



**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

POSGRADO EN CIENCIAS APLICADAS

**Aprovechamiento del Bagazo del Maguey Verde (Agave
Salmiana) de la Agroindustria del Mezcal en San Luis Potosí
para la Producción de Hongo Ostra (Pleurotus ostreatus)**

Tesis que presenta

Armando Baena González

Para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Aplicadas

En la opción de

Ciencias Ambientales

Codirectores de la Tesis:

Dr. Ángel Gabriel Alpuche Solís

Dr. José Luis Flores Flores

San Luis Potosí, S.L.P., Septiembre de 2005.



IPICYT

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

Acta de Examen de Grado

COPIA CERTIFICADA

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 004 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Ciencias Aplicadas en la opción de Ciencias Ambientales está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 5 días del mes de septiembre del año 2005, se reunió a las 18:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

Dr. José Luis Flores Flores	Presidente	IPICYT
Dr. Ángel Gabriel Alpuche Solís	Secretario	IPICYT
Dr. Felipe Alatríste Mondragón	Sinodal	IPICYT
Dr. Juan Francisco Jiménez Bremont	Sinodal	IPICYT

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS APLICADAS
EN LA OPCIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES**

sustentó el C.

Armando Baena González

sobre la Tesis intitulada:

Aprovechamiento del Bagazo de Maguey Verde (Agave salmiana) de la Agroindustria del Mezcal en San Luis Potosí Para la Producción de Hongo Ostra (Pleurotus ostreatus)

que se desarrolló bajo la dirección de

Dr. Ángel Gabriel Alpuche Solís
Dr. José Luis Flores Flores

El Jurado, después de deliberar, determinó

APROBARLO

Dándose por terminado el acto a las 20:55 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fé el Secretario Académico del Instituto.

A petición del interesado y para los fines que al mismo convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 5 días del mes septiembre de 2005.

Marcial Bonilla
Dr. Marcial Bonilla Mar
Secretario Académico



Elisa Lucio Aguilar
Mtra. Ma. Elisa Lucio Aguilar
Jefa del Departamento de Asuntos Escolares

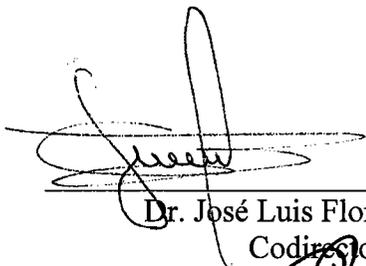
San Luis Potosí, S.L.P. a 2 de Septiembre de 2005

Dr. José Luis Flores Flores
Coordinador de la Opción en Ciencias Ambientales
del Postgrado en Ciencias Aplicadas, IPICYT
PRESENTE

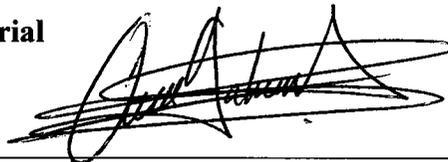
Por este conducto, los que suscribimos, informamos que hemos revisado el trabajo de investigación que el estudiante **Biol. Armando Baena González** ha elaborado como requisito para la obtención del grado de Maestro en Ciencias con Opción en Ciencia Ambientales. Nuestra opinión es que esta tesis, "Aprovechamiento del bagazo de maguey verde (*Agave salmiana*) de la agroindustria del mezcal en San Luis Potosí para la producción de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*)", tiene los requisitos necesarios para que se pueda llevar a cabo su defensa ante el Jurado Examinador.

Atentamente,

Comité Tutorial



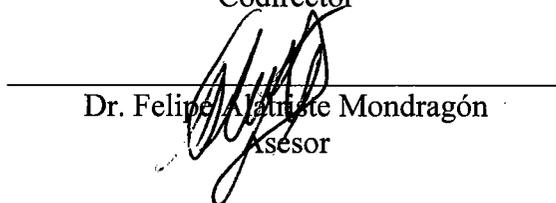
Dr. José Luis Flores Flores
Codirector



Dr. Angel Gabriel Alpuche Solís
Codirector



Dr. Juan Francisco Jiménez Bremont
Asesor



Dr. Felipe Alariste Mondragón
Asesor

Esta tesis fue elaborada en la División de Ingeniería Ambiental y Manejo de Recursos Naturales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección del Dr. Dr. José Luis Flores Flores, y la Codirección de Dr. Ángel Gabriel Alpuche Solís.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. No. 182523.

El posgrado en Ciencias con especialización en Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica se encuentra inscrito dentro del Programa Institucional de Fomento al Posgrado del CONACYT con el número de registro_____

Dedico esta tesis:

A Dios por el cual clamo ABBA padre.

A mis padres Cayetano y Amalia.

A mis hermanos Víctor, Marcelino, Esther, Eliseo y Moisés.

A Karina Porras M.

A la familia Porras Martínez.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Luis Flores Flores por el apoyo a la realización de esta tesis, por sus consejos y amistad.

Al Dr. Ángel Gabriel Alpuche por el tiempo dedicado a esta tesis.

A los doctores Felipe Alatraste y Juan Francisco Jiménez por las correcciones a esta tesis.

A la Dra. Rosalba Mora del IPN, por el apoyo para realizar los análisis bromatológicos.

A mis amigos Felipe, Rafael, Gabriel, Leonardo y Lulú por su amistad y por las grandes personas que son.

A Julio Bahena por su amistad.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.

A la Fundación PRODUCE SLP por el financiamiento para la realización de este proyecto.

A CONACYT por la beca otorgada.

ÍNDICE GENERAL.	vi
ÍNDICE DE CUADROS.	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.	x
I.- INTRODUCCIÓN.	1
1.- Importancia del género <i>Agave</i> .	5
2.- Producción de mezcal en México.	8
3.- Importancia del género <i>Pleurotus sp.</i>	16
II.- ANTECEDENTES.	20
1.- Cultivo del hongo <i>Pleurotus</i> .	20
2.- Composición química y clasificación de la pared celular.	21
3.- Fermentación en estado sólido.	24
4.- Enzimas que participan en la degradación de los compuestos lignocelulósicos.	26
5.- Requerimientos para el crecimiento y desarrollo del hongo.	26
III.- JUSTIFICACIÓN.	28
IV.- OBJETIVOS.	29
1.- Objetivo general.	29
2.- Objetivos particulares.	29
V.- HIPÓTESIS.	29
VI.- MATERIAL Y MÉTODO.	30
1.- Bagazo.	30
1.1.- Origen.	30
1.2.- Contenido de materiales lignocelulósicos.	30
1.3.- Preparación del bagazo.	31
2.- Preparación del inóculo.	32
3.- Inoculación del bagazo.	32
4.- Diseño de tratamientos.	33
5.- Diseño experimental.	34
6.- Aplicación de los tratamientos.	34
7.- Análisis bromatológicos.	37
7.1.- Proteína.	37
7.2.- Lípidos.	37
7.3.- Fibra.	37
7.4.- Cenizas.	37
7.5.- Carbohidratos.	37

7.6.- Humedad.	37
7.7.- Digestibilidad.	38
8.- Caracterización del área de estudio.	38
8.1.- Geología.	38
8.2.- Clima.	38
8.3.- Suelos.	38
8.4.- Vegetación.	39
VII.- RESULTADOS.	40
1.- Componentes no digeribles.	40
1.1.- Características del bagazo de maguey verde.	40
1.2.- Composición de la paja de trigo.	41
2.- Eficiencia Biológica.	41
2.1.- El análisis descriptivo.	41
2.2.- Análisis de varianza de la EB.	43
3.- Análisis Proximal.	46
3.1.- Proteína.	46
3.2.- Grasa.	47
3.3.- Ceniza.	47
3.4.- Fibra dietaria.	48
3.5.- Carbohidratos.	49
3.6.- Digestibilidad <i>in vitro</i> .	50
4.- Análisis multivariable de los parámetros proximales evaluados.	51
4.1.- Integración de la información de análisis proximal.	51
5.- Efecto de la actividad del hongo sobre los tratamientos del bagazo.	55
5.1.- Análisis de varianza de FDN.	56
5.2.- Análisis de varianza de Celulosa.	57
5.3.- Análisis de varianza de Lignina.	59
VIII.- DISCUSIÓN.	62
IX.- CONCLUSIONES.	73
X.- PERSPECTIVAS.	75
XI.- BIBLIOGRAFÍA.	77
XII.- ANEXOS	86
Anexo 1 Inoculación de semilla.	86
Anexo 2 Determinación de proteína total (método Kjeldahl).	88

Anexo 3 Determinación de extracto etéreo (método de Soxhlet).	91
Anexo 4 Determinación de fibra dietaria total (método Proxy).	92
Anexo 5 Determinación de cenizas.	95
Anexo 6 Determinación de humedad.	97
Anexo 7 Determinación de digestibilidad <i>in vitro</i> (método Hsu).	97
Anexo 8 Análisis de costo beneficio en el cultivo y producción de <i>P. ostreatus</i>.	98
Anexo 9 Relación lignina-celulosa y Eficiencia biológica.	101

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Taxonomía del hongo <i>Pleurotus sp.</i>	18
Cuadro 2. Rendimiento del hongo ostra.	24
Cuadro 3. Tratamientos utilizados para producción de <i>Pleurotus</i> en bagazo de maguey.	34
Cuadro 4. Contenidos porcentuales promedio y errores estándar de fibra detergente neutra (FDN), celulosa y lignina en dos componentes del bagazo del maguey mezcalero (base de las hojas y qurote) y el promedio de ambas.	40
Cuadro 5. Valores medios y extremos de eficiencia biológica (%) de hongo ostra en tratamientos de acondicionamiento en bagazo de maguey verde.	43
Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza de los datos de EB del hongo ostra para los factores bloque (BLQ) y tratamientos (TRAT) al bagazo de maguey verde.	44
Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza de los datos de EB del hongo ostra para el factor tratamientos (TRAT) al bagazo de maguey verde.	45
Cuadro 8. Valores de las correlaciones de Pearson y su significancia estadística (p) entre las variables del análisis proximal y la EB del hongo ostra obtenida en este trabajo.	52
Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza de los datos de FDN de la producción del hongo ostra para el bagazo posterior al tratamiento con <i>Pleurotus</i> .	56
Cuadro 10. Análisis de varianza de una vía basada en rangos (Kruskal – Wallis) para contenido de celulosa en el bagazo de maguey verde posterior a los tratamientos (sustrato remanente).	58
Cuadro 11. Análisis de varianza de una vía basada en rangos (Kruskal – Wallis) para contenido de lignina en el bagazo de maguey verde posterior a los tratamientos con el hongo.	60

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Mayahuel diosa del Maguey.	5
Figura 2. <i>Agave salmiana</i> ubicado en las ruinas del pueblo de Cerro de San Pedro, SLP.	6
Figura 3. Utilización actual del maguey verde como cercas vivas y la importancia en el ecosistema.	8
Figura 4. Ubicación geográfica de diferentes especies de <i>Agaves</i> productores de mezcal.	11
Figura 5. Estados productores de mezcal y regiones productoras en el estado de Oaxaca productor principal.	12
Figura 6. Importancia biótica del maguey mezcalero en San Luis Potosí.	14
Figura 7. Representación de las operaciones unitarias, los subproductos y producto final obtenidos en la producción de mezcal.	15
Figura 8. Componentes de la pared celular.	20
Figura 9. Ciclo de vida del <i>Pleurotus</i> .	25
Figura 10. Bagazo amontonado en el patio trasero de la mezcalera de Ipiña, Ahualulco, SLP.	30
Figura 11. Cepa de <i>Pleurotus ostreatus</i> sembrada en agar EMA con 10-12 días de incubación.	32
Figura 12. Bolsa de sustrato a 10 días de incubación en la fase oscura.	33
Figura 13. Cuerpos fructíferos obsérvese las orejas las cuales están enrolladas hacia abajo, punto de corte.	36
Figura 14. Determinación de proteína por el método del Micro-Kjeldahl.	38
Figura 15. Gráfico de cajas y líneas que presenta el resumen esquemático de los datos de EB por tratamiento.	42
Figura 16. Gráfico de comparación de medias de eficiencia biológica por tratamiento del bagazo de maguey verde.	45
Figura 17. Comparación de proteína de los cuerpos fructíferos del hongo ostra asociados a los ocho tratamientos.	46
Figura 18. Porcentaje de grasa en el hongo ostra.	47
Figura 19. Contenido de cenizas en los cuerpo fructíferos. Se observa el menor contenido en los tratamientos con sulfato de amonio.	48
Figura 20. Contenido de fibra en el hongo ostra donde.	48

Figura 21. Contenido de carbohidratos en el hongo ostra asociado a los tratamientos.	49
Figura 22. Porcentaje de digestibilidad <i>in vitro</i> del hongo ostra donde no se observa el efecto de tratamiento y el control.	50
Figura 23. Proyección de las calificaciones en los dos primeros componentes de las variables del análisis proximal del cuerpo fructífero del hongo ostra y la eficiencia biológica de los tratamientos.	53
Figura 24 Gráfico de calificaciones de los tratamientos proyectados sobre los dos primeros componentes principales.	54
Figura 25. Grafico de contenido promedio de FDN del bagazo residual al cultivo del hongo en los tratamientos.	57
Figura 26. Contenidos de celulosa residual del bagazo después de tratado con el hongo.	59
Figura 27. Contenidos de lignina residual del bagazo después de tratado con el hongo.	60

