



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**APROVECHAMIENTO DE CÁSCARAS DE PITAYA PARA EL
CRECIMIENTO DE SETAS (*Pleurotus ostreatus*)
EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

MARTHA EUGENIA AGUILAR GAYTÁN

DIRECTOR DE TESIS :

M.C. PAULA CECILIA GUADARRAMA MENDOZA

HUAJUAPAN DE LEON, OAX. NOVIEMBRE DEL 2003

RESUMEN

En México desde la década de los 90's a la fecha, el cultivo de setas se ha ido extendiendo rápidamente, debido a las propiedades nutricias, sensoriales y valor comercial que tienen. Con la finalidad de favorecer su desarrollo, se han probado diversos sustratos y aditivos entre los que destacan paja y rastrojos de cereales o leguminosas, bagazos de diversas plantas y residuos forestales (pedazos de madera o aserrín). Por tal motivo, en el presente trabajo, se llevó a cabo el estudio para conocer si las cáscaras de pitaya sin espinas (*Stenocereus* spp.) se pueden utilizar como complemento de la paja de trigo para el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* var. blanca. Se evaluó el efecto de la incorporación de un 3% y 10% de cáscara de pitaya a la paja en el cultivo del hongo, utilizando como parámetros: la eficiencia biológica, el tiempo de cosecha y la cantidad de proteína de la seta obtenida. Se encontró que la adición de un 3% de cáscaras de pitaya actuó como enriquecedor de la paja de trigo, obteniéndose tiempos de cosecha significativamente más cortos (alrededor de 33 días); una mayor eficiencia biológica (45.89 %) y una cantidad de proteína de la seta del 13%. Con base a estos resultados, se puede decir que los residuos de cáscara de pitaya pueden aprovecharse como complemento para el crecimiento de *Pleurotus ostreatus*. var. blanca. Sin embargo, se deben realizar más estudios para encontrar cuál es la relación de los porcentajes de paja-cáscara-micelio óptima para el cultivo de las setas.

CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Aspectos taxonómicos de los hongos	4
2.2. Características morfológicas de las setas	5
2.3. Ciclo reproductivo de las setas	10
2.4. Características metabólicas de las setas	12
2.5. Propiedades nutricias de las setas	13
2.6. Generalidades sobre el cultivo de hongos	16
2.6.1. Sistemas de cultivo de setas	22
2.6.1.1 Sistema de producción tradicional	24
2.6.1.2 Sistema de producción a nivel industrial	28
2.6.2. Sustratos empleados para el cultivo de las setas	33
2.6.2.1 Cultivo sobre troncos cortados	35
2.6.2.2 Cultivo sobre tocones de madera	36
2.6.2.3 Otros sustratos utilizados para el cultivo de hongos	37
2.7. Generalidades sobre la pitaya.	38
3. JUSTIFICACIÓN	41
4. OBJETIVOS	44
4.1. Objetivo general	45
4.2. Objetivos específicos	45
5. METODOLOGÍA	46

5.1 Materias primas	47
5.2 Diagrama general de trabajo	48
5.2.1 Análisis proximal de los sustratos probados	48
5.2.2 Cultivo de setas utilizando como sustrato mezclas de paja con cáscara de pitaya	49
5.2.3 Evaluación del efecto de la incorporación de cáscara de pitaya al sustrato base de paja de trigo	52
5.2.4 Selección de la mejor mezcla probada	53
5.3 Análisis Estadístico	53
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
6.1 Evaluación del efecto de la incorporación de cáscara de pitaya al sustrato base de paja de trigo	56
6.1.1 Evaluación de los sustratos probados	56
6.1.2 Monitoreo de temperatura	59
6.1.3 Tiempo de cosecha	62
6.1.4 Eficiencia biológica	65
6.1.5 Análisis proximal de las setas cultivadas	67
6.2 selección de la mejor mezcla probada	69
CONCLUSIONES	71
PERSPECTIVAS	73
BIBLIOGRAFIA	74
ANEXOS	78
ANEXO 1	79
ANEXO 2	80

INDICE DE CUADROS		Página
Cuadro 1	Requerimientos nutricios de las setas	13
Cuadro 2	Contenido de minerales en los principales hongos comestibles	14
Cuadro 3	Valor nutritivo de hongos comestibles utilizando como referencia al huevo	15
Cuadro 4	Volúmenes de producción mundial de hongos comestibles en las últimas cuatro décadas	17
Cuadro 5	Indicaciones para el cultivo de hongos comestibles	18
Cuadro 6	Consumo per cápita en los principales países consumidores de setas	19
Cuadro 7	Etapas del cultivo de la seta tanto en el sistema tradicional como en el industrial	23
Cuadro 8	Composición de la pitaya de mayo (% B.S.)	39
Cuadro 9	Variedad, temporada y producción de la pitaya en la región Mixteca	40
Cuadro 10	Resultados obtenidos en el análisis proximal de los sustratos en base seca	57
Cuadro 11	Resultados del análisis proximal de las setas base seca	68
Cuadro 12	Parámetros evaluados al sustrato usando 3 % de cáscara de pitaya	69
Cuadro 13	Resultados del análisis microbiológico realizado a la seta fresca cultivada con 3% de cáscara de pitaya, después de 48 horas de incubación.	70

INDICE DE FIGURAS	Página
Figura 1. Principales partes de las setas	5
Figura 2. Forma del cuerpo fructífero de <i>Pleurotus ostreatus</i>	6
Figura 3. Estructura de las tres regiones de las láminas de <i>Pleurotus ostreatus</i> : la trama, el subhimenio y el himenio	8
Figura 4 Representación de la forma y tamaño de las esporas de las setas	9
Figura 5 Ciclo reproductivo de las setas: 1) basidiosporas uninucleadas; 2) germinación de esporas y fusión de hifas; 3) desarrollo de micelio reproductivo; 4) carpóforo; 5) basidio con 4 basiosporas	11
Figura 6 Proceso de pasteurización del sustrato para el sistema de producción tradicional de setas	27
Figura 7 Siembra y llenado de las bolsas de cultivo de setas en la producción tradicional	27
Figura 8 Diagrama general de trabajo	48
Figura 9 Técnica de cultivo de la seta a nivel laboratorio utilizando mezclas de paja y cáscara de pitaya	51
Figura 10 Porcentaje de fibra cruda para las mezclas de sustratos probados	58
Figura 11 Porcentaje de carbohidratos asimilables de los sustratos probados	58
Figura 12 Promedio de temperaturas registradas durante el período de incubación para las mezclas de sustratos probados	60
Figura 13 Promedio de temperaturas registradas durante el período de fructificación para las mezclas de sustratos probados	61
Figura 14 Promedio de temperaturas registradas durante el período de cosecha para las mezclas de sustratos probados	61
Figura 15 Bolsa cultivada a las 48 horas de siembra con 3% de cáscara de pitaya	63

Figura 16	Bolsas cultivadas con 0% y 3% de cáscaras de pitaya a las 72 horas de incubación	63
Figura 17	Seta cultivada con 3% de cáscara de pitaya en el período de cosecha	64
Figura 18	Día de la primera cosecha para los sustratos probados	65
Figura 19	Porcentaje de eficiencias biológicas para los diferentes sustratos probados	66
Figura 20	Porcentaje de proteínas de las setas cultivadas en los sustratos probados	68

1. INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo los hongos estuvieron ubicados en el reino de las plantas. Es a partir de una serie de argumentos presentados primeramente por Whittaker en 1969 (Jay, 2000) y posteriormente ampliadas por Margulis en 1971 (Jay, 2000) cuando termina por aceptarse la idea de que los hongos son organismos diferentes a las plantas y a los animales y que deberían formar un grupo aparte, el llamado Reino de los Hongos o Reino Fungi.

Las especies de hongos que se desarrollan sobre organismos vivos son las parásitas o las simbióticas y las que se desarrollan en materia muerta son las saprofitas. La mayor parte de los hongos comestibles son saprofitos, es decir, degradan la materia orgánica alimentándose de productos elaborados como son la lignina y la celulosa (Jay, 2000).

Se han reportado 250,000 especies diferentes de hongos en la naturaleza, de las cuales 200 especies son hongos comestibles apreciados por su sabor y propiedades nutritivas (Jay, 2000). Sin embargo, la mayoría de ellas presentan un tipo de asociación simbiótica con las plantas llamada micorriza, por lo que las posibilidades de domesticación se ven seriamente reducidas (Garnweidner, 1995).

2. ANTECEDENTES

2.1 Aspectos taxonómicos de los hongos

Los especialistas calculan que los hongos alcanzan cerca de 250,000 especies diferentes en la naturaleza (Garnweidner, 1995). Por todo esto es importante disponer de un sistema de clasificación que sea didáctico y que permita ubicar a estas especies. Una clasificación sencilla y práctica de los hongos usada desde hace mucho tiempo, es la de dividir estos organismos en micromicetos (microscópicos) y macromicetos (macroscópicos). Los hongos comestibles silvestres, así como los cultivados con el propósito de ser industrializados para la alimentación humana, son principalmente macromicetos, que quedan comprendidos en dos clases taxonómicas: Ascomycetes y Basidiomycetes perteneciendo la mayoría de los hongos comestibles a este último grupo (Romero y Rosales, 1998).

Actualmente, dada la magnitud, variabilidad y complejidad de las especies de hongos, la clasificación se basa en una serie de caracteres morfológicos, reproductivos y genéticos.

La palabra hongo ha tenido una serie de sinonimias, es decir se utilizan palabras como champiñón y seta haciendo alusión a los hongos en general. En esta ocasión, se utilizará la palabra "seta" para referirse a los hongos del género *Pleurotus* exclusivamente. Dentro del género de *Pleurotus* existen varias especies entre las que destacan *P. ostreatus*, *P. florida*, *P. sapidus*, y *P. pulmonarius*, *P. eryngii* y *P. cornucopioides*.

La seta también ha recibido nombres populares como son "hongo ostra", "hongo ostión", "oreja blanca", "hongo de maguey", "hongo de encino" y "hongo de bagazo" y "oreja de cazahuate" (Garnweidner, 1995).

2.2 Características morfológicas de las setas

El hongo es una masa algodonosa (micelio) que generalmente no se ve a simple vista por estar enterrado en el suelo o bajo la corteza de los árboles. Funcionalmente es similar a las raíces de los vegetales, pero además, forma y sujeta al cuerpo fructífero de la seta (también llamado carpóforo, pleuroma, basidoma o basidiocarpo), que suele ser fugaz y cuya misión es la reproducción de la especie. En él se forman las estructuras llamadas esporas o basidiosporas que constituyen la "semilla" de dispersión, que al depositarse en un medio adecuado conforman el desarrollo del micelio.

El cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus* está constituido de tres partes principales que son el sombrero o píleo, las láminas o himenio y el pie o estípite, como se puede apreciar en la figura 1.



Figura 1. Principales partes de las setas (Fuente: Romero y Rosales, 1998)

Algunas variedades al principio, adoptan una forma redondeada y abombada y, a medida que se va ensanchando, el píleo o sombrero se hace menos convexo y se aplana hasta acabar presentando una concavidad semejante a un plato (figura 2). Su superficie es lisa generalmente uniforme. Su color varía según la especie o variedad, desde el blanco, pasando por diferentes tonos de gris, café, verde, rosa, violeta y azul, que pueden ser incluso muy llamativos. Su tamaño (que depende principalmente de la especie, de la edad y de las condiciones en que se ha desarrollado), oscila entre los 5 y 20 cm y pueden crecer juntas formando repisas o racimos laterales superpuestos sobre un costado de los bloques de cultivo (Romero y Rosales,1998).



Figura 2. Forma del cuerpo fructífero de *Pleurotus ostreatus* (Fuente: Garnweidner, 1995)

En la cara inferior del sombrero abierto, hay unas láminas (himenio) que van desde el pie que lo sostiene, hasta el borde. Son anchas, espaciadas unas de otras, blancas o crema, a veces bifurcadas, y en ellas se producen las esporas (basidiosporas) destinadas a la reproducción de la especie. Estas complejas estructuras poseen un alto grado de diferenciación de tejidos, que están formados por hifas que provienen del micelio vegetativo, el cual se transforma en micelio reproductor. Además, en esta zona se lleva a cabo la cariogamia y meiosis, etapas fundamentales para dar lugar a la formación de los basidios, que es la estructura encargada de desarrollar y almacenar a las basidiosporas. Las láminas del himenio (figura 3) se componen de tres regiones: la trama, el subhimenio y el himenio. Las células de la trama son elongadas y recorren longitudinalmente todo el centro de la lámina desde el píleo hasta el borde de la misma. Las células subhimeniales son ramificadas y se originan desde la trama hasta las láminas (García, 2002).

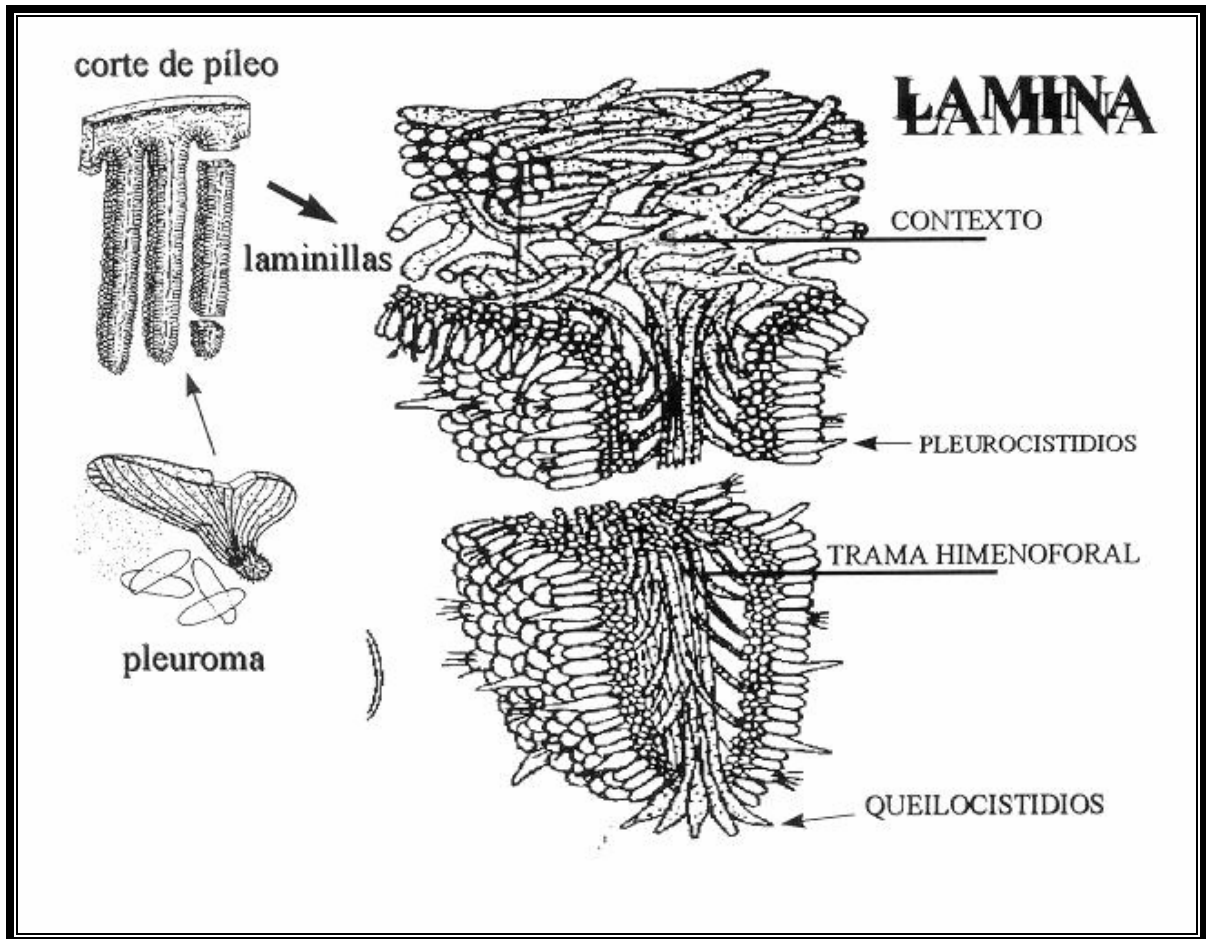


Figura 3. Estructura de las tres regiones de las láminas de *Pleurotus ostreatus*: la trama, el subhimenio y el himenio (Fuente: García, 2002)

La capa himenial se origina mediante un complejo de ramificaciones y crecimiento hifal de la capa de abajo llamada capa sub-himenial. La zona himenial está compuesta de basidios apretados junto con otras células llamadas basidios y cistidios (pleurocistidios y queilocistidios) en contacto unos con otros es decir pared con pared. Conforme los basidios maduran y se desarrollan emergen de la superficie de la lámina y se vuelven conspicuos (García, 2002).

