *Pleurotus Ostreatus* Cultivated on *Citrus Limonium* and *Carica Papaya* Wastes. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.* 3(4): 3352-3360.

- Rizki M.** y Tamai Y. 2011. Effects of different nitrogen rich substrates and their combination to the yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *World J Microbiol Biotechnol.* 27: 1695-1702.
- Rodríguez N.** y Zuluaga J. 1994. Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél. en pulpa de café. *Cenicafé.* 45: 85-92.
- Rodríguez-Estrada A. E.,** Jimenez-Gasco M. M. y Royse D. J. 2009. Improvement of yield of *Pleurotus eryngii* var. *eryngii* by substrate supplementation and use of a casing overlay. *Bioresource Technology.* 100: 5270–5276.
- Romero L** y Rosales M. 2003. Las setas: algunas generalidades. <http://setascultivadas.com/articulojunio2003.html>. Consultado el 12 de febrero del 2011.
- Romero O.,** Huerta M., Damián M. A., Macías A., Tapia A M., Parraguirre J. F. C y Juárez J. 2010. Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L., cv. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos agrícolas. *Agronomía Costarricense.* 34(1): 53-63.
- Rosales L.** 2008. Biorremediación de suelos contaminados con aceite usado de automóvil con el hongo de la pudrición blanca *Pleurotus ostreatus* (setas) en Durango. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango (CIIDIR Durango-IPN). Durango, México. Págs. 107.
- Royse D,** Rhodes T, Ohga S, y Sanchez J. 2004. Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technology.* 91: 85-91.
- Royse D.** 2003. Cultivation of oyster mushrooms. Pennsylvania State University. Information and Communication Technologies in the College of Agricultural Sciences. Pennsylvania, U.S. Pags. 12.
- Royse D. J.** 2002. Influence of spawn rate and commercial delayed release nutrient levels on *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) yield, size, and time to production. *Appl Microbiol Biotechnol.* 58: 527–531.
- Royse, D. J.** 1989. Factors influencing the production rate of shiitake. *Mushroom J. Tropics.* 9: 27-138.
- Ruihong Z.,** Xiujin L., Fadel J.G. 2002. Oyster mushroom cultivation with rice and wheat straw. *Bioresource Technology.* 82: 277-284.
- Ruiz-Rodríguez A.,** Soler-Rivas C., Polonia I. y Wichers H. J. 2010. Effect of olive mill waste (OMW) supplementation to Oyster mushrooms substrates on the cultivation parameters and fruiting bodies quality. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 64: 638-645.

- Salmones D.**, Gaitán-Hernández R., Pérez R. y Guzmán G. 1997. Estudios sobre el género *Pleurotus*. VIII. Interacción entre crecimiento micelial y productividad. Rev Iberoam. Micol. 14: 173-176.
- Salmones D.**, Mata G. y Waliszewski K. N. 2005. Comparative culturing of *Pleurotus spp.* on coffee pulp and wheat straw: biomass production and substrate biodegradation. Bioresource Technology. 96: 537-544.
- Salmones D.**, Mestizo-Valdéz L. y Gaitán-Hernández R. 2004. Entrecruzamiento y evaluación de la producción de las variedades de *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn. Revista Mexicana de Micología. 18: 21-26.
- Sánchez A.**, Esqueda M., Gaitán-Hernández R., Córdova A. y Coronado M. L. 2008. Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus spp.* Revista Mexicana de Micología. 28: 17-24.
- Sánchez A.**, Ysunza F., Beltrán-García M. y Esqueda M. 2002. Biodegradation of viticulture wastes by *Pleurotus*: A source of microbial and human food and its potential use in animal feeding. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 50: 2537-2542.
- Sánchez C.** 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. Biotechnology Advances. 27: 185-194.
- Sánchez J** y Royse D. 2001. La biología y el cultivo de *Pleurotus spp.* Limusa. D.F., México. 294 págs.
- Sánchez-Vázquez, J. E.** 2005. El cultivo de *Pleurotus* en México. I Reunión Nacional sobre el Cultivo de *Pleurotus* (resúmenes). ECOSUR-SMM-IE-SEPI, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.
- Schwarze F**, Engels J y Mattheck C. 2000. Fungal strategies of wood decay in trees. Springer. Berlín, Alemania. Págs. 185.
- SEMARNAT** (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Manual que establece los criterios técnicos para el aprovechamiento sustentable de recursos forestales no maderables de clima árido y semiárido. D. F., México. Págs.12-14.
- Shashirekha M. N.** y Rajarathnam S. 2007. Bioconversion and biotransformation of coir pith for economic production of *Pleurotus florida*: chemical and biochemical changes in coir pith during the mushroom growth and fructification. World J Microbiol Biotechnol. 23: 1107-1114.
- Shashirekha M. N.**, Rajarathnam S. y Bano Z. 2002. Enhancement of bioconversion efficiency and chemistry of the mushroom, *Pleurotus sajor-caju* (Berk and Br.) Sacc. produced on spent rice straw substrate, supplemented with oil seed cakes. Food Chemistry. 76: 27-31.