Resumen

El uso de los recursos naturales debe hacerse dentro de un apego a la persistencia del recurso y la minimización de impactos al medio, buscando garantizar la conservación del capital natural. El caso del uso del maguey verde (*Agave salmiana*) en la industria del mezcal en San Luis Potosí, a pesar de tener un largo historial de al menos 300 años, tiene aún problemas que es necesario estudiar. Es el caso de la generación de los desperdicios sólidos y líquidos. El bagazo es un subproducto sólido que tiene composición química que lo hace muy resistente a la acción de los microorganismos y que se acumula gradualmente en las cercanías de las mezcaleras. Este es el hecho que permitió anticipar que uno de los posibles organismos que se pudieran utilizar para descomponer, con algún beneficio directo son los hongos comestibles. Los del género *Pleurotus* (hongo ostra) en particular han mostrado adaptabilidad a estos sustratos y tienen un buen nicho en el mercado de alimentos en las dietas humanas actuales. Aunque se han realizado evaluaciones en diversos sustratos para valorarlos en el crecimiento y rendimiento del hongo ostra, no hay trabajos para el bagazo de maguey verde. La posibilidad de su cultivo en este subproducto, permitiría la producción comercial, e inducir su consumo en los habitantes del medio rural, como una alternativa valiosa de alimentación por sus estándares nutrimentales. El presente estudio propuso la degradación del bagazo por medio del cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Se probaron tratamientos de acondicionamiento del sustrato, en particular la adición de nitrógeno de fuentes orgánicas e inorgánicas, valorando su efecto en la eficiencia biológica del hongo y en su calidad nutritiva. Se evaluó la composición química del bagazo para contrastarlo con las del sustrato remanente, después del ciclo de cultivo del hongo. Los resultados previos indicaron que el bagazo podría tener la composición química para que el hongo creciera sin problema. Su contenido de celulosa (promedio y error estándar) fue de 37.27% (± 2.31) y el de lignina de 8.15% (± 0.64); la fibra detergente neutra (FDN), que indica la composición de la pared celular, fue de 45.45% (± 2.94). Los tratamientos tuvieron un efecto significativo ($p = 0.05$) en la eficiencia biológica. Para el bagazo sin aditamento fue de 90%. Sin embargo, al suplementar con 0.34% de sulfato de amonio, se tuvo el valor máximo (126.31%). Para las variables de calidad nutricional también se observaron diferencias entre tratamientos, sin que se pudieran hacer comparaciones estadísticas. Los cuerpos fructíferos del hongo en este estudio tuvieron buenas características alimenticias. Las proteínas estuvieron en el intervalo de 19.4-29.4%; el tratamiento que tuvo valores más altos fue el de bagazo+30% de desperdicios de brócoli y el más bajo en el de bagazo sin aditivo nitrogenado. La digestibilidad de éstas fue similar entre los tratamientos (74.2% en promedio). Los carbohidratos presentaron relación inversa a las proteínas; el tratamiento con valores altos en carbohidratos fue el de bagazo solo (52.8%) y los bajos (41.9%) en el de bagazo con 30% de brócoli. Los análisis de composición del sustrato remanente indican que hay una degradación considerable del bagazo, principalmente con la adición de nitrógeno inorgánico. Estos resultados indican que la producción de hongo ostra a partir del bagazo es una alternativa sustentable en términos ecológicos y sociales; hay indicios de que también comercialmente es posible.

Palabras clave: Maguey verde, *Agave salmiana*, hongo ostra, *Pleurotus ostreatus*, subproductos, bagazo, industria mezcalera, San Luis Potosí, México.

Abstract

Natural resource use must be within limits minimizing environmental impacts, at the time that natural capital is conserved. The mescal industry in San Luis Potosi State, Mexico, has a long history dated to about 300 years after now. Natural populations of the *Agave* genus, “maguey verde” (*Agave salmiana*) are used in a harvest – cooking – milling – fermentation – distillation cycle to obtain an alcoholic beverage named “mezcal”. However some environmental problems arise related to solid and liquid wastes or byproducts that need to be solved. Particularly, bagasse is the solid waste in this industry that gradually accumulates near the mezcaleras. This waste accumulation is related to its chemical composition that retards the action of detritivorous organisms in this environment. This fact permits to anticipate that certain fungi species could acts upon the lignocellulosic compounds of bagasse to produce valuable food, within an ecological and socioeconomic focus. Oyster mushroom (OM) of the genus *Pleurotus* is a natural candidate given its capability to use the cell wall components of many residues and its good food traits for the modern human diets. Many studies have proven the feasibility of mushroom production in many agricultural and industrial byproducts. However the bagasses of maguey verde have not been evaluated as substrate for mushroom production. This possibility of bagasse use would permit the commercial production of OM and to culturalize the rural inhabitants in mushroom use as a valuable food source. This study searches for a technique of best degradation of bagasse by OM. Substrate treatment include the addition of organic (broccoli, B) and inorganic nitrogen (ammonium sulfate, AS) sources at three levels. Response variables included biological efficiency (BE) and nutritional value of OM fruiting bodies. In the remnant substrate, after the production cycle of OM, were evaluated contents of neutral detergent fiber (NDF), cellulose (C) and lignin (L) to evaluate differences in substrate degradation related to applied treatments. The preliminary results indicate that maguey verde bagasse could be substrate for OM production. Its chemical composition in C (mean and standard error) was 37.27% (± 2.31), 8.15% (± 0.64) for L and 45.45% for NDF. The treatments have differences in statistical effect ($p = 0.05$) on EB response variable. The minimum EB was 90%, as average, for bagasse without additive. The bagasse supplied with 0.34% ammonium sulfate has the maximum EB with 126.31%. Nutritious value for OM fruiting bodies was also related to bagasse treatments. For protein content the values ranged from 19.4 to 29.4%, dry basis. Minimum was related to bagasse without additives and maximum to high level of B amendment. Protein digestibility, however, was similar between treatments (74.2% in average). Carbohydrate levels were inversely related to protein contents. The highest level was observed in bagasse alone (52.8%) and lowest in the high level of B amended bagasse (41.9%). The analysis of remnant substrate indicates that considerable degradation of bagasse occurred, basically related to inorganic supplement of nitrogen. The results indicate that OM production using maguey verde bagasse is a sustainable option, based on ecological and socioeconomic concerns. Some indication exists in the direction of commercial directed purpose.

Keywords: Maguey verde, *Agave salmiana*, oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, byproducts, bagasse, mescal industry, San Luis Potosí, Mexico.

I.- INTRODUCCIÓN.

El uso de los recursos naturales debe hacerse dentro de un apego a la persistencia del recurso y la minimización de impactos al medio. El concepto que se invoca en fechas recientes para ello es el de la sustentabilidad. La esencia del concepto radica en una intensidad de uso que garantice la satisfacción de necesidades humanas a corto, mediano y largo plazo. En sentido estricto tiene tres componentes que interactúan entre sí (Goodland y Daly, 1996) y que buscan satisfacer las necesidades humanas básicas, al tiempo que se mantienen los soportes de la vida en el planeta. El componente ambiental es de pertinencia de las ciencias biológicas. Los otros dos, el social y el económico, son del ámbito de las ciencias humanísticas. Por lo regular estos últimos son los que restringen la aplicación de medidas efectivas para resolver los problemas de la interacción hombre – naturaleza, ya que tratan con las relaciones dentro de la sociedad, en su organización, para usar y distribuir los recursos naturales. El componente ambiental de la sustentabilidad debe aportar conocimientos que surgen del entendimiento de las interacciones de las especies entre sí y con los factores del medio que habitan. Con esto se pretende mantener los residuos dentro de la capacidad de asimilación del sistema, cosechar a una tasa compatible con la capacidad de regeneración de los recursos naturales renovables y desarrollar sustitutos renovables para los recursos no renovables.

El caso del uso del maguey verde (*Agave salmiana*) en la industria del mezcal, a pesar de tener un largo historial de al menos 300 años, tiene aún problemas que las ciencias biológicas deben abordar para incidir en el componente ambiental. Es el caso de la emisión de desperdicios sólidos y líquidos. El bagazo es un subproducto sólido que se obtiene después del proceso de molienda de las “piñas” para extraerles las mieles que se someten luego a

fermentación. Es un material fibroso de composición química muy resistente a la acción de los microorganismos y que se acumula gradualmente en las cercanías de las mezcaleras. Este es el hecho que permitió anticipar que uno de los posibles organismos que se pudieran utilizar para descomponerlo, con algún beneficio para el hombre son los hongos comestibles.

La característica básica de los hongos radica en que absorben directamente los nutrientes, para lo que usan sistemas enzimáticos que desdoblan compuestos complejos en moléculas simples que pueden absorberse por su pared celular. Junto con las bacterias, son los que llevan a cabo la putrefacción y descomposición de toda la materia orgánica. Los hongos comestibles pueden ser una fuente alimenticia muy importante en relación con el humano. Ello se debe a sus reconocidas cualidades nutritivas, ya que contienen un alto porcentaje de proteínas, bajo contenido de grasa, minerales y carbohidratos, además de fibra, lo que los hace muy digeribles. Debido a estas características y propiedades se les coloca en un alto valor nutrimental, como alimentos muy recomendables en la dieta humana. Se les reconoce también propiedades medicinales, ya que contienen sustancias anticancerígenas, entre otras. Por ello los hongos son muy importantes ya que tienen valor adicional en el ámbito ambiental como detritívoros al final de las cadenas tróficas.

Los hongos son parte importante para la alimentación, se conocen aproximadamente 7000 especies comestibles. Por otra parte como ya se mencionó son parte fundamental en la degradación de los desechos orgánicos. Estos tipos de desechos son los que se generan en mayor escala a nivel mundial, por lo que es muy importante su tratamiento. Los hongos son organismos que junto con las bacterias terminan los procesos biológicos dentro de los ciclos biogeoquímicos y participan primordialmente en la descomposición de la biomasa para su posterior reincorporación al ecosistema.

En México existen más de 200 especies de hongos comestibles que son recolectados en diferentes ecosistemas, entre los que podemos mencionar a los bosques y las selvas. Principalmente la recolección es para el consumo de los campesinos, pero muchos de estos hongos son recolectados y comercializados en la temporada de lluvias en las zonas urbanas aledañas a las áreas de recolección.

El género *Pleurotus* consta de alrededor de 40 especies, es un grupo de hongos comestibles que degrada compuestos lignocelulósicos, presenta propiedades alimenticias, medicinales entre las que se puede mencionar inhibición antiviral, anticancerígenas, y antibióticas, además de ayudar en el control del colesterol. Por otra parte tiene importancia ecológica, ambiental en el tratamiento de residuos agroindustriales y biotecnológica en la producción de enzimas líticas. El cultivo de este tipo de hongo ha cobrado importancia en la industria alimenticia a nivel mundial en las últimas décadas, *Pleurotus ostreatus* Jack Kumm, es el tercer hongo más cultivado en el mundo, por las propiedades antes mencionadas. Las regiones de México con actividad agropecuaria generan grandes cantidades de residuos lignocelulósicos, entre los que podemos mencionar pajas (trigo, cebada, centeno, etc.), rastrojos (maíz, frijol, etc.), bagazo (caña, tequila, mezcal), y pulpas de café, entre otros.

Si no son tratados de manera adecuada se pueden convertir rápidamente en un problema ambiental, ya que solo algunos de estos son utilizados como alimento para animales de corral. La mayoría de estos subproductos se disponen a cielo abierto, lo que puede provocar la acumulación excesiva y la proliferación de animales indeseables como roedores, moscas, mosquitos, etc., además de que pueden ser fuente de bacterias y hongos, que pueden ser nocivos para la salud humana.

Por otra parte gran parte de los subproductos generados en las áreas de cultivo son quemados lo que genera contaminación atmosférica ya que se agregan partículas microscópicas, las cuales generan enfermedades principalmente en las vías respiratorias.

Algunos de estos subproductos como la paja de trigo, cebada, rastrojo de algodón se han utilizado como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. ya que contienen los elementos necesarios para el cultivo de este hongo, debido a que utiliza selectivamente a la lignina y la celulosa, que actúan como barrera para la degradación biológica y la reincorporación de nutrientes al medio.

En el caso particular del estado de San Luis Potosí, se calcula que la industria mezcalera genera 4000 toneladas anuales de bagazo de mezcal en base seca, provenientes del maguey verde (*Agave salmiana*). Este material se usa estacionalmente para suplementar la alimentación del ganado, pero por lo regular se acumula gradualmente en las cercanías de las agroindustrias lo que lo torna en un material subutilizado

La producción de *Pleurotus ostreatus* es factible desde una escala familiar hasta un nivel industrial debido a que la tecnología para producirlo es adaptable y accesible, de bajo costo para los campesinos. Además de resolver un problema ambiental se pueden aprovechar las ventajas que este organismo presenta para el ser humano al considerar sus propiedades medicinales y alimenticias.

Debido a que la generación de bagazo es continua se puede aprovechar esta para la producción de *Pleurotus spp* todo el año, ya que puede tener las características necesarias para ser utilizado como sustrato para cultivar el hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*).

La presente investigación se realizó para evaluar la utilización de bagazo como sustrato de crecimiento del hongo ostra como una alternativa para usar y tratar este subproducto de la industria mezcalera. Con esto, se busca ayudar a resolver un problema

ambiental y generar tanto una fuente alimenticia como darle un valor agregado, para las comunidades rurales de la zona mezcalera en el altiplano de San Luis Potosí.

1.- Importancia del género *Agave*.

Hay cerca de 200 especies del género *Agave* a las que se les aplica la voz “maguey” para darles nombre. A estas especies se les pueden agregar al menos 47 categorías infraespecíficas para el género (García-Mendoza, 2002). Maguey es una voz de origen caribeño (taíno), pero no es muy clara la razón por la que se aplica a estas plantas después de la conquista española de América (Aguirre y col., 2001). El vínculo más cercano es con el nombre *Mayahuel*, Figura 1 diosa del maguey en la cosmogonía Azteca.