Las basidiosporas son pequeñas (alrededor de 5 micras, figura 4), de forma oblonga, que en gran número forman masas de polvo, de color blanco con cierto tono lila-grisáceo. Cuando una espora se encuentra en el medio adecuado, germina y forma una hifa que va creciendo y ramificándose hasta que en su conjunto forman el micelio.

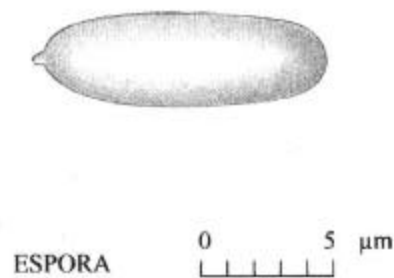


Figura 4. Representación de la forma y tamaño de las esporas de las setas (Fuente: Romero y Rosales, 1998).

El pie de *Pleurotus* está muy poco desarrollado, suele ser corto, inclinado u oblicuo, de textura ligeramente correosa, blanco y rugoso en la base. Se conforma por dos regiones principales que son el tejido interno y el tejido de la superficie. El arreglo de las hifas varía para cada una de las dos regiones, pero ambas están verticalmente orientadas. Las células de la superficie se alargan para ir formando estructuras semejantes a “pelos” que son parte del micelio vegetativo encargado de la absorción de nutrientes y fijación al sustrato (García, 2002).

2.3 Ciclo reproductivo de las setas

El ciclo reproductivo del hongo seta implica una sucesión de etapas que van desde la germinación de las esporas hasta la formación de los cuerpos fructíferos. En condiciones adecuadas las esporas germinan y dan lugar al micelio. Durante la formación del micelio se va dando la agregación y compactación de las hifas, además de una alta ramificación, ensanchamiento, engrosamiento y gelatinización de la pared hifal (crecimiento, ramificación y agregación hifal) (Romero y Rosales,1998).

En la figura 5, se muestra paso a paso el ciclo reproductivo del hongo. En el primer punto (1) se tiene la esporulación de las basidiosporas uninucleadas del hongo, las cuales al presentarse las condiciones adecuadas germinan, iniciándose el desarrollo del micelio vegetativo. Posteriormente, dos hifas de micelios compatibles se fusionan entre sí (2), dando como resultado la formación y crecimiento del micelio reproductivo (3). Este micelio se caracteriza por formar el cuerpo fructífero o carpóforo, el cual es la estructura especializada, diferenciada y diseñada para la producción y dispersión de las esporas (4). La primera etapa de desarrollo del carpóforo es el primodio; el cual posee un tamaño de aproximadamente 1-2 mm de altura. Se reconoce por ser un cuerpo redondo de color blanco. El cuerpo se encuentra separado por dos regiones que aparentemente son idénticas, pero conforme el primodio se alarga, las dos zonas se comienzan a diferenciar en las tres principales partes macroscópicas de la seta (sombrero, himenio y pie). El crecimiento regulado de las células se debe a un control establecido por los ápices de las hifas y su posterior ramificación de los compartimentos subapicales por debajo de la región

apical de la hifa. La diferenciación hifal ocurre aún en el estado de colonización del micelio vegetativo dentro del sustrato. Finalmente, las nuevas esporas quedan unidas a la parte del himenio acomodadas en estructuras especializadas denominadas basidios (5) (Romero y Rosales,1998).

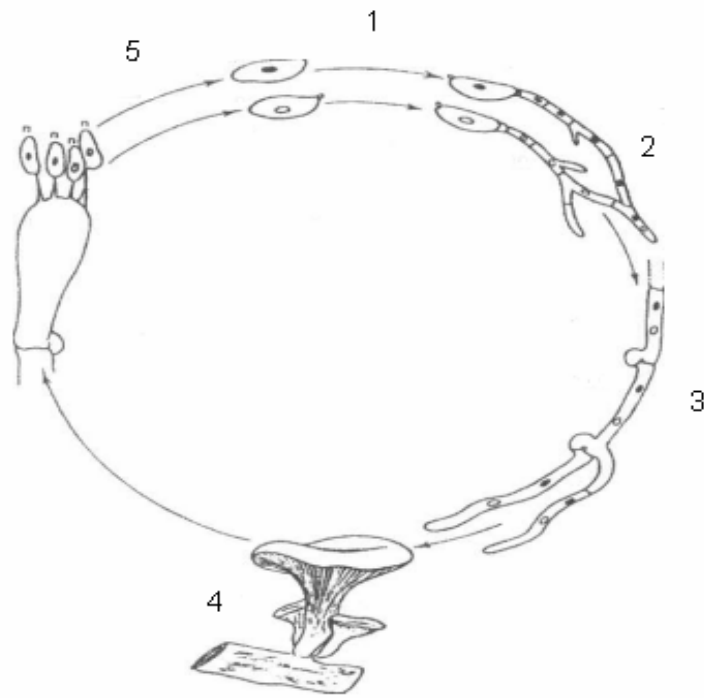


Figura 5. Ciclo reproductivo de las setas: 1) basidiosporas uninucleadas; 2) germinación de esporas y fusión de hifas; 3) desarrollo de micelio reproductivo; 4) carpóforo; 5) basidio con 4 basiosporas. (Fuente: Romero y Rosales, 1998).

2.4 Características metabólicas de las setas

Pleurotus spp. es un hongo particularmente interesante ya que se desarrolla naturalmente en todos los climas, desde la temperatura fría a la tropical, y en su medio natural, es uno de los agentes causantes de la pudrición blanca de la madera; no es parásito de árboles pero si es un saprófito que se desarrolla sobre madera muerta (Romero y Rosales, 1998).

Dispone de una buena colección de enzimas (celulasas, glucosidasas, proteasas, entre otras) que le permiten atacar fácilmente diferentes materiales como son la lignina y la celulosa de la madera, así como los sustratos que se utilizan para su cultivo (Romero y Rosales, 1998).

Realmente se desconoce exactamente cómo es el metabolismo del hongo seta, sin embargo, para alcanzar el buen crecimiento es necesario que se desarrolle en sustratos en los cuales encuentre las sustancias que necesita, como son fuentes de carbono, nitrógeno, minerales, vitaminas y feromonas, además de otros elementos como el fósforo (Romero y Rosales, 1998). En el cuadro 1, se puede apreciar que las setas son organismos quimioheterótrofos, utilizando como fuente de energía la obtenida a partir de las reacciones químicas de los compuestos y como principal fuente de carbono materia orgánica, la cual incluye carbohidratos tanto mono como polisacáridos, aminoácidos, ácidos grasos, alcoholes y lignina. Su fuente de nitrógeno puede ser tanto orgánica proveniente de aminoácidos o inorgánica a partir de nitratos y sulfato de amonio. Este nitrógeno absorbido le permite dar la materia prima para la síntesis de proteínas. Además, el hongo debe tener una fuente rica de micronutrientes como son vitaminas y minerales (dentro de

los cuales destacan: hierro, cobre, magnesio, sodio, entre otros). También, es importante que exista la presencia del ácido giberélico como feromona encargada de regular el crecimiento y desarrollo de la seta. Para suplementar algunas deficiencias en nutrimentos, estos sustratos se hacen más digeribles mediante diferentes técnicas de tratamiento (Romero y Rosales, 1998).

Cuadro 1. Requerimientos nutricios de las setas (Fuente: Romero y Rosales, 1998).

Requerimiento	Función	Fuente
Carbono	Fuente de energía para la elaboración de sustancias estructurales	Carbohidratos (mono y poli) Ácidos orgánicos Aminoácidos Alcoholes Lignina
Nitrógeno	Síntesis de proteínas	Mediante la degradación de aminoácidos, peptonas, caseína y otros. De la urea, por medio de sulfatos de amonio y nitratos de amonio, sodio, potasio y calcio
Minerales	Crecimiento	Fe, Cu, Mg, Na, K, Ca, P, y se pueden administrar por medio de cloruros y carbonatos.
Vitaminas, feromonas	Factores de desarrollo	Tiamina y ácido giberélico

2.5 Propiedades nutricias de las setas

En todo el mundo, el cultivo de hongos macroscópicos comestibles es una buena alternativa en la producción de alimentos para el consumo y nutrición del hombre. Su contenido en aminoácidos esenciales, vitaminas, fibras y minerales, así como su bajo contenido en grasas (1 a 2% peso seco) los colocan en un lugar importante en la dieta, por arriba de la mayoría de los vegetales, frutas y verduras que se consumen.

Su contenido proteico es de un 10.5 a un 30.5% de su peso seco y se considera de alta calidad debido a que dispone de nueve aminoácidos esenciales, contando además con leucina y lisina, que son ausentes en la mayoría de los cereales (Galicia, 1994; Sánchez y Royse, 1998).

Por otra parte, los hongos seta son una fuente significativa de vitaminas como la tiamina (4.8 mg), riboflavina (4.7 mg), niacina (108.7 mg) y de ácido ascórbico (144 mg) por cada 100 g de sustancia seca (Sánchez y Royse, 1998). Además, posee minerales como el calcio (33 mg) y el hierro (15 mg), (superando a la carne de muchos pescados), fósforo (1.384 mg) y sodio (837 mg), como se puede apreciar en el cuadro 2 (Guzmán y col., 1993). También, es importante mencionar que la mayor parte de las grasas (56%) corresponde a un ácido graso insaturado el ácido oleico y el resto principalmente al ácido palmítico (16%) y al ácido esteárico (24%) (Galicia, 1994)

Cuadro 2. Contenido de minerales en los principales hongos comestibles (Fuente: Guzmán y col., 1993).

Mineral mg/100g	<i>Pleurotus ostreatus</i> (setas)	<i>Agaricus bisporum</i> (champiñón)	<i>Volvariella displasia</i>	<i>Lentinus edodes</i> (shiitake)
Calcio	33	23	58	118
Fósforo	1.348	1.429	1.042	6.50
Potasio	3.793	4.762	3.333	1.246
Hierro	15	186	177	30

Por sus propiedades nutritivas, los hongos no deben ser considerados como un condimento más que proporciona mejor sabor a los alimentos, sino como una comida con un contenido considerable de nutrientes que debería tomarse en cuenta como fuente potencial de alimentación para el humano (Rinaldi y Tyndalo, 1984). En el cuadro 3, se muestra el panorama del valor nutritivo, utilizando al huevo como referencia, de algunas especies que están adquiriendo alto valor comercial tanto en Europa como en Estados Unidos (Romero y Rosales, 1998). Se puede apreciar que la mayoría de los hongos comestibles tienen un contenido de proteínas cercano a la mitad de lo que tiene el huevo, una digestibilidad casi del 80% y un índice de aminoácidos de más de 60 en comparación con lo que tiene el huevo. Con la gran ventaja, de que estas fuentes de proteínas no contienen índices elevados de colesterol como el huevo.

Cuadro 3. Valor nutritivo de hongos comestibles utilizando como referencia al huevo (Fuente: Romero y Rosales, 1998).

Especie	Índice de aminoácidos	Valor biológico	Digestibilidad <i>in vitro</i>
<i>P. ostreato roseus</i>	95.7	92.7	89
<i>P. floridin</i>	84.5	80.4	79
<i>P. flabellatus</i>	82.7	78.4	87
<i>P. sajor caju</i>	70.9	59.2	63
<i>P. ostreatus</i>	64.8	58.9	n.d.
<i>Agaricus bisporus</i>	55.8	49.1	n.d.
<i>Volvariella displasia</i>	87.9	84.1	n.d.
<i>Lentinus edodes</i>	55.8	49.1	n.d.

2.6 Generalidades sobre el cultivo de hongos

En la naturaleza se consideran que existen más de 2000 especies de hongos comestibles, sin embargo solo alrededor de 25 especies se consumen (Chang y Miles, 1987). De hecho, la actividad comercial del cultivo de hongos es muy joven (unos 3 siglos para el champiñón y mediados del siglo pasado para la seta *Pleurotus* spp.), comparado con la de los cereales (por ejemplo, 5000 años para el arroz del cual se estima que existen 7000 variedades) (Martínez, 2002).

Existen otros géneros de hongos comestibles que en Oriente se han cultivado desde hace siete siglos con técnicas muy rústicas utilizando pedazos de troncos de árboles, como el Shii, que es un encino. Take significa hongo y así se tiene al legendario Shiitake (*Lentinus edodes*), de sabor único y muy aromático, muy apreciado en Oriente y cada vez más consumido en los Estados Unidos. Este hongo todavía se cultiva por el método tradicional que consiste en perforar los troncos e introducir en ellos un pedazo de madera invadido previamente por el micelio del Shiitake (Martínez, 2002). De este modo comienza la producción unos dos años después de la inoculación con oleadas sucesivas muy espaciadas (meses) durante las lluvias, dejando de producir después de cinco años. Mucho más rápido es el método de aserrines enriquecidos con salvados y otros materiales nitrogenados, que se humedecen y compactan en bolsas a las que se les denomina “quinchos” y que suelen colgarse de hilos plásticos en una fila de siete u ocho piezas. Con este procedimiento es posible obtener los brotes de los hongos de 30 a 60 días después de la incubación aunque requieren que las bolsas se esterilicen utilizando desinfección con vapor para que el cultivo resulte confiable (Martínez, 2002).