- Shashirekha** M. N., Rajarathnam S. y Bano Z. 2005. Effects of supplementing rice straw growth substrate with cotton seeds on the analytical characteristics of the mushroom, *Pleurotus florida* (Block & Tsao). *Food Chemistry*. 92: 255-259.
- Silva** S. O., Gomes S. M. y Clemente E. 2002. Chemical composition of *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél., substrates and residue after cultivation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 45(4): 531-535.
- Sivrikaya** H. y Peker H. 1999. Cultivation of *Pleurotus florida* on Forest and Agricultural Wastes By Leaves of Tree and Wood Waste. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*. 23: 585-596.
- SMAGDF** (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal). 2007. Ley General Para la Gestión Integral de Residuos. Artículo 5 Fracción II. D.F., México. Págs. 42.
- Solomko** E. F. y Eliseeva G. S. 1988. Biosynthesis of vitamins B by the fungus *Pleurotus ostreatus* in a submerged culture. *Prikladnaia Biokhimiia i Mikrobiologiya*. 24(2): 164-169.
- Soto-Velazco** C., Guzmán-Dávalos L. y Rodríguez O. 1989. Cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* sobre bagazo de maguey tequilero fermentado y mezclado con paja de trigo. *Revista Mexicana de Micología*. 5: 97-101.
- Sturion** G L, y Oettere M. 1995. Composição Química de Cogumelos comestíveis *Pleurotus* spp originados de cultivos em diferentes substratos. *Ciencia e tecnologia de Alimentos*. 15(2): 189-193.
- Szczeniak** A. 1963. Classification of textural characteristic. *J. Food Sci*. 28: 385-389.
- Tchierpe**, M. J., K. Hartmann. 1977. A comparison of different growing methods. *Mush. J*. 60: 404-416.
- Tibbs** H. 1993. Industrial ecology: an environmental agenda for industry. *Annals of Earth*. 11(1): 3-28.
- Tisdale** T. E. 2004. Cultivation of the oyster mushroom (*Pleurotus sp.*) On wood substrates in Hawaii. Tesis. Hawaii, USA. Pags. 99.
- Tisdale** T. E., Miyasaka S. C. y Hemmes D. E. 2006. Cultivation of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on wood substrates in Hawaii. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 22: 201-206.
- Valencia del Toro** G. y Leal-Lara H. 2002. Fruit body color in *Pleurotus spp* hybrid strains obtained by matings of compatible neohaplonts. *Mushroom Biology and Mushroom Products*. Sánchez et al. (eds). UAEM. ISBN 968-878-105-3. 151-159.
- Valencia del Toro** G., Castelán R., Garín-Aguilar M. E., Leal H. 2006. Biological quality of proteins from three strains of *Pleurotus spp*. *Food Chemistry*. 94: 494-497.
- Valencia-del Toro** G, Garín A. 2000. Aspectos generales del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus spp.*). Volumen 5. *Productos Naturales*. UAM-Iztapalapa. D. F., México. 1-9 págs.