Figura 1. Mayahuel diosa del Maguey (Códice Laud 9)

En general la morfología de los magueyes es muy similar a simple vista. Sin embargo el maguey mezcalero potosino presenta diversas peculiaridades (Figura 2). Es una planta en forma de roseta, compuesta por un tallo grueso y corto, sobre el que se insertan en espiral las hojas. Las hojas jóvenes son rectas y ligeramente

separadas del eje central, cuando son adultas están separadas del eje y se curvan con dirección del suelo; las pencas del maguey son de color mate, verde grisáceo (Aguirre y col, 2001). Aunque cabe aclarar que algunos magueyes presentan un seudotallo o tronco.

Durante mucho tiempo el maguey ha sido aprovechado por sus atributos. En particular su sabia fresca (aguamiel), una vez que se somete a un proceso de fermentación, con lo que se obtiene el pulque, bebida tradicional en México antes y después de la conquista. La especie más común para este fin es *Agave mapizaga*. Este es uno de los motivos por los que se popularizó el cultivo del maguey, su dispersión y conservación.



Figura 2. *Agave salmiana* ubicado en las ruinas del pueblo de Cerro de San Pedro, SLP.

El auge del pulque en México fue menguando con la llegada de otras bebidas alcohólicas, así como la constante disminución de las áreas de cultivo para esta especie, disminución del precio en el mercado y la emigración de los campesinos hacia Estados Unidos y otras áreas urbanas del país.

Actualmente el maguey verde sigue siendo una planta de la cual se obtienen beneficios. Aunque la información es escasa, Martínez, (1983) indica que entre 2 y 8 mil toneladas de maguey son usadas como forraje. Esto es relativamente poco si se compara con las 20,200 toneladas que se calcula se usan anualmente en la elaboración del mezcal en el estado. Este uso es por tanto el más importante en la actualidad. El residuo sólido que se genera se conoce como bagazo, éste es utilizado por los ganaderos como suplemento estacional en la época de sequía (noviembre-mayo) para animales domésticos, aunque por su composición solo es un material de relleno en la dieta de los rumiantes.

El auge de la demanda mundial del tequila ha provocado efectos deseables en la industria mezcalera, ya que ha aumentado el consumo nacional e internacional del mezcal, como ya se señaló.

La utilización del maguey es variada y puede incluir la de cercos vivos (Figura 3). Otros usos dependen de la especie y la estación del año, pero se puede señalar lo siguiente:

Mezcal: Es el principal uso en el esquema actual y la base económica en las localidades donde se explota.

Forraje: Principalmente las hojas cuando es cortado ya que estas son dejadas en el área donde se extrae el maguey las cuales son consumidas por animales de corral entre los que se encuentran vacunos, caprinos y equinos.

Fibra: Antiguamente se utilizaba para relleno de colchones, sillones para auto, etc.

Alimento: Aguamiel, pulque, miel, dulce, etc.

Otros: Captura de CO₂, restauración, valor escénico, cercas vivas, fijador de suelo etc.



Figura 3. Utilización actual del maguey verde como cercas vivas y la importancia en el ecosistema.

2.- Producción de mezcal en México.

México es el centro de distribución de la familia Agavaceae, a la que pertenece el género *Agave*. El género se subdivide en dos subgéneros, 20 grupos, 136 especies, 20 subespecies, 30 variedades y siete formas. Su distribución es predominantemente Norteamericana y en México tiene su mayor diversificación, con alrededor del 75% de esta familia (Gentry, 1982). Para la producción de bebidas destiladas y fermentadas se usan alrededor de 17 especies de esta familia.

La palabra Mezcal proviene del náhuatl Mexcalmetl, que significa Agave (Aguirre y col., 2001). A la llegada de los españoles, en 1519, el pulque era la única bebida alcohólica fermentada que se conocía. Una vez que se implantó en México el proceso de destilación surgieron bebidas de alto grado alcohólico obtenidas del maguey a las que originalmente llamaron "vino de agave " o "vino de mezcal", de donde surgió el tequila a finales de 1800. Técnicamente hablando podría decirse que el tequila es una forma de mezcal, pero no que el mezcal es una forma de tequila.

Existen diferencias específicas entre ambas bebidas, principalmente en la forma de producción y en la especie de maguey de la cual se

obtienen, el mezcal es una bebida producida de forma artesanal y se elabora de diferentes especies de maguey 100% *Agave*. Por su parte el tequila se elabora de forma industrial y solo se obtiene del *Agave tequilana weber* y debido a su denominación solo se puede cultivar en el estado de Jalisco y algunos municipios de Zacatecas, Guanajuato y Tamaulipas. Por las exigencias del mercado éste puede ser 100% de *Agave* o bien se le puede adicionar otro tipo de azúcares (Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-006-SCFI, 2004-BEBIDAS ALCOHOLICAS-TEQUILA-ESPECIFICACIONES Pág. 8).

En México existen al menos 10 especies de maguey que a través del tiempo han significado para las poblaciones mexicanas una forma de vida desde hace más de 400 años. Dentro de estas especies las más utilizadas son las *Agave tequilana*, *A salmiana*, *A furcroydes*, entre otras. Éstas han proveído materiales para las bebidas fermentadas, artesanías y forraje.

En nuestros días el aprovechamiento de algunas especies de maguey se ha visto sumamente disminuido debido a la poca demanda de los productos derivados de los magueyes. Sin embargo la industria de las bebidas fermentadas y destiladas sigue siendo importante, en especial el tequila del cual se producen anualmente unos 150 millones de litros (Iliangovan y col. 1996), y es elaborado principalmente en el estado de Jalisco debido a su denominación de origen.

La otra bebida de consumo nacional es el mezcal, el cual proviene al igual que el tequila, de un maguey, pero esta bebida tradicional no se extrae de un solo tipo de maguey en específico, como es el caso del tequila que se elabora del *A tequilana*.

El mezcal se elabora de varias especies de maguey (Figura 4) entre los que podemos mencionar principalmente al *Agave salmiana*, *A angustifolia*, *A potatorum*, entre otros. El mezcal, a diferencia del tequila, es producido en diferentes estados de la república como Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Durango, Zacatecas, Tamaulipas y San Luis Potosí.

En estados como Guerrero, Zacatecas y San Luis Potosí se ha visto disminuida la producción de mezcal debido a la modificación en los patrones de consumo de bebidas alcohólicas, prefiriéndose a la cerveza y al alcohol de caña. Esto ha conducido a poca demanda y precios bajos del producto lo cual ha ocasionado que la industria mezcalera de estos estados se haya visto afectada provocando una disminución de la producción del mezcal en el país.

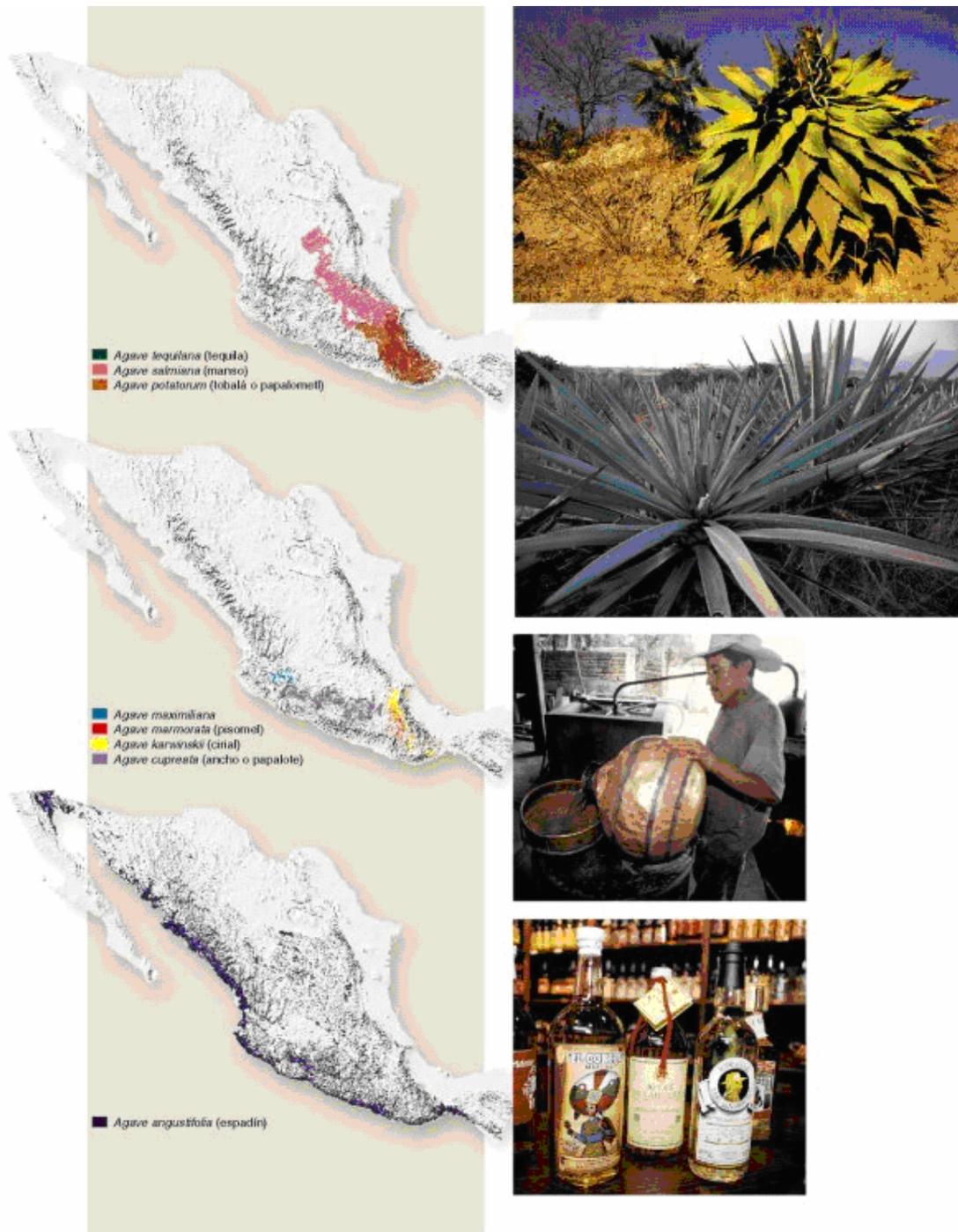


Figura 4. Ubicación geográfica de diferentes especies de *Agave* productores de mezcal. De arriba a abajo: *Agave cupretata*, cultivo de *A. angustifolia*, preparación de mezcal y diferentes marcas de la bebida comercial. (www.conabio.com.mx)

El estado con mayor producción de mezcal es Oaxaca (Figura 5), ya que este estado obtiene más del 60% de la producción nacional, así como también el mayor número de distritos productores entre los que se encuentran Sola de Vega, Miahuatlán, Yautepec, Tlacolula, Ocotlán, Ejutla y Zimatlán.

Por otra parte para el estado de Oaxaca la producción de mezcal ha aumentado de 2 millones 875 mil litros en 1994, a 8 millones 400 mil litros en el 2000. El 78% de la producción en 1994 fue el para el mercado nacional, el resto se exportó a diferentes países de América, Europa y Asia. El consumo nacional de mezcal Oaxaqueño para el año 2000 representó el 44% y el restante 56% se exportó a los destinos antes mencionados (Ramales y col., 2002).



Figura 5. Estados productores de mezcal y regiones productoras en el estado de Oaxaca, productor principal www.mezcal@oaxaca.gob.mx

La producción de bebidas alcohólicas a partir del maguey ha tenido desde sus inicios problemas con la utilización de los subproductos por la generación de vinaza y el bagazo.

El bagazo se genera después de la extracción de las mieles (cocción y molienda). Las vinazas se producen después de la destilación de las mieles fermentadas, tienen diferentes contenidos de cenizas, glicerol, sodio, potasio, sulfatos, magnesio entre otros componentes (Decloux y col. 2002). Durán de Bazúa, 1993 citado por (Ramales y col., 2002) define la vinaza como una disolución de sustancias, sales minerales y orgánicas, las cuales tienen potencial para diversos usos. Su composición varía de acuerdo a las condiciones del proceso.

Ambos residuos representan un problema ambiental, ya que se disponen sin tratar en las inmediaciones de las industrias, tanto en los cuerpos de agua como en los medios terrestres. Se ocasionan problemas, que no se han evaluado, como la eutroficación de los cuerpos de agua y la acumulación de compuestos orgánicos persistentes a los que no se les dan usos productivos que eviten su acumulación.

En el caso de las industrias tequilera y mezcalera los subproductos que se generan son bagazo y vinazas en las siguientes cantidades: por cada litro de tequila, se generan 10 litros de vinaza y entre 15 a 20 kg de bagazo en base húmeda (Iliangovan y col., 1996). Estos representan un problema ambiental provocando una modificación persistente en el ambiente donde se vierten.

Actualmente existen tres mezcaleras activas en el estado de San Luis Potosí (Figura 6), de las 38 que históricamente existían dentro del estado (Aguirre y col., 2001). Ipiña en el municipio de Ahualulco, Laguna Seca, en Charcas y Santa Isabel, dentro del municipio de Villa de Guadalupe.