En los últimos años la producción mundial de hongos comestibles pasó de 1,257,000 toneladas en 1989 a 3,794,000 toneladas en 1998, lo que implica un incremento del 202% en 9 años (cuadro 4) (Martínez, 2002).

Cuadro 4. Volúmenes de producción mundial de hongos comestibles en las últimas cuatro décadas (Fuente: Martínez, 2002).

Década	Volumen de Producción Ton/ año	Especies producidas
1960/69	136,000	Champiñon, (<i>Agaricus bisporus</i>)
1970/79	916,000	Champiñon, Shiitake (<i>Lentinus edodes</i>)
1980/89	1,257,000	Champiñon, Shiitake, <i>Pleurotus</i>
1990/98	3,794,000	Champiñon, Shiitake, <i>Pleurotus</i>

Actualmente, los principales hongos comestibles que se cultivan en el mundo son: el champiñón (*Agaricus bisporus*), con el 56% de la producción total; el hongo negro del bosque o shiitake (*Lentinus edodes*), representa el 14%; el hongo de la paja (*Volvariella volvacea*) con el 8%; el hongo seta (*Pleurotus* spp.) con el 8%; el hongo oreja de la madera (*Auricularia* spp.) con el 6%; la pata de terciopelo (*Flammulina velutipes*) con un 3% y el resto con otras especies (Chang y Miles, 1987). En el cuadro 5, se presentan las características de cultivo de algunas variedades de hongos comestibles, en los cuales en la mayoría de los casos se prefiere utilizar residuos de cereales que pueden estar enriquecidos y se mantienen a temperaturas templadas que van de 20 a 25 °C. Conforme los productores tengan

más experiencia en el cultivo y capital paulatinamente se irán descubriendo este tipo de productos en los distintos tianguis y mercados.

Cuadro 5. Indicaciones para el cultivo de hongos comestibles (Fuente: Guzmán y col., 1993; Maroto, 1995).

Hongo	Sustrato Utilizable	Condiciones de Crecimiento	Fructificación	Observaciones
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Paja enriquecida y molida de diversos vegetales	24° C bajo protección plástica	T<24° C, luz, aireación y alta humedad.	Muy apreciado. Está siendo mejorado en Francia con ecotipos salvajes
<i>Volvariella volvacea</i>	Paja de arroz saturada de agua	21° C	Temperaturas altas. Luz	Muy cultivado en Taiwán, China, Madagascar, etc.
<i>Pholiota aegerita</i>	Paja de trigo. Cortezas molidas de álamo. Aserrín de álamo.	25° C. Higrometría elevada. Crecimiento lento.	Cobertura de tierra. Luz. 18-20° C.	Cultivo parecido a <i>Pleurotus</i> . Gran resistencia al CO ₂ .
<i>Rhodopaxillus nudus</i>	Hojas de hayas. Composta de champiñón.	Incubación dura seis o más meses.	Shock frío. Maduración en 8-15 días.	Producción continua durante varios años. Posibilidad de recolección en todas las épocas
<i>Coprinus comatus</i>	Paja esterilizada. Composta.	Rápido	Shock frío. Luz. Cobertura.	Hongo de cultivo relativamente sencillo
<i>Marasmius oreades</i>	Estiércol de equino y bovino.	Rápido	Shock frío.	Producción durante varios años

Durante los últimos 15 años el cultivo de especies del género *Pleurotus* spp. ha tomado mayor importancia en países como Francia, Italia y España, siendo el más conocido *Pleurotus ostreatus* (Rajaritham y Bano, 1987; Breene, 1990). Existen otras dos especies de interés comercial que son *Pleurotus eryngii* y *Pleurotus*

cornucopioides. Los principales países productores de setas a nivel comercial son China, Kenia, Canadá, Australia, Alemania, Francia, Italia, Hungría, Noruega, India, Indonesia, Japón, Malasia, Pakistán, Filipinas, Singapur, Taiwán, Tailandia, Estados Unidos y Holanda (Rajaratham y Bano, 1987). Gracias al incremento en la producción de los hongos setas, en diversos países como Alemania, Japón, China, Canadá y Estados Unidos, ha aumentado el consumo de estos productos. Si se comparan estos valores que se muestran en el cuadro 6, con respecto a México, se tiene como resultado que en nuestro país el consumo sigue siendo prácticamente nulo ya que es inferior a un consumo de 100 g por habitante (Martínez, 2002).

Cuadro 6. Consumo per cápita en los principales países consumidores de setas (Fuente: Martínez, 2002)

País	Consumo por habitante y por año (Kg)
Alemania	4
Canadá	4
Estados Unidos	4
Bélgica	4
España	3
Italia	3
Japón	3
México	Menor a 0,1

El cultivo de hongos comestibles en Latinoamérica inició a finales de los años treinta y su crecimiento fue lento durante los siguientes 50 años debido a diferentes razones (Fernández, 2000):

* El hermetismo total por parte de los pocos productores en ese tiempo.

La nula información, difusión y desconocimiento total respecto al cultivo de hongos comestibles por parte de instituciones agrícolas.

La poca producción y consumo de hongos.

Estos factores hicieron de este producto un alimento un tanto elitista y dieron lugar a que el crecimiento de las empresas productoras de hongos fuera prácticamente unilateral. Esto es, que quienes iniciaron en la producción de hongos en esos tiempos crecieron sus empresas y son actualmente empresas muy bien establecidas en el mercado.

Posteriormente y de manera coincidente, en los años noventa surgieron varias empresas productoras de hongos comestibles en diferentes países de Latinoamérica, permitiendo que el producto dejara de ser escaso e iniciándose así una competencia sana en calidad, cantidad y costo del producto, beneficiándose indudablemente el consumidor final. También a mediados de los años noventa surgió la organización de Fungi Expos, la cual se encargó de impartir ciclos de conferencias sobre la producción comercial de hongos comestibles, trayendo como consecuencia la vinculación del público en general con empresas proveedoras de insumos y/o prestadoras de servicios, logrando que la producción de hongos dejara

de ser un misterio y que los interesados en estos cultivos pudieran tener al alcance información técnica confiable y adquirir tecnología adaptada a sus necesidades (Fernández, 2000).

Actualmente las condiciones han cambiado con la globalización y todo Latinoamérica incluyendo a México es un prometedor mercado para la producción de setas, debido a que cuenta con ciertas características que muchos otros países Europeos y Norteamericanos desearían tener tanto por su mano de obra barata en comparación a éstos, como por su abundancia de materia prima disponible para la elaboración de este cultivo, características climáticas adecuadas e infraestructura (Martínez y col., 1991).

En el caso de México los principales hongos cultivados son el champiñón y la seta. Los estados con potencial para el desarrollo de industria productora de hongos son Jalisco, Distrito Federal, Chiapas, Guanajuato, Michoacán, Veracruz, Puebla y Oaxaca, ya que disponen de la materia prima y clima adecuados. Sin embargo, para que el cultivo de hongos tenga una mayor probabilidad de éxito es importante llevar a cabo estudios de factibilidad, según el lugar donde se desea establecer, ya que las condiciones climáticas y de servicios, son factores que pueden aumentar o disminuir los costos de inversión y de producción. Por ejemplo, con respecto a la producción de *Pleurotus* spp., se ha tenido últimamente una mayor importancia, proliferando cientos de pequeños productores de setas a nivel rural, los cuales han sido enseñados y apoyados tanto por instituciones públicas como privadas. Sin embargo, debido a que la información de cómo producirse de forma industrial no es conocida por la gran mayoría de los productores nacionales, solamente se tiene en

la mayor parte del país un producto de calidad y cantidad inconstante (Fernández, 2000).

2.6.1 Sistemas de cultivo de setas

Es posible realizar el cultivo de setas por diferentes técnicas, pero en todas ellas lo fundamental consiste en sembrar el micelio sobre un sustrato húmedo, leñoso, rico en celulosa, al cual se le aplica algún tratamiento térmico (pasteurización y/o fermentación); posteriormente se incuba manteniéndolo envuelto en plástico; luego se coloca en sitios húmedos y frescos, hasta que se da el desarrollo de los carpóforos (fructificación), y por último, se pasa a la etapa de cosecha.

Las técnicas que se han desarrollado para el cultivo de las setas se pueden clasificar en dos grandes grupos: a) sistemas de producción tradicional o rústicos y b) sistemas de producción industrial.

En el cuadro 7, se muestra la comparación de algunas de las características de las etapas que se tienen en los dos sistemas de cultivo de las setas. Como se puede apreciar, las principales diferencias entre ellos son los volúmenes de producción que se alcanzan, el tipo de infraestructura y maquinaria que emplean y el control que se tiene en los factores extrínsecos que afectan al cultivo como son la temperatura, humedad, ventilación e intensidad de luz.

Cuadro 7. Etapas del cultivo de la seta tanto en el sistema tradicional como en el industrial (Fuente: García-Rollan, 1985).

Etapa	Procesos	Tiempo	Sistema industrial	Sistema tradicional
Preparación del sustrato	Incorporación de aditivos o enriquecedores	n.d*	No mayor 40%	No mayor 40%
	Fermentación	5 -15 días	Temp. menor a 60°C, Humedad del sustrato 70-80%. Adición de cal.	No se realiza fermentación
	Pasteurización.	8 - 96 horas	Túnel de pasteurización Vapor de 60 a 80° C con intervalos de 50° C. En aerobiosis.	En agua de 80 a 90° C. con o sin cal. Escurrir y lavar
Siembra del micelio	Mezclado	n.d*	Micelio 1-4 %. 70% de humedad. Dosificador o bandas	% variable de micelio Manual : aleatorio o capas.
Incubación	n.d*	15 - 40 días	Bolsas de plástico transparente o en recipientes cubiertos de plástico. Temp. del local: 18 a 25° C. Temp. del sustrato: 25° Ventilación 1m ³ /h/Kg Oscuridad	Bolsas de plástico transparente Temperatura interna de la bolsa no mayor a 35°C. Oscuridad
Producción de setas	Fructificación y cosecha	Hasta 60 días (en tandas de 3-8 días, con descansos de 10-20 días)	Temperatura del local: 12-18° C según la cepa empleada. Humedad del ambiente:85-95%. Mantener el sustrato húmedo regando finamente, o dejando el plástico sin quitar si tiene perforaciones grandes. Iluminación diurna: 200 a 500 lux. Ventilación: 150 m ³ de aire nuevo por tonelada y hora, reciclando de 5 a 10 veces por hora en su totalidad.	Temperatura 20 – 26°C Humedad grande (rociar). Iluminación diurna. Mucha ventilación.

Nota: * n.d no determinado

2.6.1.1 Sistema de producción tradicional

El sistema de producción tradicional es el más conocido y que comúnmente se lleva a cabo en la mayoría de las comunidades tanto urbanas como rurales. Este sistema de producción ha sido el más prolífero debido a que presenta las siguientes ventajas:

Requiere de baja inversión y poco espacio.

Es una opción de producción diversificada y de autoconsumo en zonas de bajos recursos.

Permite aprovechar los esquilmos agrícolas que se producen en las zonas rurales.

Sin embargo, existen ciertos factores que han hecho que algunos productores cesen con el cultivo de las setas, a pesar de las ventajas que presenta este sistema.

Las principales limitantes que se tienen son las siguientes:

Insuficiencia de personal capacitado en el área. Cada productor realiza todos los procesos de producción y supervisión, lo cual implica demasiada información técnica, lo que provoca que las etapas de desarrollo se aprendan al estilo de prueba y error, sin tener una adecuada capacitación.

Volumen de producción limitado. Por lo regular con este sistema no se pueden sembrar más de 50 bolsas por día por recipiente. La poca producción de bolsas hace que se tengan que concentrar en el mismo cuarto de cultivo bolsas con fechas diferentes hasta de 8 a 15 días, por lo que, los tratamientos

que se les aplican son los mismos; siendo lo recomendable que cada lote se mantenga en las condiciones adecuadas para la etapa de desarrollo en la que se encuentre la seta.

Deficiencias o carencias en la adaptación de las instalaciones y equipos de control para producción. Comúnmente carecen de equipos de ventilación y de control de temperaturas por lo que la ventilación es natural y están totalmente a expensas del medio ambiente.

Dificultad para conseguir semilla de calidad.

Como resultado de estas limitantes, se tiene una producción irregular de setas con deficiencias en la consistencia, tamaños, cantidad y calidad comercial que hace imposible la incursión en una cadena de comercialización continua (Fernández, 2000).

El proceso del cultivo de setas en el sistema tradicional consta de las siguientes etapas:

Pasteurización: consiste en aplicar algún tipo de tratamiento previo al sustrato para disminuir la carga microbiana de competencia. Generalmente, se introduce al sustrato en agua caliente (80 a 90°C) ya sea con o sin cal. Los tiempos de remojo, escurrido y atemperado varían según el tipo de sustrato que se emplee (figura 6) .

Siembra e inoculación: consiste en la distribución homogénea de la semilla (inóculo) sobre el sustrato ya sea por un sistema de mezclado aleatorio (al boleo) o por capas. El inóculo se puede conseguir en frascos de vidrio o en bolsas de

plástico y consiste en granos de trigo, mijo, sorgo o maíz colonizados por el micelio de *Pleurotus* spp. y que sirven de vehículo para transportar el micelio del hongo al sustrato. En esta etapa se puede variar la relación de micelio con respecto al sustrato, dependiendo de las características de ambas materias. En la figura 7 se muestra cómo después de realizar la siembra del inóculo en el sustrato se llenan las bolsas, a esta operación que se le enseña generalmente a los productores rurales o estudiantes de laboratorio se le denomina “síndrome de laboratorio”.

Incubación: consiste en la invasión del sustrato por el desarrollo extensivo del micelio, para lo cual, las bolsas sembradas se colocan en cuartos o naves especiales donde se cuida que la temperatura interna de las bolsas no sea superior a los 35 °C. También, se recomienda que se mantengan en oscuridad.

Producción: consiste en la formación y crecimiento de los cuerpos fructíferos de los hongos. Es importante mantener en esta etapa una adecuada humedad y una temperatura ambiental promedio de 20 a 26 °C. Los tiempos de fructificación varían dependiendo de las condiciones de cultivo.

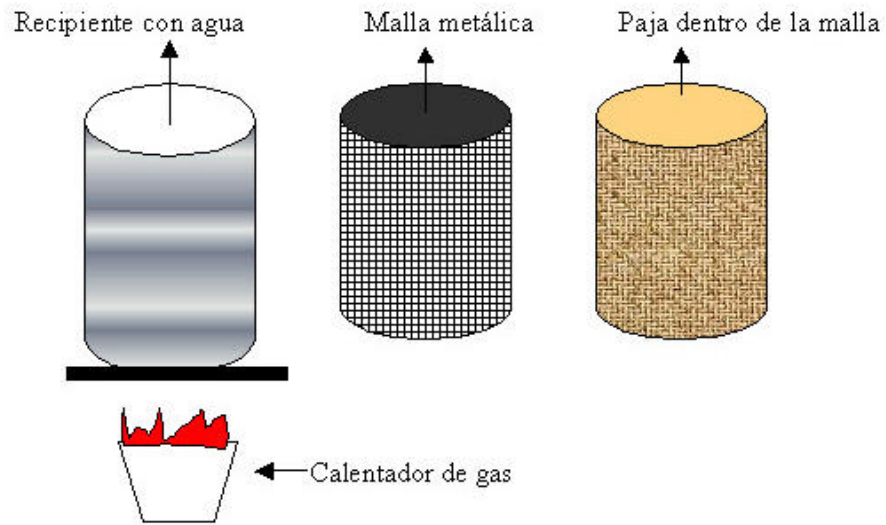


Fig. 6. Proceso de pasteurización del sustrato para el sistema de producción tradicional de setas (Fuente: Fernández, 2000).