- Varnero** M. T., Quiroz M. S. y Álvarez C. H. 2010. Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*). Información Tecnológica. 21(2): 13-20.
- Velasco** J y Vargas E. 2004. Cultivo del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). Sistema de Producción Integral de Traspatio del Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. Pags. 24.
- Velázquez-Cedeño** M. A., Mata G. y Savoie J. M. 2002. Waste-reducing cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius* on coffee pulp: changes in the production of some lignocellulolytic enzymes. World Journal of Microbiology & Biotechnology. 18: 201-207.
- Vetayasuporn** S. 2007. The feasibility of using coconut residue as a substrate for oyster mushroom cultivation. Biotechnology. 6(4): 578-582.
- Vetayasuporn** S. 2007b. Lignocellulosic materials as a possible substrate for *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummer cultivation. Journal of Agronomy. 6(1): 167-170.
- Vignote** S y Martínez I. 2005. Tecnología de la madera. 3 Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Págs. 678.
- Villaescusa** R. y Gil M. I. 2003. Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. Postharvest Biology and Technology. 28: 169-179.
- Vogel** F. y Salmones D. 2000. Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus spp.* cultivadas en una planta comercial. Rev Iberoam Micol. 17: 138-141.
- Von Atzingen** y Machado S. 2005. Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en Preparaciones sin gluten. Cienc. Tecnol. Aliment. 4(5): 319-323.
- Wang** D., Sakoda A. y Suzuki M. 2001. Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated on spent beer grain. Bioresource Technology. 78: 293-300.
- Wessels**, J.G.H. (1993). Fruiting in the higher fungi. Advances in Microbial Physiology. 34: 147-202.
- Yildiz** A., Karakaplan M. y Aydin F. 1998. Studies on *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kum. var. *salignus* (Pers. ex Fr.) Konr. et Maubl.: cultivation, proximate composition, organic and mineral composition of carpophores. Food Chemistry. 61(1/2): 127-130.
- Yildiz** S., Yildiz U. C., Gezer E. D. y Temiz A. 2002. Some lignocellulosic wastes used as raw material in cultivation of the *Pleurotus ostreatus* culture mushroom. Process Biochemistry. 38: 301-306.
- Young** R y Akhtar M. 1998. Environmentally friendly technologies for the pulp and paper industry. John Wiley y Sons, Inc. New York, EUA. Págs. 577.

- Zervakis** G, Venturella G y Papadopoulou K. 2001. Genetic polymorphism and taxonomic infrastructure of the *Pleurotus eryngii* species complex as determined by RAPD analysis, isozyme profiles and ecomorphological characters. *Microbiology*. 147: 3183-3194.
- Zivanovic** S., Buescher R. W. y Kim K. S. 2000. Textural Changes in Mushrooms (*Agaricus bisporus*) Associated with Tissue Ultrastructure and Composition. *Journal of Food Science*. 65(8): 1404-1408.

## 10. ANEXOS

### **Anexo 1: Resiembra de micelio.**

Se realizó la resiembra en medio sólido extracto de malta agar (EMA), la técnica empleada es la siguiente:

1. Para la preparación de 300 mL de EMA se adicionan 4.5 g de extracto de malta y 6 g de agar bacteriológico a un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Se agregan 300 mL de agua destilada para disolver los componentes.
2. Se agita el matraz y se esteriliza en autoclave a 121°C y a una presión de 15 lb durante 20 minutos.
3. El medio de cultivo se coloca en cajas Petri (9 cm de diámetro aproximadamente) en condiciones de esterilidad, al solidificarse se incuban a 28°C durante 72 horas para prueba de esterilidad.
4. Las cajas con medio que no presentan contaminación se utilizan para la resiembra de las cepas.
5. Se siembran trozos de micelio en las cajas en condiciones de esterilidad y posteriormente se incuban a 28°C durante 7 días.

## **Anexo 2: Preparación de inóculo-grano.**

La técnica para la preparación del inóculo-grano es la siguiente:

1. Limpiar los granos y eliminar cualquier partícula ajena mediante enjuagues continuos con abundante agua.
2. Sumergir el grano de trigo en agua corriente durante 24 horas hasta que obtenga una consistencia blanda.
3. Transcurrido el tiempo de hidratación se escurre el exceso de agua. En esta etapa los granos tienen una hidratación de 50-60% aproximadamente.
4. Colocar el grano en bolsas de polipapel de 20x30 cm, un peso de 150 g de grano por bolsa.
5. Esterilizar las bolsas en autoclave a 121°C y una presión de 15 lb durante 45 minutos.
6. Una vez esterilizado se saca de la autoclave y se deja enfriar a temperatura ambiente.
7. Una vez frías las bolsas se inoculan bajo condiciones de esterilidad con micelio en cantidades equivalentes, el cual se encuentra en las cajas petri, para ello se corta agar y se colocan pequeñas porciones dentro de las bolsas y posteriormente se incuban en condiciones de oscuridad a 28°C.
8. Se mantiene en incubación hasta que el micelio invada totalmente el grano, aproximadamente de 15 a 20 días y esté listo el inóculo para colocarse en el sustrato.

### **Anexo 3: Análisis de perfil de textura (TPA)**

La técnica para efectuar el TPA fue la siguiente:

1. Se enciende el equipo, se acopla a la cabeza móvil de la celda de carga el dispositivo cilíndrico de acrílico de 1/4 in y se limpia la superficie de la placa de muestras.
2. Se coloca sobre la placa de muestras el hongo con la cara frontal hacia arriba.
3. Se sitúa el dispositivo en la superficie de la muestra (punto de referencia) y se comienza la prueba.
4. Las condiciones que se manejan en el análisis son:
  - Velocidad antes de la prueba: 10mm/s;
  - Velocidad de prueba: 2mm/s;
  - Velocidad después de la prueba: 10mm/s;
  - Tiempo transcurrido entre dos compresiones: 2s;
  - Deformación de 30% con respecto a altura de la muestra;
  - Celda de carga: 10 N (de 0 a 50 kg).
5. A cada hongo se le aplican dos compresiones sucesivas.
6. Al término de la prueba se obtiene la curva de TPA de donde se calculan los parámetros: dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad.