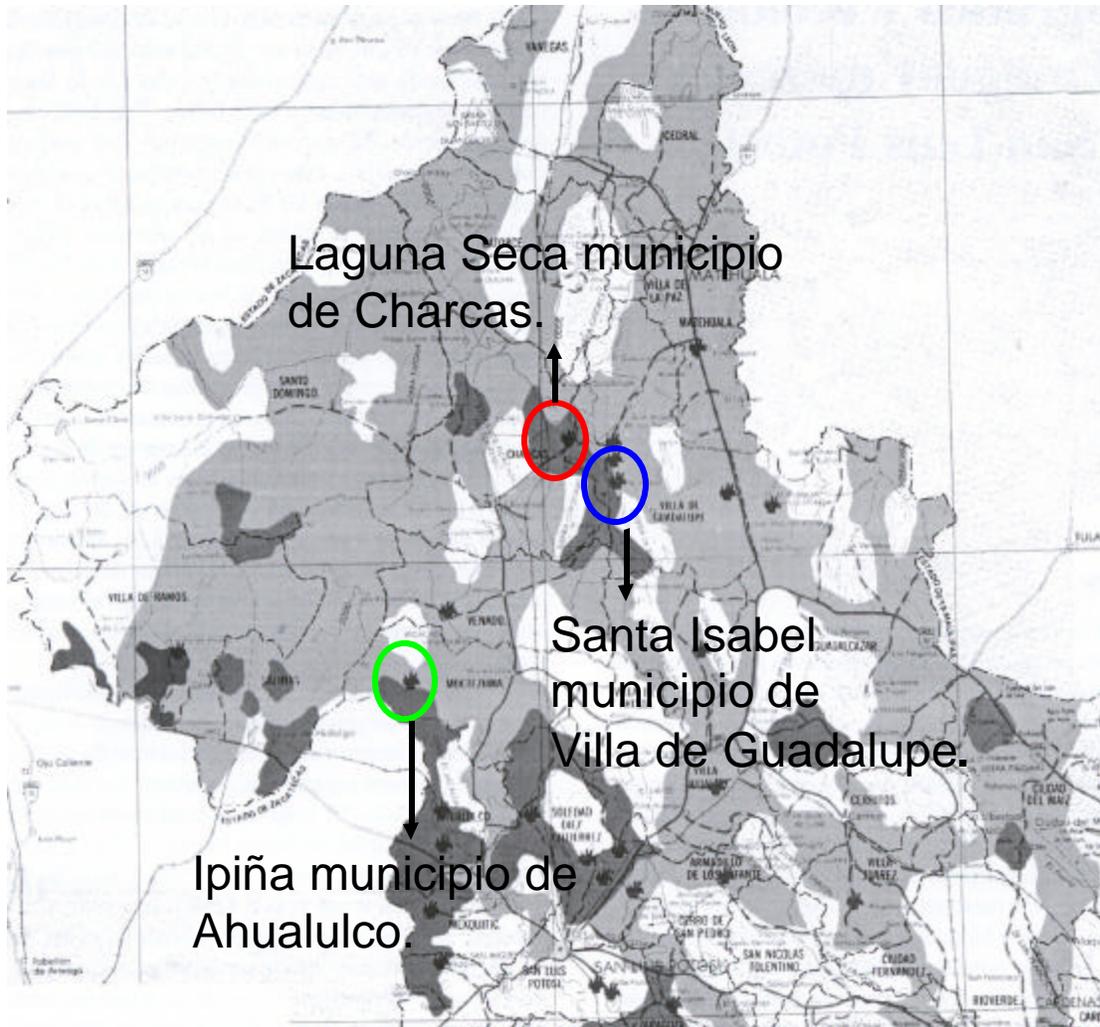


Figura 6. Importancia biótica del maguey mezcalero en SLP. (Aguirre y col. 2001, modificado por Baena-González 2005).

La producción anual calculada de mezcal para San Luis Potosí, es de 720 mil litros. De acuerdo con la información de una de las industrias, por cada litro de mezcal se producen siete litros de vinaza. Con esta información promedio se calcula en alrededor de 5 millones de litros de vinaza anuales. Para el bagazo se calculan 4000 toneladas anuales en base seca.

A pesar de que existen estudios del uso del bagazo del maguey verde como forraje Martínez y Chávez, (2001), no se ha evaluado la factibilidad de usarlo como sustrato para el hongo comestible *Pleurotus ostreatus*.

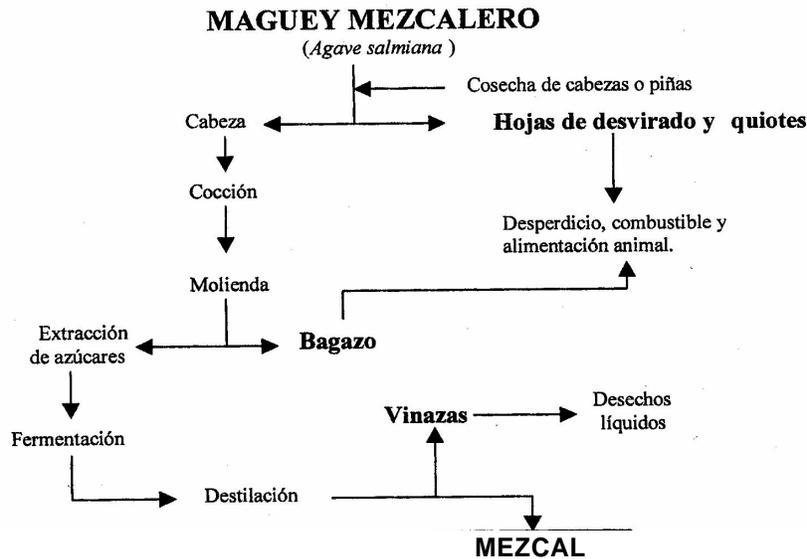


Figura 7. Representación de las operaciones unitarias, los subproductos y producto final obtenidos en la producción de mezcal (Martínez y Chávez, 2001).

Pasos a seguir en para la producción del mezcal:

1. Selección de las mejores plantas: Al alcanzar la madurez fisiológica que es entre 7 y 10 años, se seleccionan las plantas sanas y de buen tamaño, después se procede a su "jima" (corte de las pencas y extracción de la "piña").
2. Cocimiento: Una vez en la fábrica, las "piñas" (corazón del maguey y la base de las hojas) se colocan en un horno de piedra o una autoclave. Cuando la cocción es en horno se tarda de dos a tres días, en tanto que en autoclave la cocción se realiza en un día.
3. Molienda: Las "piñas" una vez cocidas se cortan en trozos y se someten a trituration en molinos artesanales, con una piedra

circular de gran peso que se mueve con tracción animal o tractor. De aquí se separa el bagazo de las mieles o jugo del maguey.

4. Fermentación: El mosto o jugo resultante de la molienda se conduce a tinajas o cisternas donde se promueve la fermentación agregando inóculos preparados ex profeso. La fermentación dura entre cuatro o cinco días (dependiendo de la temperatura ambiente).
5. Destilación: Los jugos o mieles una vez fermentados, se envían a la destilación para obtener el mezcal, cuya calidad (concentración alcohólica y contenido de metanol) va a depender del control del proceso.

3.- Importancia del género *Pleurotus* sp.

Los hongos, son organismos muy comunes en la naturaleza, puesto que viven prácticamente en todas las zonas geográficas. Se estima que habitan en la tierra entre 1.5 y 2.5 millones de especies de hongos, de las que solamente se conocen 7000, básicamente las especies comestibles (Guzmán, 1996).

Ciertos Basidiomicetes y algunos Ascomicetos tienen importancia especial, ya que desde los tiempos más antiguos han sido tratados como un alimento especial. Los Griegos creían que otorgaban fuerza a los guerreros en batalla. Para los Romanos eran "alimento de los dioses", el cual era servido solo en ocasiones festivas. Los chinos los adoraban por ser el "elixir de la vida". Los indígenas mexicanos los utilizaban como alucinógenos en ceremonias religiosas y con fines terapéuticos. (Chang y col., 1993; Ebrard, 1996; Herrera y Ulloa, 1990).

Los hongos comestibles debieron tener gran importancia en la forma de vida y en el desarrollo de las sociedades cazadoras-recolectoras del período preneolítico; en la literatura etnográfica mundial se encuentran evidencias sobre el consumo de hongos comestibles en América prehispánica, plasmadas en códices indígenas y en las descripciones de misioneros y soldados españoles del siglo XVI (Urrea y col., 2001).

Los Mayas del período 200 a.C. a 200 ó 300 d.C., muy probablemente tuvieron relación con especies de hongos comestibles y alucinógenos según las estatuillas de piedra en forma de hongos superiores producidos por ellos en ese período (Ulloa, 1998).

El texto de Lucía Rojas, “*Cocina prehispánica*” (Rojas de Perdomo, 1994) al comentar la cocina de los Aztecas e Incas, relata que en México prehispánico existía gran variedad de hongos comestibles.

Los hongos comestibles del género *Pleurotus* spp., también conocidas como setas, hongo ostra ó girgolas, son organismos que utilizan selectivamente la lignina y la celulosa para su crecimiento, y estos compuestos son una barrera para la degradación biológica para la mayoría de los organismos. Su taxonomía se muestra en el (Cuadro 1).

Durante mucho tiempo se ha considerado que los hongos son medicinales y se le atribuyen beneficios para la salud humana. El género *Pleurotus* spp. contiene extractos antibacteriales así como agentes antivirales y antitumorales (Chang y Miles, 1992). Por otra parte se tiene conocimiento que en la medicina tradicional (Gunde y Cimerman, 1995) este género es utilizado como un agente preventivo para algunos tipos de cáncer, en particular casos como el cáncer de estómago, esófago y algunos de pulmón (Sagakami, 1999).

Los países donde se tiene un conocimiento mayor sobre estos hongos son China, Japón, Korea y Rusia (Przbylowicz, y Donoghue, 1989; Yamanake, 1997) Actualmente se llevan acabo investigaciones en países occidentales como Estados Unidos y Canadá. Los hallazgos indican que *Pleurotus* spp. tiene efectos benéficos en el sistema circulatorio, se han identificado sustancias que ayudan a este, y en la protección del hígado, además de ayudar a mantener concentraciones bajas de colesterol (Krasnopolskaya y col.,1989; Opretal y col., 1997; Bobek y col., 1995).

Actualmente, las sustancias benéficas mejor estudiadas son los polisacáridos, ya que de éstos se tiene conocimiento que contienen sustancias antitumorales y propiedades antiinmunológicas. (Mizuno, 2002). Se han encontrad moléculas con una fuerte actividad anticancerígena. Además se han encontrado moléculas como β - D glucanos, proteoglucanos, péptidos, lecitina, fibra, terpenos, esteroides, ácidos nucleicos entre otros. (Paulik y col.,1996; Karacsonyi y Kuniak, 1994; Wang y Wang 1997; Wasser y Weis, 1999; Wang y col., 2000).

Cuadro 1. Taxonomía del hongo *Pleurotus* sp.

Reino:	Fungi
Subreino:	Fungi superior
División:	Basidiomycota
Subdivisión:	Basidiomycotina
Clase:	Himenomycetes
Orden:	Agaricales
Familia:	Tricholomataceae
Género:	<i>Pleurotus</i>

Tomado de: (Alexopoulos y col., 1996)

Entre las numerosas especies, las más conocidas son *P. ostreatus*, *P.florida*, *P. sajor-caju*, *P. pulmonaris*, *P. cornucopiae*, *P. eryngii*, *P. tuber reguim* y *P. djamour*.

El incremento en el consumo de hongos ostra ha aumentado en los años recientes en diversas partes del mundo. Esto ha conducido a un aumento en la demanda y por tanto en su producción.

La República China es el mayor productor y consumidor de este hongo con cerca del 85% de la producción mundial. Le sigue Japón con una participación de 1.7% (Chang, 1999). El país con mayor producción en América es Estados Unidos, que participa con alrededor del 1%. El resto se divide entre algunos países de Europa, Asia y Latinoamérica. En México se tiene un gran potencial para el desarrollo de este hongo debido a las condiciones ambientales que se encuentran en nuestro país como son temperatura y humedad, y la disponibilidad de una gran cantidad de esquilmos agrícolas, y los desechos agroindustriales que se generan.

II.- ANTECEDENTES.

1.- Cultivo del hongo *Pleurotus*.

La alternativa de utilizar los residuos vegetales como sustratos para el cultivo del hongo ostra tiene importancia ambiental, en la actualidad porque se están generando tecnologías para la producción de un alimento de consumo humano de alta calidad nutricional, a la vez que se incide directamente sobre un problema de acumulación de residuos y a su desperdicio.

El uso de nuevos sustratos para el cultivo de setas de *Pleurotus ostreatus* se hace probando distintos materiales lignocelulósicos, y determinando la factibilidad de su empleo (Valencia y col., 2000).

La lignina y la celulosa son los constituyentes básicos de las paredes celulares de las plantas (Figura 8), y son los que constituyen la mayor parte de los residuos orgánicos; entre los más comunes están los residuos agrícolas, forestales y en gran medida los de las industrias transformadoras de productos agrícolas. Entre estas está la industria textil (que fabrican lino y algodón), la industria azucarera, la vitivinícola y la cafetalera, entre otras. Estas producen desechos orgánicos que pueden tener un impacto nocivo en el ambiente y tienen potencial para cultivar este hongo.