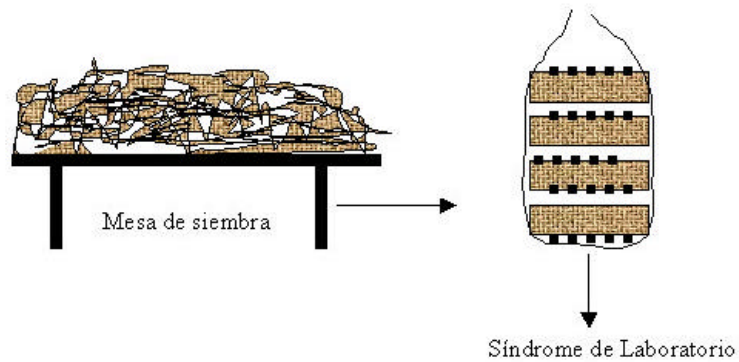


Figura 7. Siembra y llenado de las bolsas de cultivo de setas en la producción tradicional (Fuente: Fernández, 2000).

2.6.1.2 Sistema de producción a nivel industrial

A diferencia del cultivo tradicional, en este sistema los procesos requieren como principio una mayor cantidad de materia prima y suplementos agrícolas; utilización de maquinaria y equipos especiales, y la necesidad de aumentar una etapa más en el cultivo que consiste en la fermentación del sustrato. Por ser más tecnificado, son contadas las empresas que tienen la tecnología para llevarla a cabo.

Los principales factores adversos que tiene este sistema son: a) existen pocos técnicos con experiencia en producción comercial industrial; b) requiere de mayor inversión y espacios, y c) requiere de maquinaria y equipo especializado. Sin embargo, los factores adversos son menores en comparación con el sistema tradicional, presentando las siguientes ventajas:

La producción de bolsas es mayor en una sola partida. Por ejemplo, en un túnel de 15 x 3 x 3.5 m llenándose a 1.5 metros de altura se producen cerca de 1,200 bolsas aprox. de 15 Kg cada una, pudiéndose realizar hasta dos veces por semana.

Se garantiza un desarrollo sincronizado y calidad homogénea en cada bolsa cultivada debido a que se tienen controladas con equipos especializados los factores extrínsecos como son temperatura, humedad y ventilación. Además, se tienen naves separadas para las dos etapas cruciales en el desarrollo de la seta (incubación y la producción), lo que permite aplicarle el tratamiento adecuado a cada bolsa dependiendo de la etapa de crecimiento en la que se encuentre.

La producción es homogénea y garantiza una mayor cantidad y calidad de producto constante, factor determinante que permite la entrada al mercado formal nacional o internacional, proporcionándole a los productores de setas expectativas de crecimiento económico.

Las instalaciones necesarias para el cultivo industrial se diseñan en función del volumen de producción que se desea conseguir. Se recomienda trabajar por lo menos con dos locales en donde se puedan controlar los parámetros climáticos. Estos dos locales son los siguientes:

- 1) Local de incubación: es el área donde se da el crecimiento del micelio sobre el sustrato. Generalmente se mantiene la temperatura de 18 a 25 °C y la ventilación se requiere de un metro cúbico de aire por hora y por kilogramo de sustrato.
- 2) Local de cultivo: en esta área se producen las setas sobre los sustratos invadidos. Generalmente, se mantiene la temperatura de 12 a 18 °C y la humedad relativa del 85 al 95%. La ventilación debe ser tal que el contenido de CO₂ sea inferior al 0.06%. La iluminación debe ser de 12 horas diarias (200 a 500 lux).

Para obtener estas condiciones climáticas se utilizan pequeños locales que pueden estar dotados de sistemas de calefacción por infrarrojos; sistemas de humidificación con cortina de agua en los ventiladores; circulación de aire mediante conducciones de plástico perforadas que cuelgan del techo; y

sistemas de aislamiento del exterior con filtros que eviten la entrada de otros organismos como son esporas de hongos, bacterias o insectos.

Los procesos biológicos de producción son similares al sistema tradicional, aunque se requiere de la fermentación o compostaje del sustrato debido a la cantidad de materia prima que se maneja. Las principales características de las etapas de cultivo en el sistema industrial son las siguientes:

Fermentación: tiene como propósito eliminar algunos compuestos (como son carbohidratos solubles) que favorecen el crecimiento de flora competidora, remover la capa cerosa que cubre al sustrato e iniciar el desdoblamiento de la celulosa y lignina (Palacios, 2003); el tiempo de la fermentación dependerá de varios factores como son el tipo de sustrato y cantidad empleada, temperatura ambiente y tipo de cepa de *Pleurotus* spp. que se emplee, la fermentación únicamente se recomienda para sustratos que contienen altas concentraciones de azúcares libres que podrían favorecer el crecimiento de organismos competidores, como por ejemplo, bagazo de caña de azúcar, de maguey, zacate verde, pulpa de café, entre otros (Palacios, 2003). En el caso del sustrato fermentado se debe de mantener una adecuada aireación, para que los procesos biológicos complejos que son realizados por la flora aerobia tengan la cantidad de oxígeno necesaria para su adecuado funcionamiento, inhibiéndose a la par el desarrollo de microorganismos anaerobios que lo único que hacen es pudrir al sustrato (Stamets, 1983). Consiste en mojar y revolver los suplementos agrícolas que se van a utilizar como sustrato, para

después dejarlos reposar a lo largo de varios días (5 a 15), revolviendo diariamente o cada tercer día con mezcladoras. La temperatura no debe sobrepasar los 60° C para evitar problemas futuros con hongos del género *Trichoderma*. La humedad de la masa del sustrato se recomienda que sea del 70 al 80 %. Se puede añadir carbonato cálcico para que el pH se mantenga cercano a la neutralidad (alrededor de 6.5). Por otra parte, algunos productores añaden enriquecedores y aditivos para mejorar el sustrato base y tener una mayor producción, dentro de los que destacan carbonato de calcio, heno picado, harina de maíz, harina de soya, harina de girasol, alfalfa deshidratada, salvado de arroz, harina de plumas, yeso, entre otros. Generalmente, la incorporación de estos componentes se encuentran entre un 2 a un 40% del peso total de la mezcla (Stamets, 1993).

Pasteurización: se realiza para destruir semillas, insectos, parásitos y flora competidora que puedan desarrollarse sobre el sustrato. Para ello se introduce la composta en túneles de pasteurización. La temperatura y el tiempo del tratamiento varía según los sitios. En general, se emplean temperaturas controladas entre los 60 y 90°C durante unas 5 o 6 horas, con períodos intermedios de 50°C durante 1 o 4 días. Normalmente se llena el túnel a una altura de 1.6 a 1.8 metros, si se rebasa esta altura se corre el riesgo de provocar un efecto de anaerobiosis por la compactación de la composta. La composta no es capaz de generar por si misma el suficiente calor por lo que se debe de inyectar vapor mediante una caldera.

- ? Siembra e inoculación: consiste en la distribución de la semilla (inóculo del micelio) con un dosificador o manualmente sobre la composta por medio de

bandas sinfín. La cantidad de micelio comercial varía desde 1 hasta 4% del peso húmedo del sustrato. El micelio comercial se prepara en laboratorios especializados germinando las esporas en placas con agar-maltosa u otros medios de cultivo. Después se hace crecer sobre granos de cereales esterilizados, y una vez colonizados, se envasan para la venta. Existen varias cepas comerciales de *Pleurotus* según el tamaño, color, temperatura de crecimiento, resistencia al calor, entre otros. El sustrato sembrado se introduce en sacos de plástico transparente de 15 a 30 Kg de capacidad. El diámetro de los sacos debe ser inferior a los 40 a 50 cm, para evitar sobrecalentamientos del sustrato y una densidad inferior a 0.36. También se pueden emplear jaulas o cajones de tela metálica de malla amplia recubiertos de plástico.

Incubación: las bolsas inoculadas se mantienen en naves que controlan perfectamente la temperatura (18 a 25°C), ventilación, humedad e intensidad de luz. Después de 15 a 30 días el micelio invade el sustrato (Infoagro, 2003).

Producción: para favorecer el desarrollo y crecimiento de los cuerpos fructíferos se mantienen en naves especiales con temperatura controlada (en promedio de 12 a 18°C) durante 15 a 35 días aproximadamente. Unas dos o tres semanas después de aparecer el primer botón (primodio) se recogen las primeras setas. La producción de setas se concentra en tres a ocho días, luego se suspende de diez a veinte días, después abundan otra semana, comportándose así sucesivamente hasta alcanzar un período de cosecha total de alrededor de 45 a 60 días. Para obtener setas con sombreros gruesos, carnosos y de buena calidad se puede bajar la temperatura de 2 a 3°C. Las setas se cortan con un cuchillo, sin arrancar la base. La producción se

escalona a lo largo del año, concentrándose entre 2 y 4 meses. Los ejemplares para la venta se recogen cuando son jóvenes ya que luego su textura se vuelve correosa. Los sombreros más aceptados por el consumidor son los que pesan menos de 70 g. Los pies y los ejemplares adultos se destinan a la preparación de sopas, salsas o platos preparados con sabor a setas (Infoagro, 2003).

2.6.2 Sustratos empleados para el cultivo de las setas

La agricultura y silvicultura modernas realizan métodos intensivos de producción que generan grandes cantidades de desechos sólidos, de los cuales del 40 al 60% corresponden a desechos de naturaleza lignocelulósica difíciles de digerir por animales y microorganismos, por lo que resulta costosa su conversión a productos químicos, fibras, combustibles y piensos (Romero y Rosales, 1998).

Debido a que los hongos comestibles se alimentan de materia orgánica muerta se pueden emplear muchos de estos materiales como enriquecedores o sustratos para su alimentación. Por ejemplo, se han utilizado residuos de los cultivos de las gramíneas como el maíz, trigo, sorgo, avena y cebada, ampliándose la lista a prácticamente todo: sobrantes de los cultivos de arroz, frijol, plantas para hacer té e incluso residuos de procesos industriales como la elaboración de azúcar de caña, del tequila de maguey y del café tanto de grano como instantáneo (Stamets, 1993; Palacios, 2003). Incluso, los aserrines de la industria maderera han sido aprovechados, tanto de pino como de encino y de las especies tropicales (Martínez, 2002). Esta gran versatilidad permite que cada productor pueda ensayar los

materiales más económicos y fácilmente disponibles en su zona geográfica para el cultivo de los hongos.

Para obtener buenos resultados en la producción de hongos, el sustrato elegido debe cumplir con las siguientes características: a) contener los nutrientes necesarios; b) estar libre de contaminantes; c) provenir de materias primas de cosechas recientes, y d) no debe tener invasiones de otros hongos, bacterias o insectos.

Por otra parte, también es importante una adecuada preparación del material que se usa para el cultivo del hongo. El sustrato es la fuente de nutrientes de la seta, por lo que se debe facilitar su disponibilidad y condiciones para su utilización. Además, es el sitio donde se desarrollará el cuerpo fructífero, así como el primer punto donde se aplica algún tipo de tratamiento para el proceso de cultivo del hongo. Como ya se mencionó anteriormente, el proceso puede iniciarse ya sea con una fermentación, o con la aplicación de calor húmedo mediante vapor o inmersión en agua caliente, o mediante adición de sustancias químicas o mezclándolos. De hecho, una de las ventajas del cultivo de las setas es que no necesariamente debe ser sometido a la fermentación como sucede con el cultivo del champiñón (Fernández, 2000), ya que *Pleurotus* spp. es capaz de asimilar sustancias simples que contienen los sustratos directamente

Por otra parte, el remojo del sustrato antes de la inoculación es un proceso indispensable donde se debe cuidar la cantidad de humedad incorporada, con la finalidad de mantener el mejor desarrollo del hongo y evitar descomposiciones del micelio. Incluso remojar excesivamente el sustrato puede agravarse si el tamaño de las partículas del sustrato es menor a 4 centímetros y si los contenedores (bolsas)

son de gran tamaño, provocando la inhibición en el desarrollo del micelio al no existir espacios de aire entre las partículas excesivamente mojadas y por lo tanto, aumentando las probabilidades de contaminación o muerte del micelio (Rodríguez-Abitia, 2002). El picado de las bolsas sirve para mejorar la aireación durante la fructificación y acelerar la velocidad de crecimiento. Por lo contrario, si no hay humedad suficiente, el desarrollo del micelio y la fructificación se vuelve más lenta, pudiéndose desencadenar la muerte del micelio; en el caso de que sobreviva, la producción es baja debida a la escasez de agua (Rodríguez-Abitia, 2002).

A continuación, se mencionan los principales tipos de sustratos que se han utilizado para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

2.6.2.1 Cultivo sobre troncos cortados.

Son troncos de maderas blandas de menos de 50 cm, en los que se inocula el micelio, colocándolo en orificios o en la superficie del corte. Se tienen en una zanja cubierta con tierra y materia orgánica, y cuando ya se adaptó el hongo, se sacan y colocan en sitios húmedos, con la base enterrada.

Los árboles más adecuados son el álamo negro o chopo (*Populus nigra*) y sus híbridos, (*Populus trémula*). También, se pueden emplear el álamo blanco (*Populus alba*), los sauces, moreras, hayas, nogales, cerezos, abedules, castaños de Indias, robles y encinos.

El cultivo sobre este sustrato es sencillo y no requiere instalaciones complicadas, pero requiere el corte de árboles y una reforestación. La producción de

setas dura pocos años, principalmente en la época de otoño, obteniéndose rendimientos de entre 100 y 150 Kg por metro cúbico de madera (Infoagro, 2003).

2.6.2.2 Cultivo sobre tocones de madera.

Los tocones de álamos, nogales, sauces, moreras, robles y encinas, pueden aprovecharse para cultivar las setas, con la ventaja de que el propio hongo se encargará de atacar a la madera y en pocos años la dejará blanda, lo que facilitará la eliminación del tocón.

La siembra del micelio en el tocón se realiza a los pocos meses de la tala del árbol. Para ello se realizan unos agujeros con una barrena o taladro en diversos puntos del tocón, o algunos surcos con una sierra, con cierta inclinación hacia arriba y adentro, para evitar que se llenen de agua con la lluvia. Después se rellenan de micelio y se cubren con tiras de papel engomado opaco (Stamets, 1993).