## Anexo 4: Determinación de humedad

### Equipo y material.

- Estufa
- Balanza analítica
- Charolas de aluminio
- Pinzas
- Desecador
- Espátula

### Procedimiento

1. Poner a peso constante las charolas de aluminio, lo cual significa dejar durante 2 horas en la estufa a una temperatura de 120°C. Posteriormente se dejan enfriar en un desecador durante 20 a 30 minutos.
2. Pesar las charolas de aluminio en balanza analítica y se anota el peso exacto.
3. Colocar la muestra en las charolas de aluminio, pesar 10 g de muestra en peso húmedo.
4. Colocarla dentro de la estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas.
5. Posteriormente sacar la muestra de la estufa colocarla dentro de un desecador permitir que se enfríe a temperatura ambiente y pesar.

### Cálculo

$$\%H = \left( \frac{P_n - P_s}{P_n} \right) * 100$$

Donde

$P_s$  = peso de la muestra en seco.

$P_n$  = peso de la muestra en húmedo.

## Anexo 5: Determinación de grasa cruda (extracto etéreo) por el método de Soxhlet

### Equipo y material.

- Sistema Soxhlet
- Balanza analítica
- Estufa
- Desecador, pinzas y espátula
- Cartuchos de celulosa

### Reactivos

- Éter etílico anhidro

### Procedimiento.

1. Colocar en el cartucho de celulosa una cama de algodón, mas otro trozo pequeño que servirá para tapar la muestra. Llevarlo a peso constante colocándolo en una estufa a 100-110° C.
2. Colocar en el matraz bola de 500 mL perlas de ebullición y llevarlo a peso constante colocándolo en una estufa a 100-110°C. Posteriormente enfriar en desecador y pesarlo.
3. Añadir 4 g de muestra deshidratada al cartucho tapar con el algodón e introducir el cartucho a la trampa Soxhlet. Añadir aproximadamente 300 ml de éter etílico anhidro en el matraz bola y armar el sistema.
4. Encender el interruptor del calentador, el interruptor de alimentación principal, y el agua del condensador.
5. Mantener el reflujo hasta la extracción de grasa, aproximadamente 4h.
6. Después de la extracción, desmontar el sistema para retirar el cartucho de la trampa Soxhlet y mantenerlo al aire con el fin de que pierda todo el disolvente.
7. Montar el sistema para la destilación y recuperación del éter etílico anhidro, terminado este proceso bajar la calefacción, apagar el motor y el agua.
8. Retirar el matraz bola y posteriormente llevarlo a la estufa a 100°C durante 30 minutos, enfriar en el desecador y pesar.

### Cálculo.

$$\%EE = \left( \frac{P_g - P_b}{P_m} \right) * 100$$

Donde:

$P_m$  = peso inicial de la muestra en gramos

$P_b$  = peso del matraz bola en gramos

$P_g$  = peso del matraz bola y el residuo de grasa en gramos

## **Anexo 6: Determinación de nitrógeno total por el método micro-Kjeldahl**

### **Equipo y material.**

- Digestor Kjeldahl
- Depurador de gases
- Destilador Kjeldahl
- Matraces Kjeldahl de 100 mL
- Matraz Erlenmeyer de 125 mL
- Balanza analítica
- Bureta de 25 mL
- Soporte universal, espátula y pinzas para bureta

### **Reactivos**

- Papel libre de nitrógeno
- Acido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ), 95-98%
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 32%
- Sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ )
- Sulfato cúprico pentahidratado ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )
- Indicador mixto (rojo de metilo 0.2% y verde de bromocresol 0.2% en proporciones 1:5 respectivamente).
- Ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) al 4%
- Ácido clorhídrico 0.1 N
- Agua destilada