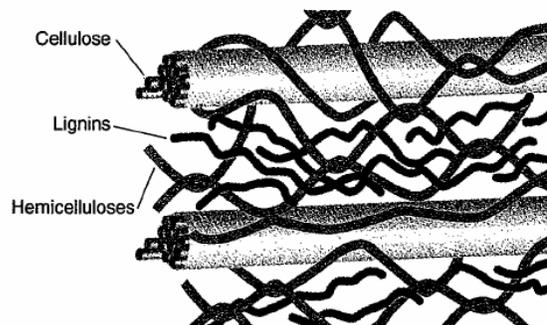


Figura 8. Componentes de la pared celular. Boudet y col. (2003)

2.- Composición química y clasificación de la pared celular.

Los polisacáridos estructurales de las plantas, están formados por moléculas básicas tales como glucosa, la fructuosa y otros monosacáridos (hexosas y pentosas). Se pueden distinguir varios tipos de polisacáridos:

- a. **Celulosa:** Polímero de glucosa que se encuentra en la cubierta de los cereales y en las verduras (por ejemplo, alcachofas, espinacas y judías verdes).
- b. **Hemicelulosas:** Se encuentran en los mismos alimentos que la celulosa. No se digieren en el intestino delgado humano, aunque sí se desdoblan parcialmente en el colon por la acción de la flora microbiana.
- c. **Pectinas:** Son sustancias que se encuentran en los tejidos blandos de las frutas. Tienen la propiedad de formar gelatinas en presencia de azúcares, calor y un medio ácido débil. Se utilizan para espesar algunas mermeladas y otras conservas.
- d. **Ligninas:** Forman la estructura de la parte más dura o leñosa de los vegetales como acelgas, lechuga, el tegumento de los cereales, etc. No es un polisacárido sino un polímero de cadenas de fenilpropano. Es totalmente indigerible.
- e. **Gomas y mucílagos:** Son polisacáridos hidrosolubles que poseen una gran capacidad de retención de agua.

Se calcula que en México durante 1996 se generaron 44.5 millones de toneladas de residuos orgánicos con potencial para el cultivo de *Pleurotus*, y en EE.UU. una cantidad aproximada de 100 millones de toneladas entre los años de 1990 a 1993 (Mata y Martínez-Carrera, 1998).

La riqueza de especies de hongos comestibles en México es grande, existen más de 200 especies conocidas (Manual de Hongos

comestibles UAM, 2002). De ellas, sólo tres se producen a escala comercial, destacando los champiñones (*Agaricus* spp.) con una producción en toneladas del 93%, el *Pleurotus* spp. con el 6.6% y el *Shitake* spp. menos del 1%. Los principales estados dedicados a su cultivo se encuentran en la región central y oriente: Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Querétaro Hidalgo, Morelos, Jalisco y Michoacán (Martínez-Carrera 1997).

Como se ha mencionado los hongos pertenecen al género *Pleurotus* spp. se caracterizan por su capacidad de degradar compuestos lignocelulósicos, por lo que pueden degradar muchos residuos como son los esquilmos agrícolas y los desechos agroindustriales, lo que sucede mediante la pudrición blanca, o fermentación sólida.

La Fermentación en Estado Sólido (FES) puede utilizar muchos sustratos catalogados como residuos o basura. Entre estos figuran gran número de subproductos del campo y las industrias transformadoras de productos agrícolas, como la azucarera, la vitivinícola y la cafetalera. En otro contexto están los subproductos de aserraderos y por último del papel y cartón no reciclados, e incluso pañales desechables, muchos de estos procesos FES se están desarrollando en centros de investigación de México como en la Universidad Autónoma Metropolitana.

Dentro de los sustratos que son potenciales para el cultivo de hongo ostra encontramos los siguientes: (Chang 1978; Martínez-Carrera 1984; Valencia del Toro, 2000).

- Pajas (ajonjolí, arroz, cártamo, cebada, sorgo, trigo y avena).
- Rastrojos (maíz, mijo, garbanzo, frijol entre otros).
- Pulpas (café, cardomo etc.).
- Bagazos (caña de azúcar, citronela, maguey tequilero y mezcalero, henequén, uva, etc.).
- Forestales (aserrín, viruta, hojarasca, troncos y ramas).

- Desechos industriales (telas de algodón y lino).
- Otras fuentes (papel, olote, hojas de plátano, lirio acuático, cartón, etc.).

Todo esto ha estimulado la valoración de gran variedad de sustratos para el cultivo del hongo ostra. Los asiáticos lo han cultivado sobre paja de arroz y desperdicios de palma aceitera (Chang, 1978). En Europa el cultivo de *Pleurotus* spp. en tocones de árboles fue descrito por primera vez a principios del siglo XX, y en 1916 se reportó que se cultivaron en madera. También se han empleado como sustratos aserrín y medio composteado (Block, 1958) producción masiva sobre paja (Bano, 1967) papel suplementado con 5% de carbonato de calcio (Cullen y Steinkraus, 1978) pulpa fresca de café (*Coffea arabica* L.) (Martínez-Carrera y col., 1984), mezcla de pasto y paja; subproductos del beneficiado del café (pulpa, pergamino y capulín) secados al sol Valencia del Toro y col., (1995, 1997), aserrín de caoba y cedro, fibra de coco, olote de maíz (Herrera, 1997), masilla de cerveza, bagazo de maguey tequilero (Lara, 1997), bagazo de henequén y rastrojo de maíz (Ancona, 1997).

Debido a que el bagazo de maguey contiene lignina y celulosa en las paredes celulares de las fibras, lo hace un medio utilizable para el cultivo del *Pleurotus ostreatus*. A partir de los datos de rendimiento del maguey verde en la industria del mezcal (Aguirre y col., 2001) y de la producción anual de la bebida se calcula que en la industria mezcalera potosina genera aproximadamente 4000 toneladas anuales de bagazo de maguey verde en base seca.

El uso de diferentes sustratos donde se ha cultivado el hongo ostra ha producido diferentes rendimientos lo que ha ocasionado un intenso estudio para poder obtener sustratos o mezclas que produzcan mayores rendimientos.

La Eficiencia Biológica (EB) se expresa como el peso fresco de los hongos (cuerpo fructífero) entre el peso seco del sustrato multiplicado por cien (Stamets, 1993). Las diferencias en la EB entre

distintos materiales son atribuibles a la disponibilidad de nutrientes en los sustratos, además de que algunas combinaciones de sustratos ofrecen mejores rendimientos.

El Cuadro 2 muestra las diferencias en eficiencias biológicas del hongo ostra producido en diferentes sustratos, medida como biomasa fresca de hongo producida por unidad de materia seca del sustrato (Martínez-Carrera, 1988).

Cuadro 2. Rendimiento del hongo ostra.

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

* Rendimiento de hongo fresco como una porción del sustrato en base seca (Martínez-Carrera, 1988).

3.- Fermentación en estado sólido.

Dentro del cultivo de *Pleurotus sp* la fermentación en estado sólido es una técnica altamente utilizada. La fermentación en estado sólido (FES) es un proceso donde la materia orgánica es degradada a sus componentes más elementales. Dentro de los compuestos más abundantes en la biosfera está en primer lugar la celulosa y en segundo lugar en importancia la lignina; la degradación de éstos son

un paso importante en el ciclo del carbón (Cohen y col. 2002). Dentro de los parámetros críticos en la (FES) esta la temperatura, ya que si es muy alta corre el riesgo de que el micelio muera. Otro parámetro es la falta de oxígeno ya que sin este el micelio puede ser afectado por bacterias anaerobias las cuales competirán por el sustrato, además de soportar mayores temperaturas. El último parámetro de importancia es el contenido de humedad en el sustrato ya que un exceso de humedad provoca la infestación por otros hongos microscópicos y las bacterias los cuales tienen un ciclo de vida más corto.

El ciclo de vida de *Pleurotus* se describe en la (Figura 9), implica una sucesión de etapas que van desde la germinación de las esporas hasta la formación de carpóforos. En condiciones adecuadas las esporas germinan y dan lugar al micelio (Olivier-Laborde, 1991). El tiempo que se requiere para la formación de carpóforos es variable dependiendo de la especie y del sustrato en que se siembre el hongo, el cual puede estar entre los 20 y 90 días.

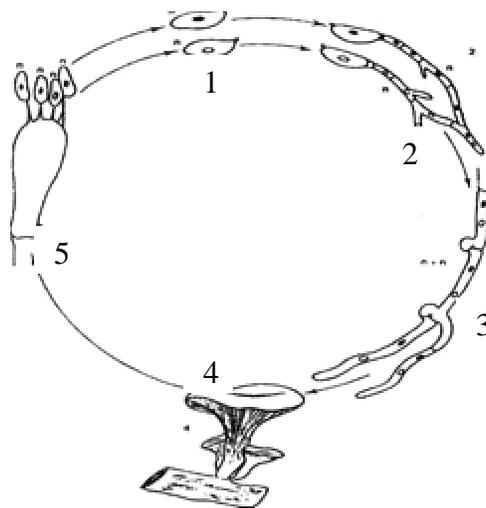


Figura 9. Ciclo de vida del *Pleurotus*. (1). Basidiosporas uninucleadas, (2). Germinación de las basidiosporas y fusión de dos micelios compatibles, (3). Micelio fructífero, (4). Carpóforo, (5). Basidio con 4 basidiosporas. Olivier-Laborde. (1991)

4.- Enzimas que participan en la degradación de los compuestos lignocelulósicos.

Existen una diversidad de enzimas las cuales participan en la degradación de los compuestos lignocelulósicos entre éstas podemos mencionar enzimas oxidativas como la manganeso peroxidasa (MnP) reportada por Kerem y col. (1993); Martínez y col., (1994). Otra enzima que preferentemente degrada lignina es la lacasa la cual ha sido encontrada en *Pleurotus ostreatus*, reportado por Platt y col. (1984), Kerem y col. (1996), Sakar y col. (1997). La existencia de aril-alcohol oxidasa la reporta Pelaez y col. (1995) y una nueva generación de peroxidases lignolíticas han sido descritas por Heinfling y col. (1998), Camarero y col. (1993). Todas estas enzimas participan en la degradación bajo condiciones de fermentación en estado sólido, y se ha detectado que ayudan tanto a la infestación del micelio sobre el sustrato así como en la degradación del mismo.

5.- Requerimientos para el crecimiento y desarrollo del hongo.

Aunque el cultivo de *Pleurotus* spp. no requiere de alta tecnología. Se requiere de controlar aspectos importantes como son la temperatura, y la humedad, para su mejor desarrollo, a continuación se enlistan los requerimientos básicos.

Temperatura: Dependiendo de la cepa pueden crecer bien entre 16 y 28°C para el crecimiento del micelio. Por encima de 40°C puede ocurrir la muerte del micelio, lo mismo que temperaturas por debajo de 4°C.

Humedad del sustrato: Debe mantenerse entre 60 y 75% de humedad y con buena aireación.

Humedad relativa: Se requiere entre un 70 y 90% en el ambiente en sus dos fases.

Luz y aire: Requiere de luz y renovación de aire en la fase de fructificación. El crecimiento del micelio se desarrolla con concentraciones de 20 000 ppm de CO₂ y aún a 30 000 ppm. Es necesario hacer incisiones en las bolsas de dos a tres días después de la siembra.

Dentro del cultivo del hongo ostra eventualmente se presentan problemas con la infestación del micelio, entre los que podemos mencionar contaminación por esporas de hongos oportunistas de crecimiento rápido y con tasa alta de reproducción. Para evitar esta contaminación se debe tener un control estricto de la humedad del sustrato, además de una asepsia total. Otro problema en el cultivo es el ataque de bacterias anaerobias, ya que estas aprovechan el aumento de CO₂ y el bajo contenido de oxígeno. Para evitar este problema es necesario realizar incisiones en las bolsas además de realizar eventuales cambios de oxígeno con extractores de aire, o bien mediante ventiladores.

III.- JUSTIFICACIÓN.

Las condiciones ambientales que predominan en la zona agrícola donde se aprovecha el maguey mezcalero, en San Luis Potosí son extremas. Esto se debe a las escasas y mal distribuidas lluvias anuales y al sobrepastoreo, los cuales han originado un suelo erosionado y encostrado debido a la escasa cobertura vegetal de pastos y hierbas, lo que finalmente está conduciendo a la desertificación de estos sistemas.

Este deterioro ambiental conduce también al detrimento de las condiciones socioeconómicas y alimenticias de los asentamientos humanos de esta región.

Este proyecto busca generar una opción para mejorar la utilización integral del maguey verde como un recurso natural en el altiplano potosino. En particular se busca obtener un uso viable del bagazo del maguey verde (*Agave salmiana*) producido por la agroindustria del mezcal, para atender un problema ambiental dado que es un compuesto que se degrada muy lentamente y por lo regular se acumula en el ambiente, pero sobre todo no se le da un uso que genere beneficios.

Se propone la degradación del bagazo por medio del cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Se probarán distintos tratamientos de acondicionamiento del sustrato, valorando su efecto en la eficiencia biológica del hongo y en su calidad nutritiva. De ser viable su cultivo en este subproducto, se podrá implementar la producción masiva, además se puede inducir su consumo en los habitantes del medio rural, como una alternativa para generar una fuente valiosa de alimentación dados sus estándares nutrimentales.

IV.- OBJETIVOS.

1.- OBJETIVO GENERAL.

Generar una alternativa de uso sustentable, para el bagazo de la agroindustria del maguey mezcalero, buscando mitigar el impacto ambiental generado por su acumulación.

2.- OBJETIVOS PARTICULARES.

Evaluar el contenido de materia lignocelulósico del bagazo de maguey verde para considerar sus cambios después de su uso como sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

Caracterizar alternativas de acondicionamiento del bagazo para obtener un rendimiento óptimo de *Pleurotus ostreatus*.

Evaluar la calidad nutricional del hongo *Pleurotus ostreatus* sembrados sobre bagazo.