Otra forma de siembra consiste en cortar una rodaja del tocón con una motosierra. Se extiende el micelio sobre la superficie nueva y se cubre con la rodaja de madera, sujetándola con unos clavos. El borde se sella con papel engomado (Stamets, 1993).

2.6.2.3 Otros sustratos utilizados para el cultivo de hongos.

Consiste en sembrar el micelio sobre un sustrato preparado basado en paja, incubarlo a unos 25° C y luego tenerlo en un sitio fresco, húmedo, ventilado e iluminado (Infoagro, 2003).

Para el caso específico de *Pleurotus* spp. los sustratos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- 1) Pajas: cártamo, cebada, sorgo, trigo, avena, centeno, amaranto, arroz y zacate en general.
- 2) Rastrojos: maíz, mijo, garbanzo, frijol.
- 3) Pulpas : café, cardamomo, cacao.
- 4) Bagazos: caña de azúcar, maguey tequilero, henequén, zanahoria.
- 5) Forestales: aserrín, viruta (pino, encino) madera de cazahuate, troncos, ramas, maleza y hojarasca de parques y jardines.
- 6) Desechos agroindustriales: de industria textil, lino y algodón, de la industria de extracción de aceites esenciales: hojas de zacate de limón, canela y pimienta negra, de beneficiado del café, cascarilla y pergamino.
- 7) Otros: papel, olote y tamo de maíz, fibra de coco, lirio acuático, hojas y tallos (cañones) de plátano, residuo de girasol, orégano, pencas de nopal, cáscara de cacahuate, pasto.

En la actualidad es necesario el desarrollo de tecnologías para la transformación de recursos naturales con la finalidad de aprovecharlos al máximo, incluyendo el empleo de materiales que antes se consideraban como desperdicios o que tenían muy poco uso. La mayoría de éstos han tenido una utilización limitada

debido, principalmente al desconocimiento de los métodos necesarios para su tratamiento y utilización (Valencia del Toro, 2002).

2.7. Generalidades sobre la pitaya.

Se designa con el nombre genérico de “pitaya” a los frutos de diversas cactáceas pertenecientes a las tribus *Hylocereeae*, *Pachycereeae* y *Equinocereae*. Entre los géneros productores de pitayas, figuran entre otros, *Hylocereus*, *Pachycereus*, *Stenocereus*, *Carnegiea*, *Machaerocereus* y *Echinocereus*. Todos estos frutos son comestibles, jugosos, frescos y ricos en azúcares, y varias de las especies que los producen son objeto de cultivo, más o menos intensivo, en distintas regiones del país.

El género *Stenocereus* es una planta que pertenece a la familia de las cactáceas y de la cual se conocen 20 especies en el mundo; en México se dan 19 de ellas, que crecen en forma silvestre (80%) o cultivada. La mayor parte de las especies de este género producen pitayas comestibles, generalmente globosas hasta ovoides, de color verdoso, anaranjado, rojizo o purpúreo, que al madurar pierden sus aréolas con todo y espinas, facilitando mucho su ingestión. Su pulpa es dulce y jugosa, por lo que tienen gran demanda como fruta fresca, pero sirven también para preparar mermeladas, bebidas refrescantes y bebidas alcohólicas por fermentación.

Las principales especies pitayeras de este género son: *Stenocereus griseus*, *S. pruinosus*, *S. queretaroensis*, *S. stellatus*, *S. treleaseri*, *S. fricii* y *S. chrysocarpus*. Los estados de Oaxaca y Puebla son los principales productores de

pitaya. La Secretaría de Desarrollo Rural estima que existen 400 hectáreas de plantíos de pitaya, pero la producción es muy variable debido a que las densidades van desde 625 a 825 plantas por hectárea, mientras que en otros, apenas se encontrarán 50 plantas por hectárea debido a que se siembran en cercos vivos o en pequeños huertos de traspatio.

La pitaya que crece en la región Mixteca Oaxaqueña es la *Stenocereous griseus*, la cual prospera en suelos muy pobres localizados en pendientes muy inclinadas y con poca lluvia para su desarrollo. Esta especie fructifica en Mayo, por lo que a su fruto se le suele llamar “pitaya de mayo” (cuadro 8).

Cuadro 8. Composición de la pitaya de mayo (% B.S.) (Fuente: Bravo, 1991).

Componente	Fruto íntegro	Pulpa	Cáscara	Semilla
Proteínas	6.93	9.07	6.61	21.77
Fibra Cruda	16.76	23.15	10.66	-----
Cenizas	6.67	3.23	12.19	-----
Grasas	1.0	0.84	0.64	1.65
ELN	68.64	63.71	69.90	-----

Su cultivo se reporta en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Puebla y Oaxaca. Los frutos del cactus tienen el pericarpio delgado y de color rojo purpúreo; la pulpa de color semejante al de la cáscara, es jugosa, fresca y dulce.

La pitaya representa una importante fuente económica y nutricional para los productores rurales. En el cuadro 9, se muestran datos de la producción anual de las principales variedades cosechadas en nuestro país, la cual alcanza un valor de 2,500 ton. Si se considera que del 30 al 50% en peso son residuos de cáscaras se tuvieron cerca de 750 a 1000 ton de residuos.

Cuadro 9. Variedad, temporada y producción de pitaya en la Región Mixteca
 (Fuente: Bravo, 1991)

Variedad	Temporada de Producción	Volumen ton/año
Dichi-Cuaha, Jarro, Espina amarilla, Espina Negra, Señora, Melón, Borrega, Guinda, Blanca, Amarilla, Rosa.	Mayo, Junio, Agosto, Septiembre	2,500

3. JUSTIFICACIÓN

A principios de la década de los noventa se inició la producción de hongos comestibles a nivel experimental con la finalidad de encontrar nuevas alternativas de productos alimenticios ricos en proteínas y bajos en grasas (Martínez, 2002). De hecho, actualmente la seta *Pleurotus* spp. es el segundo hongo comestible producido en México. En los últimos años la producción pasó de 356 toneladas en 1990 a 1825 toneladas en 1997, implicando un incremento del 413% en siete años (Palacios, 2003).

Por otra parte, en la actualidad es necesario el desarrollar tecnologías para la transformación de los recursos naturales con la finalidad de aprovecharlos al máximo, incluyendo el empleo de materiales que antes se consideraban como desperdicios o que tenían muy poco uso. La mayoría de éstos han tenido una utilización limitada debido, principalmente, al desconocimiento de los métodos necesarios para su tratamiento y utilización (Valencia del Toro, 2002). Es por esta razón que últimamente se han probado diversos residuos agroindustriales (pajas, bagazos, forrajes, troncos de madera, pulpa de frutas, entre otros) para utilizarlos en el cultivo de las setas ya que son organismos que se alimentan principalmente de materia orgánica (Stamets, 1993; Sánchez, 1993). Sin embargo, no existen reportes sobre la utilización de residuos de frutas cactáceas como posibles enriquecedores o sustratos para su crecimiento. Por lo que en esta ocasión surgió el interés de evaluar a la cáscara de pitaya como posible enriquecedor de la paja de trigo utilizada para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en esta región. La razón por la cual se escogió este material se debe a que en la Región Mixteca se produce y consume esta cactácea. Además, se están desarrollando productos elaborados a base de pitaya como son conservas y bebidas, los cuales podrían generar residuos, si se considera que

anualmente se alcanza una producción de 2,500 toneladas y que del 30 al 40% en peso del fruto son cáscaras (González, 2002).

Con la finalidad de conjuntar los aspectos de utilizar un residuo agroindustrial, así como, el seguir fomentando el cultivo de un producto rico en proteínas en la Región Mixteca, en el presente trabajo se llevó a cabo el aprovechamiento de cáscaras de pitaya como complemento de un sustrato base (paja de trigo) para el crecimiento de *Pleurotus ostreatus* var. blanca.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Utilizar cáscaras de pitaya sin espinas (*Stenocereus* spp.) como complemento de un sustrato (paja de trigo) para el crecimiento de setas (*Pleurotus ostreatus*) a nivel laboratorio.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Determinar la composición proximal de las mezclas de los sustratos probados 3 y 10% de cáscara de pitaya con paja de trigo.

Determinar la composición proximal de las setas cultivadas utilizando como sustrato mezclas de 3 y 10% de cáscara de pitaya con paja de trigo.

Evaluar el efecto de la incorporación de 3% y 10% de cáscara de pitaya al sustrato paja de trigo en el cultivo de la seta a nivel laboratorio, utilizando como parámetros: tiempo de cosecha, eficiencia biológica y cantidad de proteína de la seta obtenida.

Corroborar la calidad sanitaria del proceso de cultivo de la seta en condiciones de laboratorio.

5. METODOLOGÍA

5.1. Materias primas

Micelio activado de *Pleurotus ostreatus* var. blanca

Proveniente de la empresa Mushroom's 2000. El micelio venía activado sobre semilla de sorgo. Se mantuvo en refrigeración a 5°C hasta antes de su uso, con la finalidad de mantener viable su actividad.

Pacas de paja de trigo

Adquiridas con los distribuidores locales de productos del campo en Huajuapán de León. La paja se cortó en fracciones de aproximadamente 5 a 10 cm de largo y se le aplicó un tratamiento térmico que consistió en una inmersión en agua con cal (2.5 g de cal por litro de agua) a una temperatura de 85 a 90°C durante 15 minutos. Posteriormente, se atemperó con agua a temperatura ambiente durante 15 minutos. Finalmente para eliminar el exceso de humedad se escurrió durante 15 minutos.

Cáscaras de pitaya sin espinas

Las cáscaras se obtuvieron después del despulpado manual de la fruta. Posteriormente, se secaron en estufa a 60°C. Las cáscaras deshidratadas se molieron hasta alcanzar un tamaño de partícula de aproximado de 1.7 mm (Anexo 1). Finalmente, las cáscaras molidas se calentaron en autoclave a 121 °C durante 15 minutos y 15 lb de presión.

5.2 Diagrama general de trabajo

El presente trabajo de investigación se dividió en tres etapas principales (figura 8).

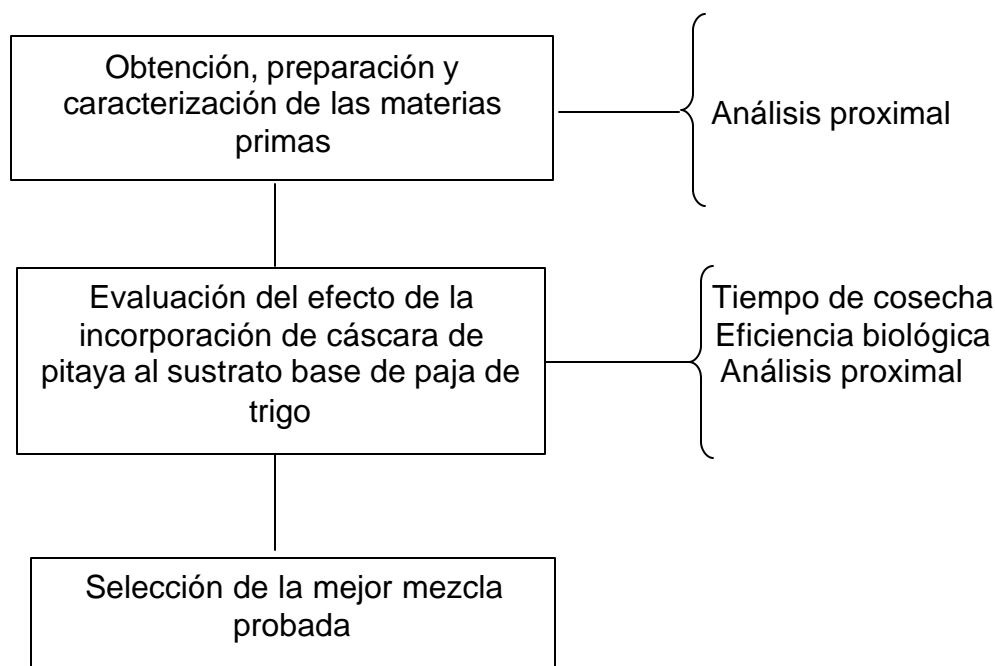


Figura 8. Diagrama general de trabajo

5.2.1 Análisis proximal de los sustratos probados

La etapa de caracterización de los sustratos consistió en realizar el análisis proximal a las mezclas probadas, con base a las siguientes técnicas:

- ? Humedad: Método AOAC por el método de la estufa de aire (OFICIAL METHOD 925.09. SOLIDS TOTAL , 1984).

Proteínas: Método AOAC de Macro-Kjeldahl (OFICIAL METHOD 979.09 PROTEIN IN GRAINS, 1984)

Fibra Cruda: Método AOAC (1984).

Grasas: Método AOAC usando el sistema de Soxhlet (OFICIAL METHOD 963.15 SOXHLET EXTRACTION PRODUCTS, 1984).

Cenizas totales: Método para la determinación de cenizas y componentes inorgánicos AOAC (OFICIAL METHOD 923.03, 1984).

Carbohidratos asimilables: por diferencia de componentes.