### **Procedimiento.**

1. Pesar 30 mg de muestra, envolver la muestra en papel libre de nitrógeno, previamente pesado.
2. Colocar la muestra en un matraz Kjendahl de 100 mL.
3. Agregar la mezcla catalizadora al matraz Kjendahl: 1.9 g de sulfato de potasio y 0.04 g de sulfato cúprico y adicionar 2 mL de acido sulfúrico concentrado.
4. Colocar el matraz Kjendahl en el digestor y calentar hasta que no exista desprendimiento de humo y se obtenga una solución clara, aproximadamente de 1 a 1.5 h.
5. Enfriar el matraz Kjendahl, lavarlo con una porción pequeña de agua destilada y agregarlo al tubo del destilador, repetir la operación dos veces más.
6. Colocar el tubo en el destilador, agregar aproximadamente **X mL** de NaOH. En un matraz Erlenmeyer colocar 5 mL de acido bórico al 4% y dos gotas de indicador mixto, posocionar el matraz en la salida del destilador

7. Comenzar la destilación, esta se llevara a cabo durante 5 min.
8. Titular con acido clorhídrico 0.1N hasta que vire a rosa.

### Calculo

Porcentaje de nitrógeno total

$$\%N = \left[ \frac{[(V_m - V_b) * N * M_N]}{P_m} \right] * 100$$

Donde:

$V_m$  = mililitros de HCl gastados en la titulación de la muestra.

$V_b$  = mililitros de HCl gastados en la titulación del blanco.

$N$  = normalidad de la solución valorada del HCl

$M_N$  = masa del nitrógeno (14.007)

$W$  = peso de la muestra en g

Porcentaje de proteína cruda

$$\%PC = \%N * 4.38$$

## **Anexo 7: Determinación de fibra cruda por el método de digestión química**

### **Equipo y material**

- Balanza analítica
- Estufa
- Bomba de vacío
- Desecador
- Mufla
- Matraz bola de 250 mL
- Refrigerantes
- Crisoles
- Pinzas y espátulas
- Embudo Buchner
- Filtros No. 41 libre de cenizas

### **Reactivos**

- Solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 1.25%
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 3.52%
- Antiespumante.
- Alcohol etílico
- Éter etílico

### **Procedimiento**

1. Pesar 1 g de muestra previamente desgrasada y colocarla en un matraz bola, añadir 100 mL de la solución de ácido sulfúrico al 1.25% y unas gotas de antiespumante.
2. Montar el sistema de digestión y dejar en ebullición durante 30 min.
3. Transcurrido el tiempo, desmontar el sistema de digestión, retirar el matraz bola y añadir en el 100 mL de la solución de hidróxido de sodio al 3.52%, agregar unas gotas de antiespumante.
4. Montar el sistema de digestión y dejar en ebullición durante 30 min.
5. Terminado el tiempo retirar el matraz bola y filtrar el contenido en un embudo bunchen con ayuda de una bomba de vacío y un filtro No. 41 libre de cenizas a peso constante.
6. Lavar el matraz bola primero con agua destilada caliente, luego con la solución de ácido sulfúrico al 1.25%, después nuevamente con agua destilada, posteriormente con alcohol etílico y finalmente con éter etílico.
7. Retirar el papel filtro con el residuo del embudo Buchner y secar durante 4 horas a 60°C en estufa, enfriar en un desecador y pesar.

8. Llevar el filtro a un crisol e incinerar durante 3 h a 600°C en mufla, enfriar en el desecador y pesar nuevamente.

**Calculo.**

$$\%FC = \left( \frac{(P_d - P_f) - (P_i - P_c)}{P_m} \right) * 100$$

Donde:

$P_d$  = Peso del filtro con residuo

$P_f$  = Peso del filtro vacío

$P_i$  = Peso del crisol con residuo

$P_c$  = Peso del crisol vacío

$P_m$  = Peso de la muestra

## Anexo 8: Determinación de cenizas

### Equipo y material

- Mufla
- Balanza analítica
- Crisoles
- Desecador, pinzas y espátula

### Procedimiento

1. Poner a peso constante el crisol, lo cual significa dejarlo durante 2 horas en la estufa a una temperatura de 120°C. Enfriar en desecado y pesar.
2. Colocar 2 g de muestra en el crisol.
3. Preincinerar la muestra exponiéndola a la flama del mechero Bunsen, hasta llegar a carbonización y desaparición de humos desprendidos.
4. Introducir el crisol al interior de una mufla a 600 °C durante 4 horas, al término de este tiempo se deben observar cenizas de color blanco, gris claro o gris-rojizo (si esto no es así deja el crisol con cenizas media hora más en la mufla).
5. Retirar el crisol de la mufla y dejar en estufa a 100 °C durante 30 minutos. Enfriar en desecador y pesar.

### Calculo

$$\%C = \left( \frac{P_c - P_v}{P_m} \right) * 100$$

Donde:

$P_v$ = peso de crisol vacío

$P_c$ = peso de crisol con cenizas

$P_m$ = peso de crisol con muestra