Encontrar el efecto de tratamiento sobre la degradación del bagazo mediante el uso de *Pleurotus ostreatus*.

V.- HIPÓTESIS.

El bagazo de maguey verde contiene lignina y celulosa para satisfacer los requerimientos del cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

El bagazo de maguey verde requiere de adición de materiales nitrogenados como sulfato de amonio ó brócoli para dar mejores condiciones para el crecimiento de *Pleurotus ostreatus*.

VI.- MATERIAL Y MÉTODO.

1.- Bagazo

1.1.- Origen.

En el estado de San Luis Potosí solo existen tres mezcaleras de las 38 que se registran históricamente en el estado (Aguirre y col., 2001). Es el caso de Ipiña en el municipio de Ahualulco, Laguna Seca en Charcas y Santa Isabel en Villa de Guadalupe. El bagazo usado (Figura 10) en este trabajo procedió de la mezcalera de Ipiña, donde es apilado dentro del patio de la empresa.



Figura 10. Bagazo amontonado en el patio trasero de la mezcalera de Ipiña, Ahualulco, SLP.

1.2.- Contenido de materiales lignocelulósicos. Se analizó la composición del bagazo para determinar si podría tener los requerimientos para el crecimiento del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Para ello se evaluó el contenido de lignina y celulosa en 5 muestras el contenido de lignina y celulosa por el método Van Soest (1963), y la fibra detergente neutra, FDN, de acuerdo al método de Goering y Soest, (1972). El conocimiento de lignina y celulosa es un criterio importante para seleccionarlos materiales los donde se puede cultivar este hongo. Este tipo de hongo se ha cultivado en paja de trigo, la cual tiene un contenido de α -celulosa de 28-42%, de hemicelulosa 23-38% y de lignina es 12-21% (Teschke y col., 2002) Estos valores se tomaron base para el cultivo de *Pleurotus* en el

bagazo de mezcal. Las determinaciones se hicieron considerando las dos fuentes del bagazo: base de las hojas y la parte más leñosa de las piñas llamada quiote. El contenido de lignina, celulosa y FDN se evaluó antes y después del crecimiento con *Pleurotus ostreatus*. Para comparar el contenido de lignina, celulosa y FDN se realizó un análisis de varianza de cada una de las dos fracciones del bagazo (base de las hojas y quiote) se analizó mediante una ANOVA para cada uno de las fracciones. De no cumplirse el requisito de normalidad se procedió a hacer una prueba no paramétrica, en este caso una de Kruskal-Wallis de igualdad en las medianas poblacionales. Los análisis estadísticos de este trabajo se realizaron mediante el uso del software Minitab versión 14 (Minitab, Inc., 1972-2003).

Al finalizar el crecimiento del hongo en el sustrato remanente, se volvieron a determinar los contenidos de lignina, celulosa y FDN para evaluar el grado de degradación de estos componentes por el hongo ostra.

1.3.- Preparación del bagazo.

El bagazo se obtuvo después de una cocción de las “piñas” de maguey por 24 horas en autoclave, seguido por el proceso de extracción del jugo (mieles) por medios mecánicos en molinos de piedra, (Tello y García, 1985). Este proceso separa las mieles dejando al bagazo con la humedad necesaria para el cultivo del hongo ostra.

2. Preparación del inóculo.

La cepa del hongo utilizada (BCP 370) se adquirió en el Departamento de Biotecnología de Hongos (Figura 11) de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. El hongo se sembró en agar de extracto de malta (EMA) y se inoculó en semilla de sorgo esterilizada (*Sorghum vulgare* Pers.). El tiempo de incubación de la semilla fue de 25 días a temperatura ambiente, 18-25°C. Cabe señalar que las bolsas de sorgo inoculadas con el micelio del hongo se colocaron dentro de un cuarto oscuro según las técnicas convencionales (Guzmán y col., 1993; ver Anexo 1).

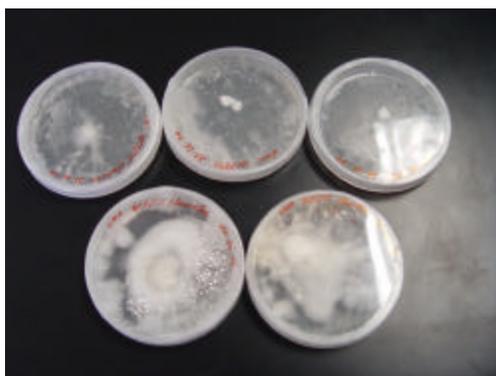


Figura 11. Cepa de *Pleurotus ostreatus* sembrada en agar EMA con 10-12 días de incubación.

3.- Inoculación del bagazo.

El bagazo fue pasteurizado en la mezcalera durante 3 horas dentro de un contenedor de 450 litros a una temperatura de 160°C. Posteriormente se trasladó al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT). Se dejó enfriar durante 24 h y posteriormente se inoculó y se aplicaron los tratamientos que se describen en el diseño de tratamientos.

Tres kilogramos de bagazo fueron colocados en bolsas de 60 X 40 cm. (Figura 12). El bagazo fue inoculado con 200 g de semilla que se incorporaron de manera uniforme dentro de las capas de

sustrato para cada bolsa, se colocó una pequeña capa de bagazo en forma circular y se adicionó un puño de semilla de sorgo inoculado previamente con el hongo *Pleurotus ostreatus*, posteriormente se repitió este procedimiento hasta alcanzar 5 capas de bagazo.



Figura 12. Bolsa de sustrato a 10 días de incubación en la fase oscura.

4.- Diseño de tratamientos.

Se estudiaron dos suplementos uno orgánico y otro inorgánico, como fuente adicional de nitrógeno al bagazo, El suplemento orgánico fue brócoli (*Brassica oleracea L. Var. Italica*) y el inorgánico, sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4]$. Para cada uno de ellos se evaluaron tres dosis, lo que generó seis tratamientos. Se incluyeron dos testigos uno con bagazo y otro de paja de trigo. Esto dio un total de ocho tratamientos. Los cuales se describen más adelante. Cada tratamiento contó con 10 repeticiones lo cual generó un total de 80 unidades experimentales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos utilizados para producción de *Pleurotus* en bagazo de maguey.

No. de Trat.	Sustrato	Porcentaje	Tratamiento
Testigo 1	Paja	sfa	s/t
Testigo 2	Bagazo	sfa	s/t
1	Bsa1	0.07%(pH 5)	(NH ₄) ₂ SO ₄
2	Bsa2	0.20%(pH 5)	(NH ₄) ₂ SO ₄
3	Bsa3	0.34%(pH 5)	(NH ₄) ₂ SO ₄
4	Bb10	10 % p/p	Brócoli
5	Bb20	20% p/p	Brócoli
6	Bb30	30% p/p	Brócoli

Sfa: Sin fuente adicional, p/p: Peso/peso, Bsa: Tratamiento con sulfato de amonio Bb: Tratamiento con brócoli

5.- Diseño experimental.

Los tratamientos se acomodaron en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos se aleatorizaron dentro de las repisas y los estantes que se usaron tanto en la fase oscura (incubación) como en la luminosa (fructificación) del estudio para acomodar las unidades experimentales (80 bolsas). Para el análisis estadístico. Para el análisis estadístico se uso, como ya se indicó, el Minitab Versión 14.

6.- Aplicación de los tratamientos.

El brócoli se colocó en bolsas de polipapel en tres diferentes pesos (300, 600 y 900 g) y se procedió a esterilizarlo a 121 °C durante 15 min. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se procedió a homogeneizar dentro de las bolsas junto con el bagazo y la semilla. Para los tratamientos con sulfato amonio (NH₄)₂ SO₄, (PM: 132.134g) se procedió como sigue: se prepararon soluciones con las siguientes molaridades de 0.075, 0.227 y 0.37 M. y se aplicaron 100 ml por cada bolsa de 3kg de bagazo, con un atomizador para lograr uniformidad.

El pH de estas soluciones fue ligeramente ácido (5.3 ± 0.2). Estos tratamientos equivalen a 1, 3 y 5 g de sulfato de amonio por bolsa de bagazo de 3kg en base húmeda lo que equivale a 0.07% de sulfato de amonio para Bsa1, 0.20% para Bsa3 y 0.34% para Bsa5 en base seca de bagazo.

La paja de trigo se colocó en un recipiente de 200 litros, se hidrato durante 24 h para que se humedeciera (70–80%), luego se pasteurizo a una temperatura de 80 °C por 3 horas. Después se pesaron 3 kilos y se colocaron en las bolsas donde se sembró el micelio del hongo.

Luego de inocular las bolsas y aplicar los tratamientos se procedió a colocarlas en estantes de cinco repisas acomodados de manera aleatoria dentro del cuarto de incubación, donde el hongo completó la fase oscura o de incubación la cual tuvo un tiempo de 51 días de duración. En esta fase se mantuvo controlada la temperatura a (25°C) y la humedad relativa a 80-90% mediante vaporizadores y calentadores con termostato. El inicio de la fase oscura fue el 14 de enero y finalizó el 6 de marzo del 2005.

Para la fase de fructificación se procedió de manera similar en cuanto al control de la temperatura y la humedad relativa. La ubicación de las bolsas en los estantes y repisas se hizo también de manera aleatoria dentro del cuarto de fructificación. Dentro de esta fase se tomaron datos de temperatura, así como el peso de los cuerpos fructíferos en los tres primeros cortes para la determinación de la eficiencia biológica. El tiempo entre cortes fue de entre 10 y 12 días.

Dentro de la fase de cosecha o fructificación se tomó como base, el tamaño de los cuerpos fructíferos para su corte, observándose que los sombreros de los mismos se encontraran totalmente extendidos, sin que el margen estuviese enrollado hacia arriba lo que seria indicativo que el tiempo de corte y por lo tanto la

fructificación está demasiado madura, (Figura 13). Posteriormente al corte las muestras se colocaron en bolsas de polietileno etiquetadas y se procedió a tomar el peso de los cuerpos fructíferos, una vez hecho esto se procedió a congelarlos en nitrógeno líquido. El hongo se cortó en trozos no mayores a los 4 cm y posteriormente se liofilizaron según la técnica descrita por (Bartholomai, 1974) la cual es una deshidratación en frío y al vacío. Se congelaron 400g de hongo en peso fresco de cada tratamiento. Al término de la liofilización se colocaron en frascos herméticos de 150 ml y se desplazó el oxígeno por nitrógeno para evitar su posible contaminación.

Este método permitió la conservación del hongo seco el cual se trituro hasta convertirlo en polvo para realizar el análisis proximal.



Figura 13. Cuerpos fructíferos cultivados en bagazo de maguey. Obsérvese las orejas las cuales están enrolladas hacia abajo, punto de corte.

7.- Análisis bromatológicos.

Los cuerpos fructíferos de los dos primeros cortes de cada tratamiento fueron congelados con nitrógeno líquido y liofilizados como ya se mencionó, para posteriormente ser molidos para los análisis proximales. Los análisis bromatológicos de los cuerpos fructíferos del hongo, se realizaron en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. Los análisis que se realizaron son descritos a continuación.

7.1 Proteína. La determinación de proteína se hizo por el método del Micro-Kjeldahl (AOAC 1984) (Figura 14) El nitrógeno presente en los cuerpos fructíferos de los hongos se evaluó considerando la conversión del factor de $N \times 4.38$, sugerido por (Sturion, y Oettere, 1995) en nitrógeno presente en los cuerpos fructíferos de los hongos. Para la determinación se utilizaron 2 g del hongo en peso seco (Anexo 2).

7.2 Lípidos. Esta determinación se realizó por el método de la extracción continua usando un equipo Soxhlet (AOAC, 1984) (Anexo 3). Para esta prueba se utilizó 1.5 g de hongo en peso seco y sin proteína.

7.3 Fibra. La fibra se determinó utilizando el método enzimático gravimétrico (AOAC, 1990) (Anexo 4), utilizando 1 g de hongo en peso seco sin grasa.

7.4 Cenizas. Para esta determinación se calcinaron en mufla a 550°C , 5 g de muestra por 12 h hasta la obtención de cenizas. Se pesó el residuo y se hicieron los cálculos respectivos (Anexo 5).

7.5 Carbohidratos. Este componente se determinó por diferencia, sumando los anteriores y completando a 100%.

7.6 Humedad. Se colocaron 70 g de muestra fresca dentro de la estufa a 70°C durante 48 h. Se evaluó el peso antes y después del secado y se realizaron los cálculos correspondientes (Anexo 6).

7.7 Digestibilidad. Esta determinación se hizo *in vitro* mediante el método propuesto por (Hsu 1977) enzimático, digestor y el cambio de pH (Anexo 7).



Figura 14. Determinación de proteína por el método del Micro-Kjeldahl

8.- Caracterización del área de estudio.

La comunidad de Ipiña, Ahualulco, S.L.P. se ubica entre los 22° 34'30'' de latitud Norte y 101° 20'10'' de longitud Oeste, se encuentra a una altitud de 2200 msnm.

8.1 Geología. La localidad se encuentra sobre rocas volcánicas (riolita, toba riolítica ácida) y sedimentarias marinas (calcita-lutita); también hay clásticos continentales del Cuaternario (conglomerado) (INEGI, 1986).

8.2 Clima. El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen (García, 1981) es seco o árido (BS₁ kw) con lluvias en verano, y ligeras en invierno, estaciones claramente marcadas y veranos cálidos. Las temperaturas promedio de los meses más calientes (mayo y junio) son de 20 °C y las invernales de alrededor de 14 °C. La precipitación media anual oscila alrededor de 400 mm. Se pueden presentar de 20-40 heladas durante el año y entre 1 - 3 granizadas.