5.2.2 Cultivo de setas utilizando como sustrato mezclas de paja con cáscara de pitaya

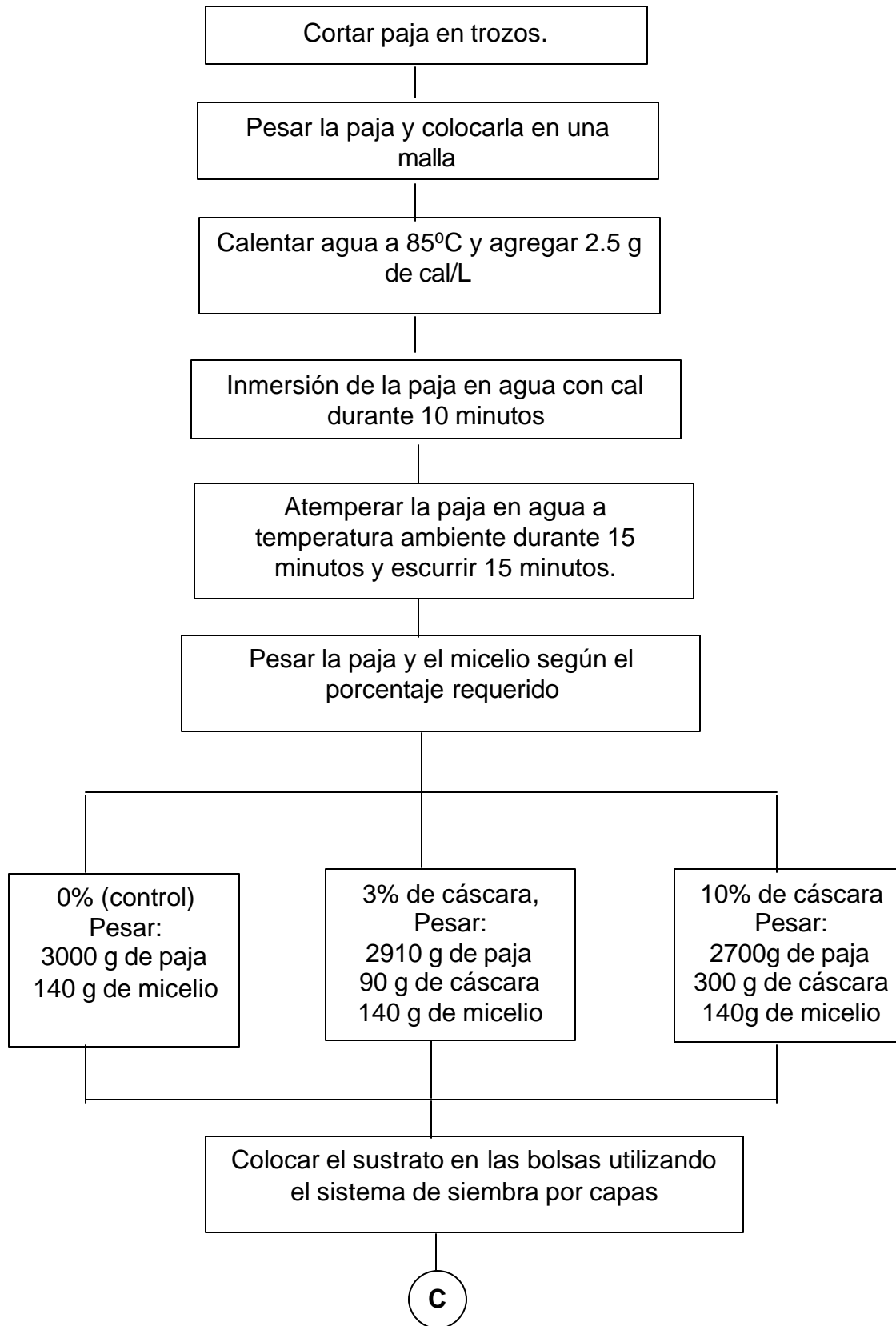
La técnica de cultivo de setas consistió en las siguientes etapas (figura 11):

- 1) Preparación del sustrato: se hicieron mezclas de paja con cáscara de pitaya, para lo cual se probaron dos porcentajes diferentes de cáscara 3 y 10%.
- 2) Siembra del micelio: se llenaron las bolsas de cultivo mediante un sistema de capas, combinando la paja-cáscara-micelio hasta dejar un espacio de cabeza de 10 cm, utilizando un 4.67% de micelio.
- 3) Incubación : las bolsas se colocaron en un cuarto oscuro previamente desinfectado (cloro diluido en agua), durante un tiempo aproximado de 20 días, en donde la temperatura no excedió de los 30 °C.

- 4) Fructificación: una vez concluido el tiempo de incubación, se realizaron cortes con navaja estéril en las bolsas para favorecer la formación y desarrollo de las setas. Durante este período se rociaron con agua potable para mantenerlas húmedas.
- 5) Cosecha: los períodos de cosecha fueron espaciados de tres a cuatro días, sin exceder un intervalo de 20 días. Una vez que la seta alcanzó un tamaño de 5 a 15 centímetros, se cortó cuidadosamente con navajas estériles desde el pie (Gaitán, 2002).

Monitoreo de la temperatura

Durante todo el período de cultivo se monitorearon las temperaturas correspondientes al interior de las bolsas utilizando un termómetro de mercurio.



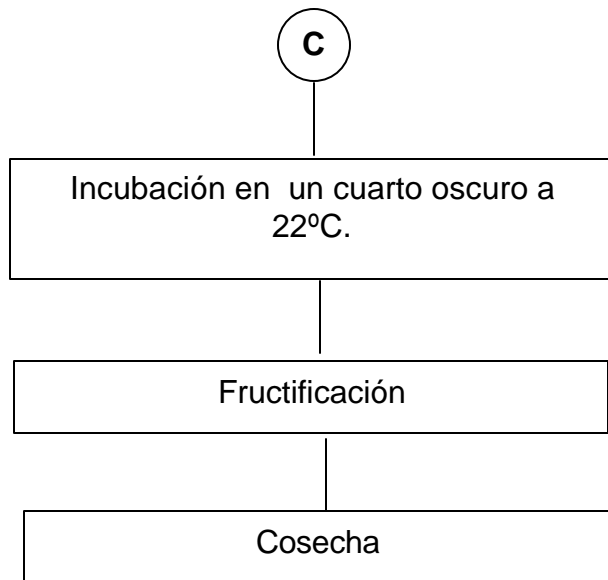


Figura 9. Técnica de cultivo de la seta a nivel laboratorio utilizando mezclas de paja y cáscara de pitaya

5.2.3 Evaluación del efecto de la incorporación de cáscara de pitaya al sustrato base de paja de trigo

Se utilizaron dos porcentajes distintos de cáscara 3 y 10%. Los resultados obtenidos se compararon con bolsas control las cuales fueron cultivadas únicamente con paja de trigo.

Los parámetros que se utilizaron para evaluar el desempeño de las mezclas probadas fueron: a) tiempo de la primera cosecha, b) eficiencia biológica y c) contenido de proteínas de la seta cultivada. Además, para poder caracterizar y explicar el comportamiento de los sustratos, se les realizó un análisis proximal.

Tiempo de la primera cosecha

La seta se cosechó cuando el sombrero alcanzó un diámetro de 5 a 15 cm (Gaitán, 2002).

Eficiencia biológica

La eficiencia biológica se calculó como el porcentaje en peso del hongo entre el peso seco del sustrato (Stamets, 1993).

$$\text{Eficiencia Biológica} = \frac{\text{Peso fresco del hongo cosechado}}{\text{Peso seco del sustrato}} \times 100$$

Contenido de proteína de la seta

El contenido de proteína de la seta se determinó mediante el método AOAC de Macro-Kjeldahl (OFICIAL METHOD 979.09 PROTEIN IN GRAINS, 1984).

5.2.4 Selección de la mejor mezcla probada

Se seleccionó a la mejor mezcla probada con base a los parámetros evaluados anteriormente. A la mejor mezcla obtenida se le realizó un análisis microbiológico utilizando como microorganismos indicadores de contaminación a mesófilos aerobios usando el método de vertido en placa (NOM-092-SSA-1994) y coliformes totales usando el método de cuenta en placa (NOM-113-SSA1-1994).

5.3 Análisis Estadístico.

Los resultados reportados son los promedios de los triplicados de dos réplicas. Para el caso de los resultados del análisis proximal se reportan los promedios de los duplicados de dos réplicas.

El análisis estadístico que se aplicó para evaluar el efecto de la incorporación de la cáscara de pitaya a la paja de trigo fue un análisis de varianza de efectos fijos (ANOVA), con un nivel de significancia de 0.05. Además, se aplicó el método de la mínima diferencia significativa de las medias (LSD), para el caso de las variables que resultaron diferentes significativamente (Montgomery, 1991) (Anexo 2).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE CÁSCARA DE PITAYA AL SUSTRATO BASE DE PAJA DE TRIGO

Para evaluar el efecto de la incorporación de cáscara de pitaya a la paja de trigo se probaron 2 diferentes porcentajes de cáscara 3 y 10%, comparando los resultados obtenidos con bolsas control (únicamente paja). Los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios para cada una de las corridas, ya que no se presentaron contaminaciones y se pudo llegar hasta la etapa de cosecha. Sin embargo, se tuvieron diferencias en cuanto al comportamiento de algunos parámetros como fueron: la eficiencia biológica, el tiempo de cosecha y la cantidad de proteína de la seta cultivada, los cuales se presentan a continuación.

6.1.1 Evaluación de los sustratos probados

Con la finalidad de describir el comportamiento de los resultados obtenidos en el cultivo de las setas se llevó a cabo un análisis proximal de las mezclas probadas: a) paja de trigo sola (control); b) paja de trigo con 3 % de cáscara de pitaya molida y c) paja de trigo con 10 % de cáscara de pitaya molida. En el cuadro 10, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los sustratos probados en cuanto a sus porcentajes de humedad, proteína, fibra, grasas cenizas y carbohidratos.

Cuadro 10. Resultados obtenidos en el análisis proximal de los sustratos en base seca.

Análisis	Cáscara¹	0% paja	3%	10%
Proteína %	6.07	9.47 ±2	8.49 ± 0.32	8.58 ±0.06
Fibra %	10.66	44.99 ±0.92	33.24 ±0.95	33.88 ±0.16
Grasa %	0.64	? 1 %	? 1%	? 1%
Cenizas %	9.68	13.98 ±2.6	13.93 ±1.42	11.67 ± 0.41
Carbohidratos %	72.95	30.56 ± 0.61	43.34 ±1.65	44.87 ±0.34
Humedad %	(80.62)	(30.38) ±0.62	(22.16) ±0.81	(24.05) ±0.50

(1) Fuente: Bravo, 1991.

Con respecto al contenido de fibra bruta el porcentaje disminuyó en los sustratos a los que se les adicionó cáscaras de pitaya con respecto al control. Este comportamiento era el esperado, ya que la cáscara de pitaya, si se compara con la paja contiene menos fibra, por lo que, al realizar una combinación de estas dos materias primas el porcentaje final de fibra de la mezcla se reduce (cuadro 10). De hecho se encontró que existió diferencia significativa en el contenido de fibra entre los tres sustratos probados (figura 10), es decir, la cantidad de fibra presente en el sustrato dependió del porcentaje de cáscara de pitaya que se incorporó a la paja. Además, la fibra es un componente importante para mantener un adecuado soporte y fuente de lignina de la seta, por lo que se recomienda que los enriquecedores que se utilizan no sobrepasen el 40% del peso del sustrato base, para mantener la base sobre la cual brotarán los primodios (Stamets, 1993).

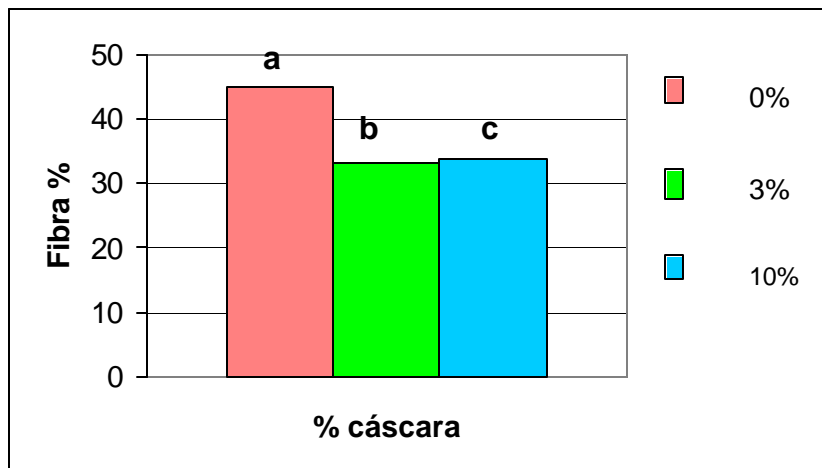


Figura 10. Porcentaje de fibra cruda para las mezclas de sustratos probados

Otro de los componentes que resultó diferente significativamente con respecto al control fue la cantidad de carbohidratos asimilables. Se encontró que el mayor contenido se tuvo en la mezcla que contenía 10% de cáscara de pitaya. Esto era de esperarse ya que la cáscara tiene un alto contenido de carbohidratos (72 %) (Bravo, 1991) en comparación con la paja que alcanza valores de 30% (cuadro 10 y figura 11).

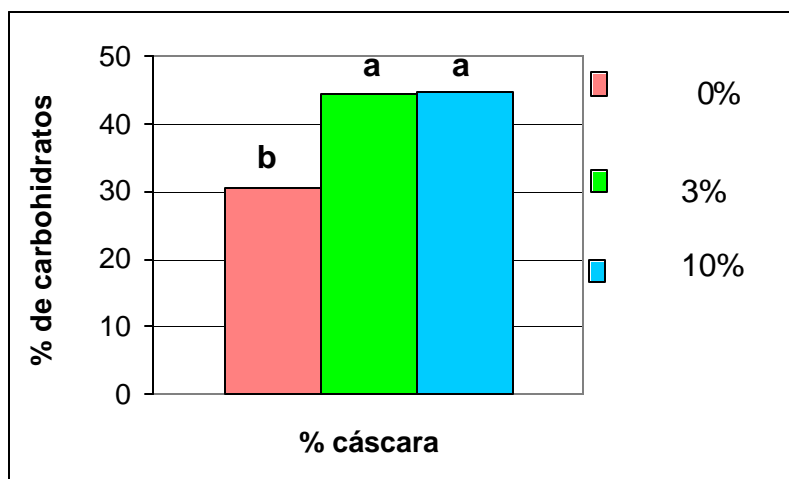


Figura 11. Porcentaje de carbohidratos asimilables de los sustratos probados.

Por otro lado, el contenido de proteína disminuyó en los sustratos a los que se les adicionó cáscara de pitaya pero la diferencia no fue significativa con respecto al control.

6.1.2 Monitoreo de temperatura

La temperatura es uno de los factores ambientales que tienen una fuerte influencia en el cultivo de las setas, por lo que, se debe mantener controlada (sistema de cultivo industrial) o monitoreada (sistema de cultivo tradicional) a lo largo del ciclo de desarrollo del hongo Gaitán (2002). En esta ocasión únicamente se llevó a cabo el registro de las temperaturas de las bolsas en cada uno de los sustratos probados desde el período de incubación hasta la cosecha de la seta, para verificar que no se rebasaran las temperaturas donde muere el micelio.

En la figura 12 se muestra el comportamiento de las temperaturas registradas durante la etapa de incubación para las dos diferentes mezclas de sustratos probadas. En todos los casos, hubo un incremento de temperatura en los primeros tres días de 21°C a 28 °C. Este aumento en la temperatura se debió seguramente a que el micelio estaba en la etapa de mayor actividad biológica, ya que se tienen reportes que cuando el micelio se encuentra en la etapa de adaptación al sustrato, se incrementa la actividad metabólica, liberándose gran cantidad de energía en forma de calor, lo que provoca un incremento en la temperatura de las bolsas de cultivo (Voguel y Salmones, 2000). Gaitán y col (1997) reportaron incrementos de 4°C en la etapa de incubación para el cultivo de *Pleurotus* spp. usando como

sustrato paja de cebada. Después, del incremento las bolsas registraron un valor promedio de temperatura de 24 ± 2 ° C.

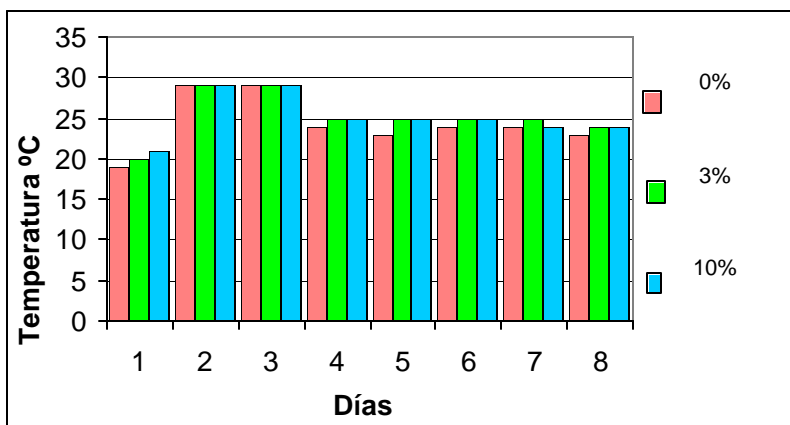


Figura 12. Promedio de temperaturas registradas durante el período de incubación para las mezclas de sustratos probados.

En la figura 13 se muestra el perfil de las temperaturas registradas en la etapa de fructificación alcanzando en promedio un valor de 24 °C . En el caso de las temperaturas registradas durante la etapa de cosecha se mantuvo en promedio un valor alrededor de 23 °C (figura 14).

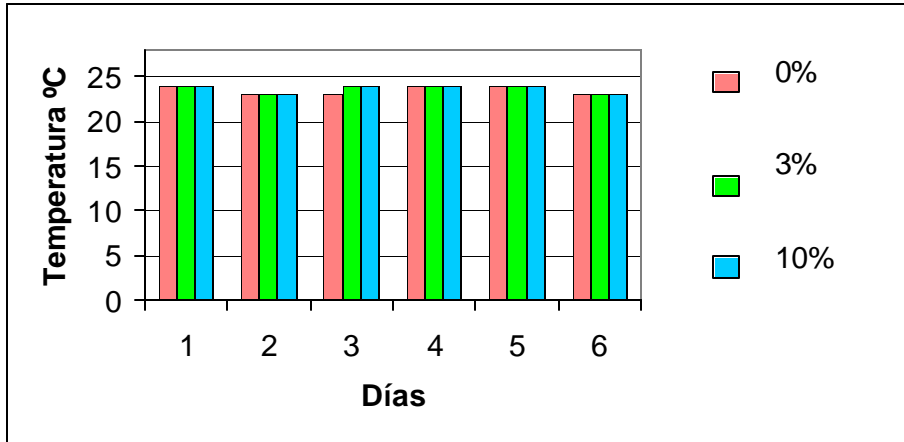


Figura 13. Promedio de temperaturas registradas durante el período de fructificación para las mezclas de sustratos probados

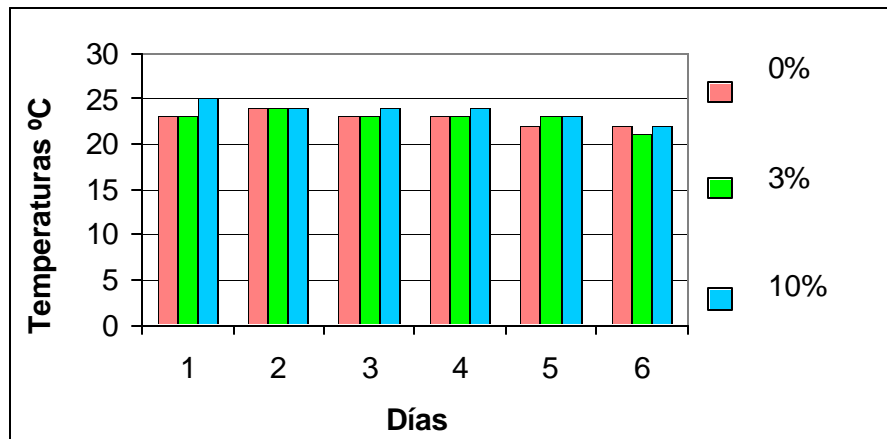


Figura 14. Promedio de temperaturas registradas durante el período de cosecha para las mezclas de sustratos probados

Analizando el comportamiento de las temperaturas registradas para los lotes con 3 %, 10% de cáscara de pitaya y el control, se observó que las bolsas se mantuvieron dentro de los intervalos recomendados para el cultivo de las setas en

sistemas tradicionales, ya que no se sobrepasaron los 35 °C (Gaitán, 2002 ; Martínez, 2002).

6.1.3 Tiempo de cosecha

Uno de los parámetros más importantes para caracterizar el comportamiento de los sustratos probados es el tiempo de la primera cosecha, el cual se fija cuando los cuerpos fructíferos alcanzan un diámetro de 5 a 15 centímetros (Gaitán, 2002).

En la figura 15 se observa el desarrollo del micelio a las 48 horas de siembra en una bolsa cultivada con 3% de cáscara de pitaya. Se puede apreciar cómo la bolsa presentó un importante crecimiento del micelio mostrando una rápida adaptación al sustrato. Para comparar su comportamiento con las bolsas control, en la figura 16 se muestran bolsas cultivadas con 0% (parte posterior) y 3% (parte anterior) de cáscara de pitaya a las 72 horas de incubación. Se puede apreciar que las bolsas con 3% tuvieron una mayor extensión y colonización del micelio con respecto al control. Este rápido desarrollo posiblemente se debió al adecuado balance tanto nutricio como de soporte, que se alcanzó al mezclar 3% de cáscara de pitaya con paja de trigo. Como se mencionó anteriormente, la adición de las cáscaras aumentó significativamente el contenido de carbohidratos, los cuales son fuentes de carbono fácilmente asimilables. Además, se mantuvo un contenido de paja de trigo adecuado, que sirvió como soporte y fuente de lignina indispensables para el desarrollo de *Pleurotus ostreatus*. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Romero y Rosales (1998) ya que las setas pueden utilizar como fuente de carbono tanto polisacáridos complejos como simples.



Figura 15. Bolsa cultivada a las 48 horas de siembra con 3% de cáscara de pitaya



Figura 16 . Bolsas cultivadas con 0% y 3% de cáscaras de pitaya a las 72 horas de incubación

El menor tiempo para obtener la primera cosecha, se alcanzó con la seta cultivada en el sustrato de paja de trigo con 3% de cáscara de pitaya, que fue a los 33 días después de la siembra (figura 17), mientras que con 10% de cáscara de

pitaya se obtuvo a los 40 días y con el control a los 38 días. Al analizar estadísticamente los datos se encontró que los tratamientos con 0% y 10% no son significativamente diferentes, pero el 3% sí es significativamente diferente con respecto a 0% y 10% (Anexo 2) (figura 18). Esto significa que la cantidad de cáscara de pitaya aplicada al sustrato influyó en la rapidez con la que se logró alcanzar la primera cosecha de la seta. Es importante mencionar que para las dos mezclas probadas se obtuvieron tiempos de cosecha adecuados, ya que se ubicaron en el intervalo de tiempo que han encontrado otros autores, Gaitán y col. (1997) alcanzaron la primera cosecha de *Pleurotus ostreatus* en paja de cebada picada a los 40 días, Aldana (2001) a los 45 días en hojarasca de almendro para *Pleurotus pulmonaris*.



Figura 17. Seta cultivada con 3% de cáscara de pitaya en el período de cosecha.

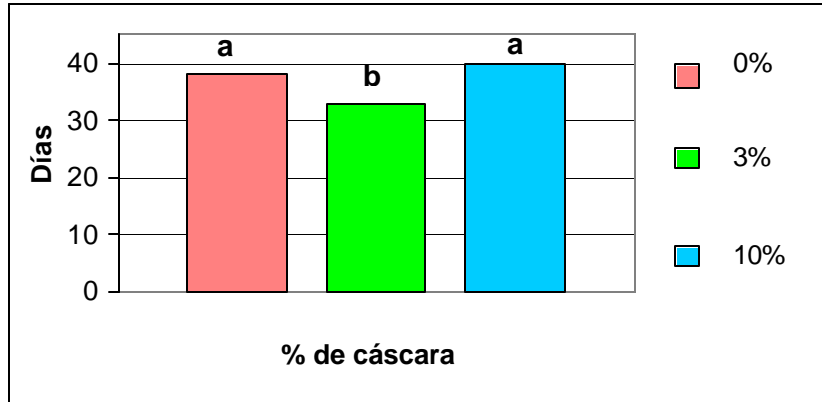


Figura 18 .Día de la primera cosecha para los sustratos probados

6.1.4 Eficiencia biológica

Otro de los parámetros importantes para caracterizar el comportamiento de un sustrato es la eficiencia biológica (Stamets,1993). Como ya se mencionó la eficiencia biológica es una forma de expresar el rendimiento de la cosecha de la seta. La eficiencia biológica más alta se obtuvo con las bolsas que contenían 3% de cáscara de pitaya alcanzando un valor de 45.89%, mientras que las que contenían 10% mostraron una eficiencia biológica inferior de 16.12%, y con el control se obtuvieron valores de 23.78%. Al analizar estadísticamente los resultados se encontró que existieron diferencias significativas entre los datos de eficiencia biológica alcanzada con 3 % de cáscaras, 0% y 10% (figura 19). Por lo tanto, nuevamente se encontró que la incorporación de 3% de cáscaras de pitaya a la paja es una mezcla adecuada para el desarrollo de la seta, ya que además de tener un tiempo de cosecha más corto, se alcanzan eficiencias biológicas significativamente superiores a las otras mezclas probadas en este trabajo. Es importante mencionar

que el valor alcanzado para la mezcla con 3% de cáscara de pitaya es adecuado, ya que se asemeja a los valores reportados para otros sustratos. Escalona (2002) obtuvo una eficiencia biológica de 42.27% al cultivar *Pleurotus ostreatus* usando residuos azucareros. Gaitán y col. (1995 y 1997) obtuvieron una eficiencia de 40.9% al usar hojas de caña de azúcar y del 17% usando paja de cebada picada. Aldana (2001) obtuvo una eficiencia del 42.94% utilizando como sustrato caña de azúcar.

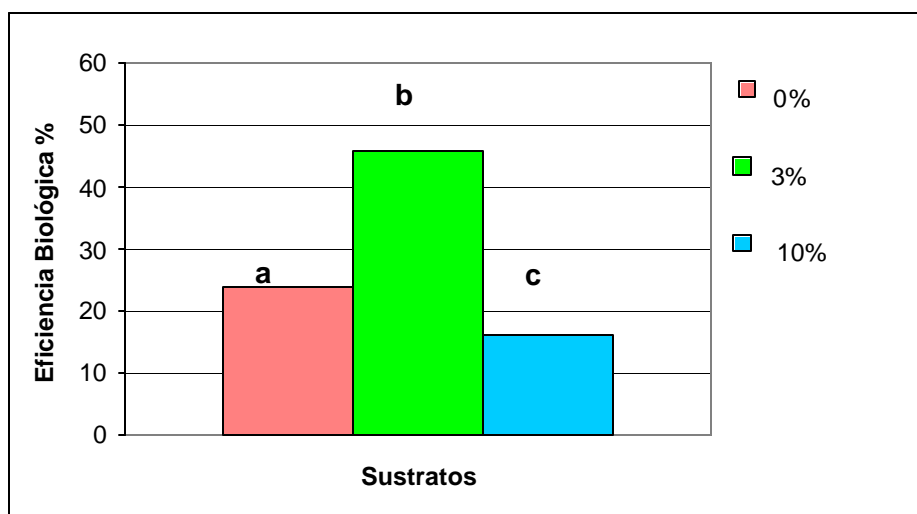


Figura 19. Porcentaje de eficiencias biológicas para los diferentes sustratos probados

6.1.5 Análisis proximal de las setas cultivadas

Otro de los criterios que se emplean para evaluar la calidad de un sustrato es la determinación del contenido de proteína final de la seta cultivada (Bautista, 1999), debido a que las setas se consideran como un producto rico en proteínas de buena calidad para el consumo humano (Aldana, 2001). Por tal motivo, se realizó el análisis proximal de las setas cosechadas en cada una de las mezclas probadas. En el cuadro 11, se muestran los resultados que se obtuvieron para 3% y 10% de cáscara de pitaya y para el control. Al realizar el análisis estadístico en cuanto al contenido de proteínas, se encontró que la incorporación de cáscara de pitaya a la paja de trigo generó un incremento significativo en las setas cultivadas siendo superiores con respecto al control, ya que se alcanzó un valor de 13.25% para 3% de cáscara, 16.04% para 10% de cáscara y el control tuvo un valor de 8.58% (figura 20). Gaitán (2002) obtuvo valores de 11.9% para setas cultivadas en paja de trigo, Escalona (2002) tuvo un valor de 14.7% para setas cultivadas con residuos de azúcar y otros autores han reportado valores desde un 10% hasta un 30% (Regés, 2002; Galicia, 1994; Sánchez y Royse, 1998).

Cuadro 11. Resultados del análisis proximal de las setas base seca.

Análisis	Control	Cáscara 3%	Cáscara 10 %
Proteína %	8.58 ± 0.48	13.25 ± 0.64	16.04 ± 2.1
Fibra %	11.31 ± 3.7	12.51 ± 7.3	8.39 ± 0.001
Grasas %	± 1%	0.917 ± 0.04	0.63 ± 4.X10 ⁻⁴
Cenizas %	8.39 ± 0.09	9.26 ± 0.11	8.33 ± 0.01
Carbohidratos %	70.72 ± 3.5	64.07 ± 7.1	66.61 ± 1.8
Humedad	(84.28) ± 0.05	(81.82) ± 0.75	(82.03) ± 0.41

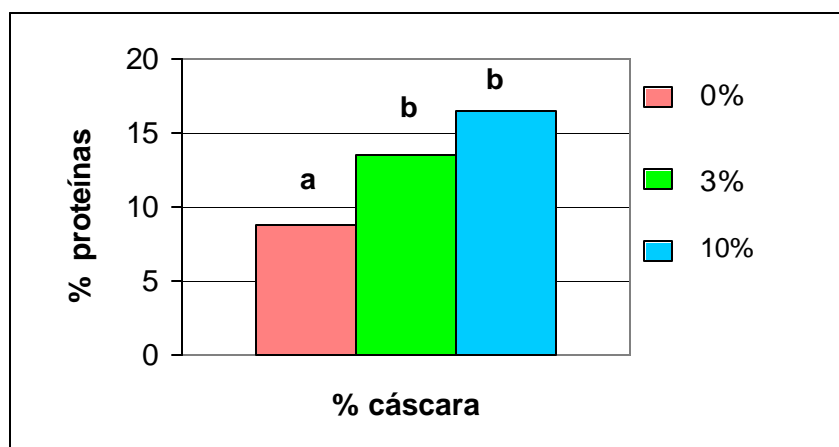


Figura 20. Porcentaje de proteínas de las setas cultivadas en los sustratos probados

6.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR MEZCLA PROBADA

A pesar de que se desconoce cómo es el metabolismo de las setas y la forma en la cual convierten los componentes de los sustratos en energía y componentes estructurales necesarios para su desarrollo, con base a los resultados obtenidos se puede especular que las cáscaras de pitaya posiblemente le dieron a la paja de trigo un balance adecuado de nutrientes y soporte, de tal forma que permitió obtener resultados reportados por otros autores. Como se puede apreciar en el cuadro 12, al incorporar un 3% de cáscara de pitaya a la paja de trigo, se logró la mejor mezcla ya que al final se obtuvo el menor tiempo de la primera cosecha, la mejor eficiencia biológica y un contenido de proteína de la seta aceptable.