8.3 Suelos. Los suelos dominantes presentan un desarrollo pobre (Leptosoles) sin horizontes bien definidos y someros. Bajo tales

condiciones el uso del suelo más adecuado es mediante el aprovechamiento de la vegetación espontánea.

8.4 Vegetación. La vegetación predominante es del tipo desértico encontrándose principalmente especies del tipo crasirosulifolios espinosos, nopaleras e izotales. Entre las especies comunes se encuentran *Acacia constricta* (huizache), *Larrea tridentata* (gobernadora), *Berberis trifoliolata* (agrito), *Opuntia robusta* (nopal tapón), *Prosopis laevigata* (mezquite), *O. rastrera* (nopal rastrero), *O. leucotricha* (nopal duraznillo), *Yucca filifera* (izote o palma), entre otras especies. Regularmente estas especies acompañan al maguey verde en las comunidades vegetales donde este es extraído para la producción de mezcal.

VII.- Resultados.

1.- Componentes no digeribles. Los componentes no digeribles son aquellos elementos que tiene la pared celular, y que le confieren estructura, resistencia y protección a las plantas. Entre estos compuestos se incluyen la lignina, la celulosa, los taninos, las pectinas etc.

1.1 Características del bagazo de maguey verde. La base de las pencas y el quiote presentaron la composición de fibras que se presenta en el (Cuadro 4). La Fibra Detergente Neutra (FDN) está compuesta por lignina y celulosa por lo que al realizar el análisis, las tres variables (FDN, celulosa y lignina) tuvieron diferencias estadísticas ($p < 0.001$) entre los dos componentes del bagazo indicadas, de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis, ya que no se cumplió el supuesto de normalidad ni la homogeneidad de varianza. El quiote presentó valores estadísticamente mayores que la base de las hojas para las tres variables evaluadas. Sin embargo, para fines de comparar esta composición del bagazo con los valores respectivos después de que el bagazo fue tratado con el hongo, se tomaron los promedios de las dos partes de la planta para las tres variables.

Cuadro 4. Contenidos porcentuales promedio y errores estándar de fibra detergente neutra (FDN), celulosa y lignina en dos componentes del bagazo del maguey mezcalero (base de las hojas y quiote) y el promedio de ambas.

	FDN	Celulosa	Lignina
Base hojas	36.99(±0.43)	30.56(±0.21)	6.43(±0.26)
Quiote	53.9(±1.7)	43.97(±1.22)	9.88(±0.54)
Promedio	45.45(±2.94)	37.27(±2.31)	8.15(±0.64)

1.2 Composición de la paja de trigo. La paja de trigo tiene un contenido de α -celulosa de 28-42%, hemicelulosa 23-38% y de lignina 12-21% (Teschke y col, 2002). Por otra parte (Stewart y col, 1997) reportan valores para la celulosa 29-35% y lignina de 16-21%. Estos valores indican que el bagazo de maguey mezcalero (Cuadro 4), es similar en celulosa pero más bajo en contenido de lignina que la paja de trigo.

La paja de trigo sin ningún suplemento se utilizó como testigo debido a que en este sustrato es donde se ha obtenido una eficiencia biológica (EB) mayor al 100% en el hongo ostra (Lin y col., 1990; Okuda y col., 1995).

2.- Eficiencia Biológica.

La eficiencia biológica (EB) se expresa como el peso fresco de los hongos (cuerpo fructífero) dividido entre el peso seco del sustrato y multiplicado por cien. Es decir, es el porcentaje de biomasa fresca del hongo respecto al peso seco del sustrato usado.

2.1 El análisis descriptivo. Los datos de EB se muestran en la Figura 15, en esta figura los extremos superior e inferior de las cajas son los cuartiles 1 y 3, respectivamente, y la longitud de la caja (amplitud intercuartiles) es una medida de la variación; la mediana es la línea que divide la caja longitudinalmente; la media es representada por el círculo y las líneas verticales en los extremos de las cajas son los límites para datos aberrantes de EB. No se presentaron datos aberrantes de EB dentro de tratamientos. Los tratamientos numerados del 1 al 8 corresponden, respectivamente, a paja, bagazo, Bb10 (bagazo brócoli 10), Bb20 (bagazo brócoli 20), Bb30 (bagazo brócoli 30), Bsa1 (bagazo sulfato de amonio 1), Bsa2 (bagazo sulfato de amonio 3), y Bsa3 (bagazo sulfato de amonio 5). Sobresale el alto valor para la EB del tratamiento control de paja de trigo lo cual introdujo problemas en el análisis de los datos, por lo

que se optó por eliminarlo de este análisis y solo usarlo como referente (testigo absoluto) para el resto de los tratamientos del bagazo.

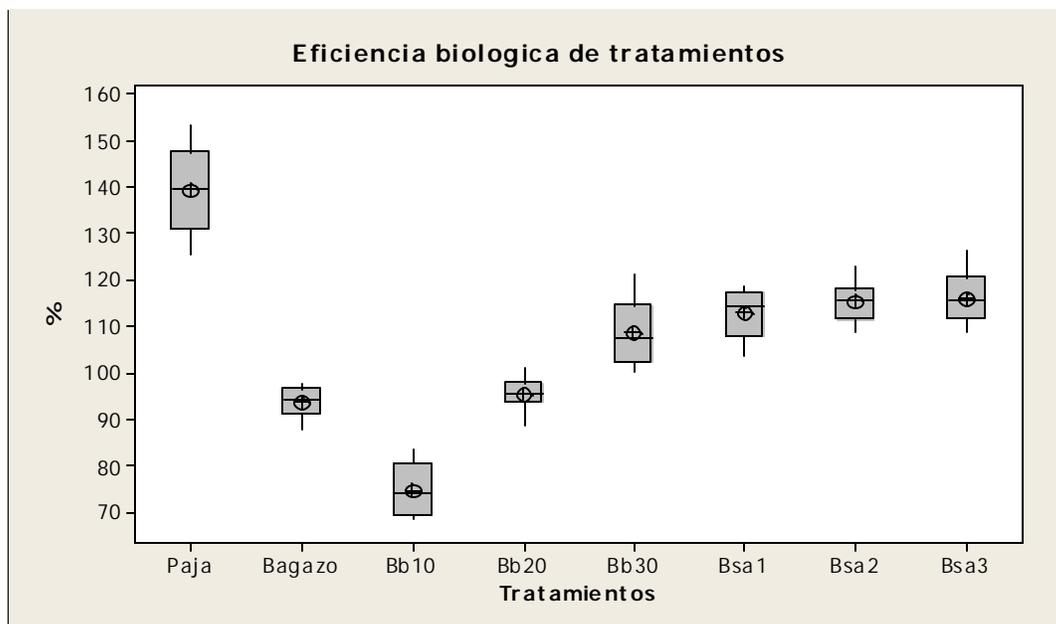


Figura 15. Gráfico de cajas y líneas que presenta el resumen esquemático de los datos de EB por tratamiento.

La eficiencia biológica de la paja de trigo fue mayor al 100%, como se esperaba. El valor máximo fue de 153.50%, un mínimo de 125.43% y un promedio de 138.95%. Para el bagazo de maguey sin tratar se obtuvieron eficiencias biológicas superiores al 90%, con valor máximo de 97.36% y mínimo de 87.71% y un promedio de 93.68%. Para el resto de los tratamientos del bagazo con suplementación los resultados fueron los que se indican a continuación (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores medios y extremos de la eficiencia biológica (%) del hongo ostra crecido en bagazo de maguey verde acondicionado con diferentes tratamientos.

Tratamiento	Media	Mínimo	Máximo
Bagazo	93.68%	87.71%	97.36%
Bb10	74.561	68.421	83.333
Bb20	95.469	88.596	100.877
Bb30	108.596	100	121.053
Bsa1	112.544	103.509	118.421
Bsa2	115.088	108.772	122.807
Bsa3	115.965	108.772	126.316

Los tratamientos con sulfato de amonio presentaron en general una mejor EB, (aunque menor que el control con paja), ya que todas ellas se encuentran por encima del 100% y que el mejor tratamiento de brócoli fue el de Bb30, con una eficiencia biológica de 108.6.

2.2 Análisis de varianza de la EB. Los datos de eficiencia biológica se apegan a la normalidad ($p = 0.1877$), con la prueba de Shapiro-Wilk. Si el nivel de significancia de la prueba se establece al 0.05, valores de p más pequeños que este valor indican que los datos no siguen una distribución normal. La hipótesis de homogeneidad de varianzas de EB entre los 8 tratamientos no fue aceptada, de acuerdo con la prueba de Bartlett ($p = 0.022$). Los valores de p menores que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$) establecido para la prueba conducen al rechazo de la hipótesis de igualdad de las varianzas de los tratamientos. Eso significa que uno de los supuestos del análisis de varianza no se cumplió. La posible razón de esto se puede deber a la presencia del tratamiento de paja de trigo en el diseño. Al quitar estos datos del conjunto se encontró que no se cumplió la normalidad en los datos de EB, de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk ($W = 0.934$, $n = 70$; $p = 0.0012$). Esto se debe a la presencia de valores bajos de EB en el tratamiento de nivel bajo de brócoli (Bb10). Sin embargo, el supuesto más crítico para el ANOVA, el de

homogeneidad de varianzas, se cumplió de acuerdo con los resultados de la prueba de Bartlett ($\chi^2 = 8.05$, 6 grados de libertad; $p = 0.234$). El modelo de análisis de varianza se hizo solo con los 7 tratamientos del bagazo de maguey verde.

Para analizar el efecto de tratamientos sobre la eficiencia biológica y realizar las comparaciones entre los tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados del ANOVA de dos vías mostraron que no hay efecto sobre la EB del bloque ni de la interacción bloque por tratamiento (Cuadro 6), pero si un efecto claro de tratamiento. Este último efecto se corroboró al analizar solo el efecto de tratamiento (Cuadro 7). La comparación de medias por el procedimiento de diferencia mínima significativa (DMS) tuvo los resultados mostrados en la (Figura 16). Los mejores tratamientos fueron los adicionados con sulfato de amonio y el peor fue el de Bb10%. El tratamiento con mayor contenido de brócoli Bb30% tuvo un efecto semejante al del nivel menor de sulfato de amonio Bsa1. El bagazo tuvo una EB estadísticamente igual a la del nivel intermedio de brócoli Bb20%.

Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza de los datos de EB del hongo ostra para los factores bloque (BLQ) y tratamientos (TRAT) del bagazo de maguey verde.

Efecto	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p
BLQ (A)	4	148.188	37.0469	1.3	0.2878
TRAT (B)	6	13851.9	2308.65	81.21	0
A*B	24	490.706	20.4461	0.72	0.7989
RESIDUAL	35	994.941	28.4269		
TOTAL	69	15485.7			

$\alpha = 0.05$

Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza de los datos de EB del hongo ostra para el factor tratamientos (TRAT) del bagazo de maguey verde.

Efecto	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p
Entre TRAT	6	13851.9	2308.65	89.02	0
Dentro de TRAT	63	1633.83	25.9339		
Total	69	15485.7			

$\alpha = 0.05$

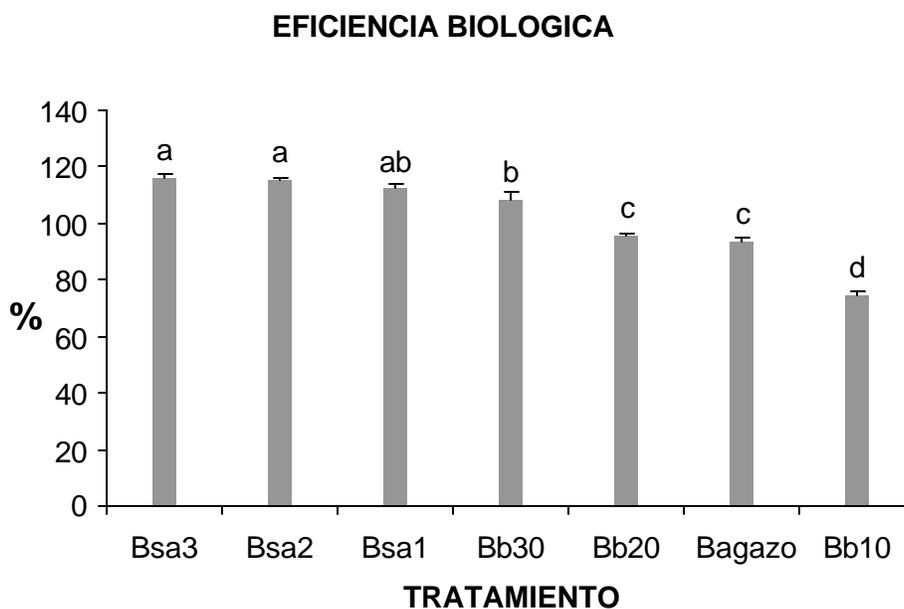


Figura 16. Gráfico de comparación de medias de eficiencia biológica para los distintos tratamientos del bagazo de maguey verde. Letras iguales sobre las barras indican que no hay diferencia estadística entre las medias de EB, de acuerdo al procedimiento DMS al 0.05.

Las líneas sobre las barras de la Figura 16 representan los respectivos errores estándar de las medias. Las letras representan las comparaciones de medias de acuerdo con el procedimiento DMS. Tratamientos con igual letra no son diferentes estadísticamente en EB con un 95% de confianza.

3.- Análisis Proximal.