Cuadro 12. Parámetros evaluados al sustrato usando 3 % de cáscara de pitaya.

Parámetro evaluado	Control	Cáscara 3%	Cáscara 10%
Tiempo de la primera cosecha (días)	38	33	40
% Eficiencia biológica	23.78	45.89	16.12
% Proteínas	8.58 ? 0.48	13.25 ? 0.64	16.04 ? 2.1

Con la finalidad de evaluar si efectivamente se trabajó en condiciones sanitarias, así como, de corroborar la calidad microbiológica del producto, se cuantificaron a dos grupos indicadores de contaminación: mesófilos aerobios y coliformes totales. Como se muestra en el cuadro 13 no hubo presencia de coliformes totales y la cuenta de mesófilos aerobios fue baja, ya que de mesófilos

aerobios se tuvieron cantidades inferiores a 1×10^6 ufc/g. Estos resultados reflejan que se trabajó en buenas condiciones de higiene desde la incubación hasta la cosecha, permitiendo un adecuado desarrollo del hongo y por ende una calidad sanitaria de la seta que posiblemente no implica un riesgo a la salud.

Cuadro 13. Resultados del análisis microbiológico realizado a la seta fresca cultivada con 3% de cáscara de pitaya, después de 48 horas de incubación.

Análisis	Seta con 3% de cáscara
Mesófilos aerobios	2.7×10^4 ufc/g
Coliformes totales	No desarrolló coliformes/mL

CONCLUSIONES

Se utilizaron las cáscaras de pitaya sin espinas (*Stenocereus* spp.) como complemento de un sustrato (paja de trigo) para el crecimiento de setas (*Pleurotus ostreatus* var. blanca) a nivel laboratorio.

Se redujo significativamente el contenido de fibra del sustrato base (paja de trigo) al incorporarle un 3 y 10 % de cáscara de pitaya

Se incrementó significativamente el contenido de carbohidratos asimilables en los sustratos probados, pasando de 30.56 (paja de trigo) a valores de 43.34% y 44.87% (3 y 10 % de cáscara respectivamente).

La adición de un 3% de cáscara de pitaya a la paja de trigo actuó como enriquecedor del sustrato base (paja de trigo), obteniéndose tiempos de cosecha significativamente más cortos (alrededor de 33 días con respecto al control), una mayor eficiencia biológica (45.89%) y una calidad proteica aceptable de la seta fresca (13%).

Se corroboró la calidad sanitaria de la seta cultivada, en este estudio con la mejor mezcla probada de paja con cáscara de pitaya, obteniéndose un producto aceptable desde el punto de vista microbiológico.

PERSPECTIVAS

- * Optimizar los parámetros de cultivo de *Pleurotus ostreatus* var. blanca como son: relación de porcentajes de paja–cáscara de pitaya–micelio, temperatura, tiempo, humedad, aireación y cantidad de luz .
- * Establecer los estándares de calidad sanitaria para una norma mexicana de setas frescas (*Pleurotus ostreatus*), para corroborar su manejo en forma higiénica.

BIBLIOGRAFÍA

Aldana P.G.J. 2001. Cultivo del hongo comestible *Pleurotus pulmonaris* sobre hojarasca de almendro (*Terminalia catappa*), en Q.Roo. Instituto Tecnológico de Chetumal. México. URL: <http://www.cdeea.com/gonzalo.htm>

Bautista, J.M.; Alanís, G.G.M.; González, M.E.; García, D.C.L.; Martínez, G y Barboza, C.E. 1999. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. México. Vol.49:81-85.

Bravo, H. y Sánchez, M.H. 1991. Las cactáceas de México. Vol. III. UNAM. México. p. 510 – 512.

Breene, W.M. 1990. Nutricional and medicinal value of speciality mushrooms. *J.Food Protec.* 53(10): 883-894.

Chang, S.T. y Miles, P.G. 1987. Historical record of the early cultivation to *Lentinus* in China. *Mush. J. Tropics.* 7: 31-37.

Escalona, C, L; Ponce, P.I.; Estrada, M.A.; Solano, S. S.; Mojena, R. A. R.; Ricardo, S.O. y Cutiño M. 2002. Inoculación de una mezcla de residuales azucareros con una cepa de *Pleurotus ostreatus* . Instituto de Ecología. Xalapa. Veracruz. México. p.15-18.

Fernández, M.F. 2000. Manual práctico de cultivo de setas. CIATEJ . Jalisco, México pp.60.

Gaitán, H. R. 2002. Manual práctico de setas. Aislamiento Siembra y Producción. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz. México. pp.56.

Gaitán H, R; Mata, G. 1995. Cultivo de *Pleurotus* en hojas de caña de azúcar. *Revista Mexicana de Micología.* 11:17-22.

Gaitán, H, R.; Salmones, D.; Pérez, R. Y Gastón G. .1997. Estudios sobre el género *Pleurotus*. VII. Interacción entre el crecimiento micelial y productividad. *Revista Iberoamericana de micología.*14:173-176.

Galicia, R.E. 1994. Sistematización del cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Tesis de Posgrado. Proyecto de Estudios Sociales, Tecnológicos y Científicos, IPN. México.

García, J. .2002. Estructura del pleuroma de *Pleurotus*. México. URL: <http://www.uv.mx/institutos/forest/hongos/estruc.html>

García, R, M. 1978. Plagas y enfermedades del champiñón y de las setas. Ministerio de Agricultura. Madrid, España.

García, R, M. 1982. Cultivo industrial de *Pleurotus ostreatus*. Hojas Divulgadoras Núm 11/82 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. p.16.

García, R, M. 1985. Nuevas técnicas de cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Hojas Divulgadoras Núm 8/85 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.

García, R, M. 1991. Cultivo de setas y trufas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 174 .

Garnweidner , E. 1995. Setas. Ed. Everest. España. p.160.

González, C.I. 2002. Elaboración de conservas a base de pitaya. XXXIII Congreso nacional de Ciencia y tecnología de Alimentos. Uruapan, Michoacán. México.

Guzmán, G., Mata, G., Salmenes, D., Soto, C. y Guzmán, L. 1993. El cultivo de los hongos comestibles. Primera edición. Edit. IPN. México, D.F. p. 150.

Jay, M.J. 2000. Microbiología moderna de los alimentos. Edit: Acribia. Zaragoza, España. p. 491.

López, A. 1986. Manual para la producción de micelio de hongos comestibles para cultivo. Universidad Veracruzana, Xalapa. México.

Maroto, J.V. 1995. Horticultura herbácea especial. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Martínez, S.H. 2002. Producción de Hongos comestibles seta (*Pleurotus* spp.). Sistema Nacional de capacitación y Extensión Integral. Región Mixteca. Oaxaca, México.

Montgomery., D.C. 1998. Diseño y análisis de experimentos. Edit. Iberoamericana. México. p. 586 .

Orensanz, J.V. y Navarro, C. 1979. Cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre madera. Hojas Divulgadoras Núm 3/79 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Palacios, H.G. 2003. La fermentación como alternativa para producir hongos comestibles. Gaceta Regional. Oaxaca, México. 23: 7- 8.

Rajarithnam, S. y Bano, Z. 1987. *Pleurotus* mushrooms breeding, and cultivation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 26(2): 157-223.

Regés, R. 2002. El Cultivo de Hongos y la Ecología. Centro de Estudios Ecológicos Argentinos. URL: <http://www.cdeea.com/loshongosylaecologia.htm>

Rodríguez-Abitia, J. 2002. Algunos de los errores más comunes que cometen los cultivadores de setas *Pleurotus* . México. URL: <http://setascultivadas.com/boletinarticulodiciembre.html>

Romero, B. L. y Rosales, G.M. 1998. Manual práctico para el cultivo de setas (*Pleurotus* spp). Edit: Universidad Autónoma de Hidalgo y Macrofungi de México. Pachuca, Hidalgo. México. p. 41.

Sánchez, V.J.E. 1993. Producción de hongos comestibles. Edit: Centro de Investigaciones ecológicas del sureste. Chiapas, México. p. 90.

Sánchez, V.J.E. y Royse, D.J. 1998. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Edit. Noriega. México, D.F. p. 400.

Soto, V.C. 2003. Cultivo de las setas *Pleurotus* spp. Edit: Botánica y Zoología de la Universidad Autónoma de Guadalajara, Jalisco, México.

Stamets, P. 1993. Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms. Edit. Ten Speed Press. Hong Kong. pp.551.

Valencia del Toro, G.M.E. 2002 Setas comestibles (*Pleurotus* spp.). Aspectos generales de su cultivo. Guía Guyunusa. Análisis de Alimentos Departamento de Alimentos y Biotecnología División Ingeniería UNAM.

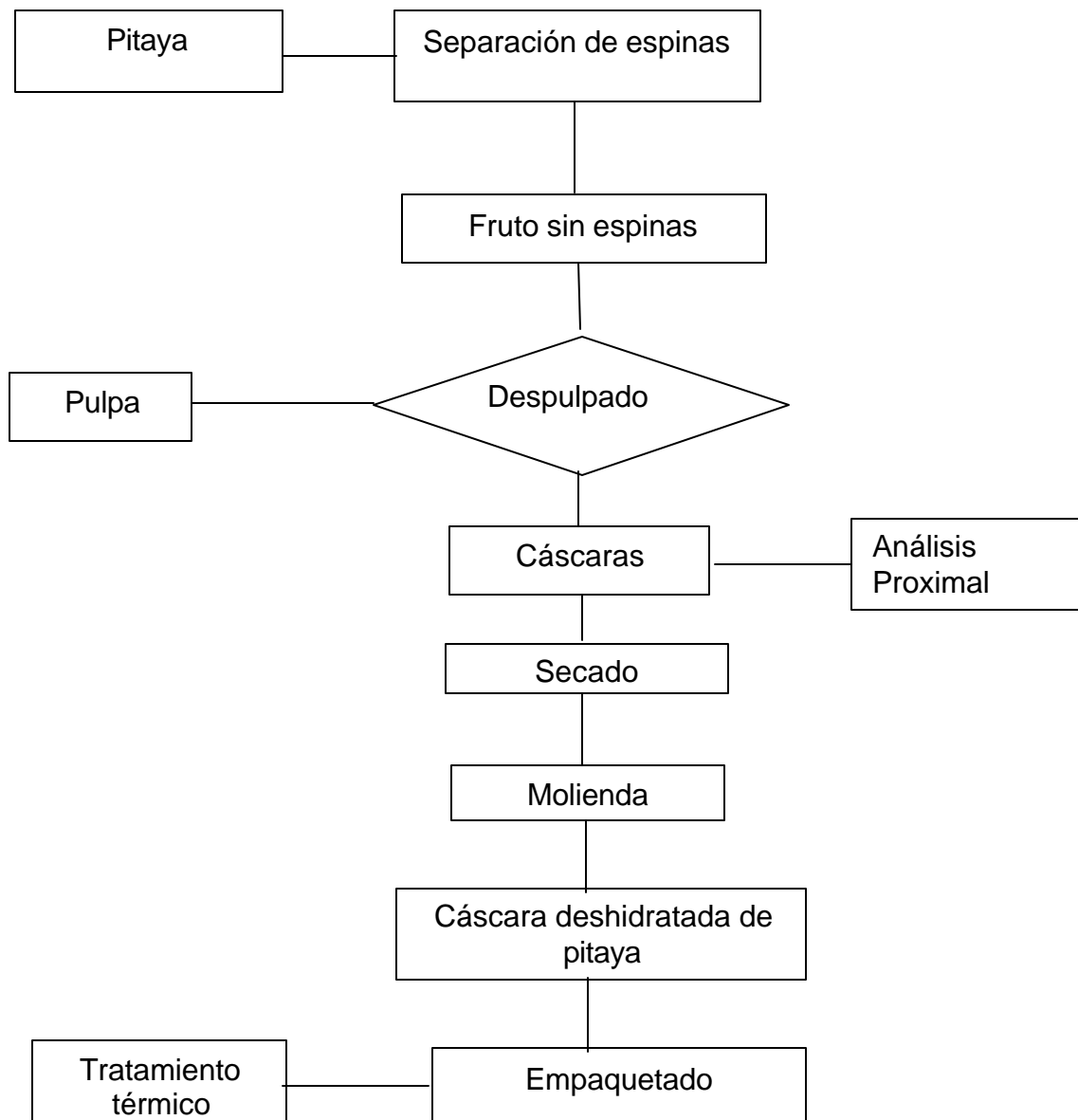
Voguel, F. y Salmenes, D. 2000. Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus* spp. cultivadas en una planta comercial. *Revista Iberoamericana de micología*. Vol.17:138-141.

ANEXOS

ANEXO 1

Obtención de la cáscara de pitaya

La obtención de la cáscara de pitaya se realizó de la siguiente forma:



ANEXO 2

Análisis estadístico realizado al contenido de fibra de los sustratos probados (0%, 3% y 10%)

Anova

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	174.99	2	87.49	1458.16	9.55
Error	0.2	3	0.06		
Total	175.19	5			

Análisis estadístico realizado al contenido de carbohidratos asimilables de los sustratos probados (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	263.55	2	131.77	292.8	9.55
Error	1.37	3	0.45		
Total	264.92	5			

Análisis estadístico realizado al contenido de proteína de los sustratos probados (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	1.14	2	0.57	0.41	9.55
Error	4.12	3	1.37		
Total	5.26	5			

Análisis estadístico realizado a las temperaturas del período de incubación de los sustratos probados (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	6	9	0.66	0.06	2.49
Error	184.67	17	10.86		
Total	16725.33	26			

Análisis estadístico realizado a las temperaturas del período de fructificación de los sustratos probados (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	0.113	6	0.0188	0.047	3.09
Error	4.16	11	0.378		
Total	4.28	17			

Análisis estadístico realizado a las temperaturas del período de cosecha de los sustratos probados (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	3	6	0.5	0.43	3.09
Error	12.78	11	1.16		
Total	15.78	17			

Análisis estadístico realizado a los datos de tiempo de cosecha para las mezclas de sustrato (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	88.66	3	29.55	11.10	5.41
Error	13.34	5	2.66		
Total	102	8			

Análisis estadístico realizado a los datos de Eficiencia Biológica para las mezclas de sustrato (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	124690.96	2	62345.48	25.62	9.55
Error	7299.11	3	2433.03		
Total	131909.07	5			

Análisis estadístico realizado al contenido de proteínas de la seta cultivada con las mezcla de sustratos (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	53.66	2	26.83	18.12	9.55
Error	4.44	3	1.48		
Total	58.1	5			

Análisis estadístico realizado al contenido de fibra cruda de la seta cultivada con las mezcla de sustratos (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	16.43	2	8.215	0.35	9.55
Error	68.91	3	22.97		
Total	85.34	5			

Análisis estadístico realizado al contenido de carbohidratos asimilables de la seta cultivada con las mezclas de sustratos (0%, 3% y 10%)

Anova:

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	F _{exp}	F _{tab? 0.05}
% de cáscara	48.04	2	24.02	1.08	9.55
Error	66.58	3	22.19		
Total	114.62	5			