El análisis proximal es un método por el cual se evalúan las propiedades nutritivas de los alimentos. Este análisis se realizó en los cuerpos fructíferos del hongo de acuerdo con las técnicas reportadas en material y métodos, obteniéndose resultados para proteína cruda, grasa cruda, fibra dietaria total, digestibilidad *in vitro*, carbohidratos, ceniza y humedad.

La composición química de *Pleurotus ostreatus* es muy variable y depende de la edad y la especie. Esta variabilidad es ocasionada por las diferencias en el contenido de humedad, la temperatura y la presencia de nutrientes en el sustrato (Steineck, 1987; Zervakis y Balis, 1992; Zhao, 1998)

3.1 Proteína: Los resultados del contenido de proteína de los cuerpos fructíferos de cada uno de los tratamientos se presentan en la (Figura 17). Los valores mostrados corresponden a dos repeticiones, Estos resultados muestran que los tratamientos (bagazo más brócoli) Bb10 (18, 37%), Bb20 (20.27%) y Bb30 (20.38%) presentan un mayor contenido de proteína superando a la paja, y sobretodo al bagazo.

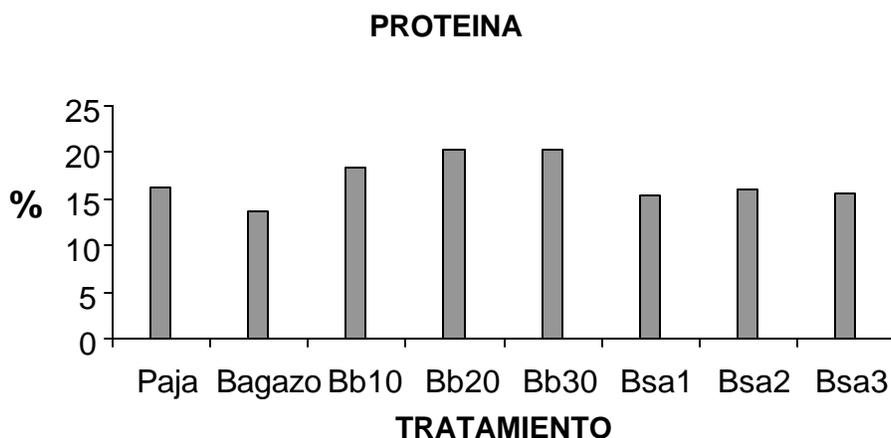


Figura 17. Comparación de proteína de los cuerpos fructíferos del hongo ostra asociados a los ocho tratamientos. Los tratamientos con brócoli presentan mejores atributos.

3.2 Grasa: El contenido de grasa (Figura 18) en los hongos crecidos en bagazo solo, o bien con algún suplemento es baja más bajo que el observado en hongos crecidos en paja. Esta característica podría ser importante ya que en la actualidad este componente alimenticio se prefiere que este presente en cantidades bajas. Los tratamientos al bagazo de maguey verde no modificaron el contenido de grasa en los cuerpos fructíferos del hongo ostra.

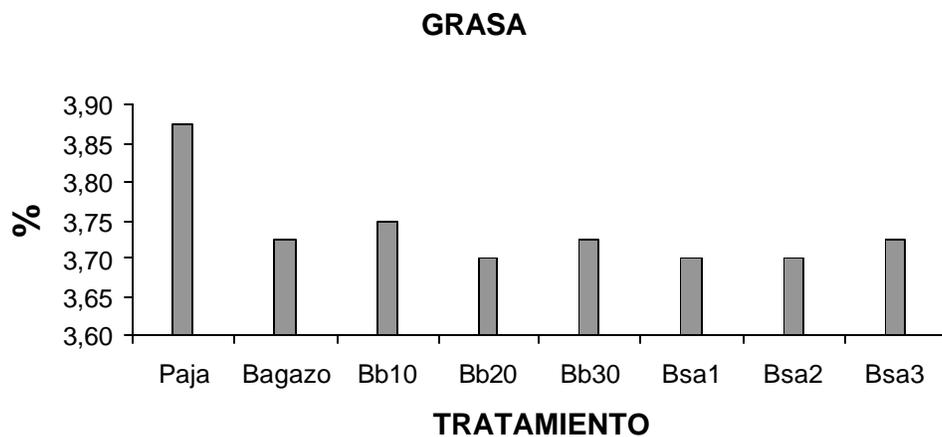


Figura 18. Porcentaje de grasa en el hongo ostra. Se observa que los 6 tratamientos de bagazo con suplemento no modifican el contenido, respecto al bagazo solo pero son menores que la paja de trigo.

3.3 Ceniza: Las cenizas contienen los minerales, encontrándose elementos como el sodio, calcio, zinc, fósforo, entre otros. El contenido de cenizas en los hongos crecidos en diferentes tratamientos se presenta en la (Figura 19). El contenido de ceniza fue menor en los hongos producidos en el bagazo adicionado con sulfato de amonio, mientras que el tratamiento de paja fue el que presentó mayor contenido de cenizas con un promedio de 7.86%.

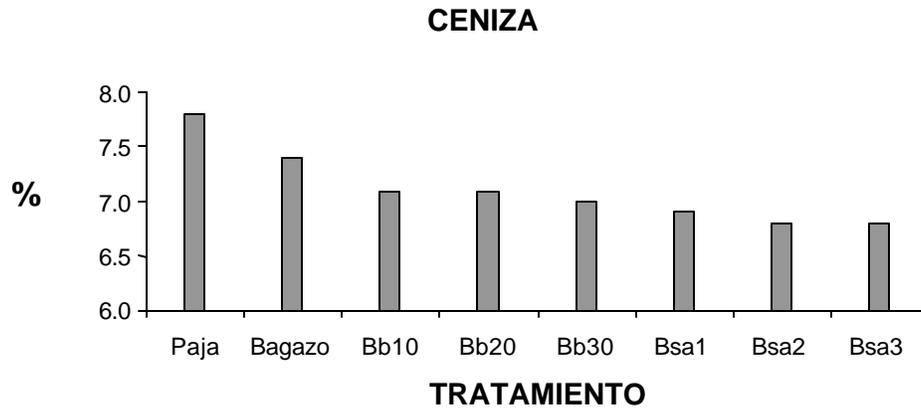


Figura 19. Contenido de cenizas en los cuerpo fructíferos. Se observa el menor contenido en los tratamientos con sulfato de amonio.

3.4 Fibra dietaria: El contenido total de fibra dietaria es importante en la nutrición humana debido a que ayuda al organismo en la digestión de los alimentos, además de ser útil en su excreción. Este componente en los cuerpos fructíferos de los hongos presentó los valores más altos en los tratamientos de bagazo con sulfato de amonio (Figura 20). Se observó que tanto el bagazo sin suplemento y el nivel bajo de brócoli, fueron los que presentaron los valores más bajos de fibra, con valores muy parecidos a los de la paja de trigo.

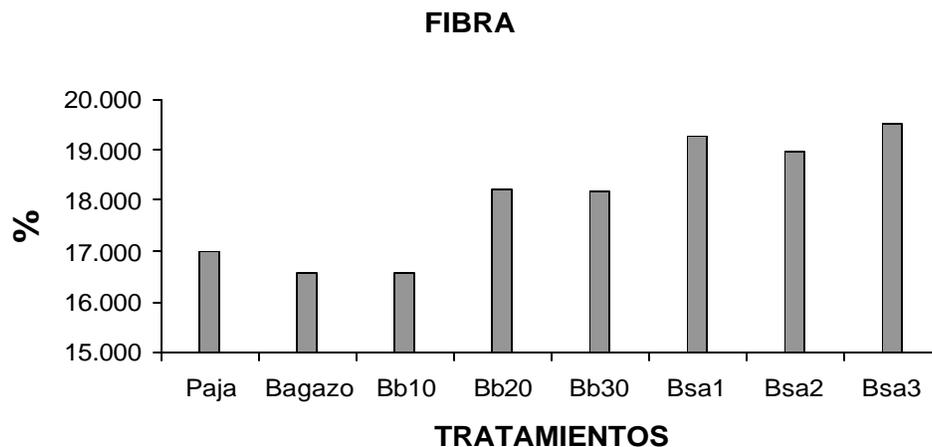


Figura 20. Contenido de fibra en el hongo ostra donde. Se observa el efecto de tratamiento teniendo menor contenido de fibra los tratamientos control paja y bagazo.

3.5 Carbohidratos: El contenido de carbohidratos (Figura 21) es importante en los alimentos ya que proporcionan gran cantidad de energía al ser transformados en glucosa o bien se almacenan en forma de glucógeno en el hígado para posteriormente proporcionar energía al cuerpo. El hongo *P. ostreatus* contiene 57.6% de carbohidratos totales además que de éstos un 47.5% de ellos son libres de nitrógeno (Miles y Shu-Ting 1997).

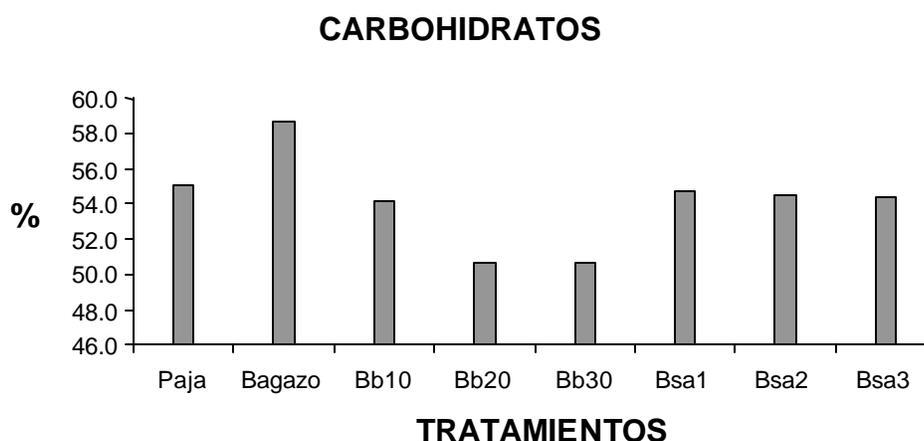


Figura 21. Contenido de carbohidratos en el hongo ostra asociado a los tratamientos. Se observa una disminución en los tratamientos Bb20 y Bb30.

El contenido de carbohidratos presentó gran variación relacionada con los tratamientos del bagazo. Es notable que en los tratamientos con sulfato de amonio, el contenido de carbohidratos en el hongo sea muy similar. También debemos notar que el porcentaje de carbohidratos presentes en el tratamiento de bagazo es más alto que en cualquiera de los otros tratamientos.

Los datos obtenidos indican que el contenido de carbohidratos presenta cambios en relación a los tratamientos, y que el contenido de los carbohidratos es más alto en los tratamientos con sulfato de amonio, mientras que hongos que fueron suplementados con brócoli (Bb20 y Bb30%) presentaron un contenido menor (50%). Debemos

hacer notar que como se mencionó en métodos el contenido de carbohidratos se determinó por diferencia y completando al 100%

3.6 Digestibilidad *in vitro*: La digestibilidad *in vitro* es una prueba de laboratorio que simula la acción del sistema digestivo. Se realizó con tres enzimas que mediante cambios de pH estima la digestibilidad de los alimentos (medida en porcentaje).

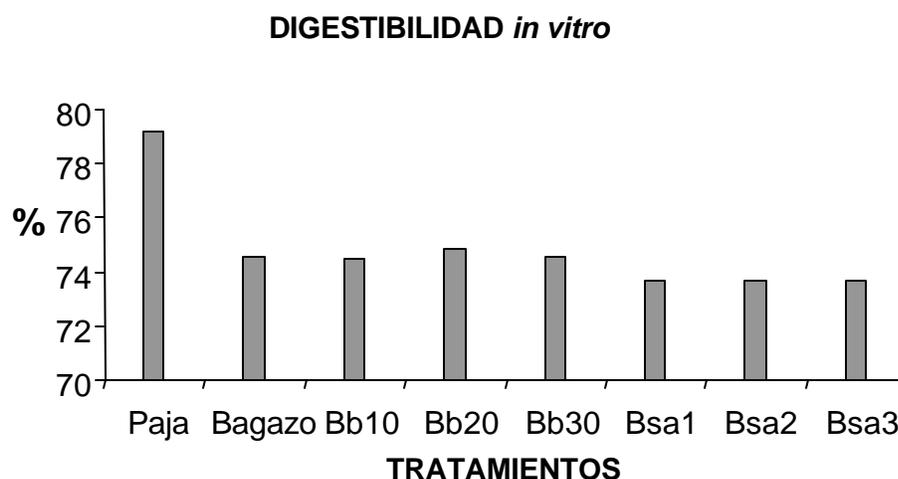


Figura 22. Porcentaje de digestibilidad *in vitro* del hongo ostra donde no se observa el efecto de tratamiento. Se encontró mejor digestibilidad en los tratamientos bagazo solo respecto a los tratamientos suplementados con nitrógeno.

En la Figura 22 se observa que el control paja de trigo presenta una mejor digestibilidad entre 4 y 7% por encima de cualquier otro tratamiento, la digestibilidad que se encontró durante este trabajo es ligeramente superior al reportado para *P. ostreatus* en paja de trigo $67.75\% \pm 0.54\%$ (Mayela y col. 1999).

4.- Análisis multivariable de los parámetros proximales evaluados.

4.1 Integración de la información de análisis proximal. Para considerar de manera conjunta el contenido alimenticio del hongo ostra y su posible relación con los tratamientos se puede usar la correlación existente entre las variables del análisis proximal mediante una técnica de análisis multivariable. Una técnica que utiliza la estructura de la variación entre variables es la de componentes principales. Esta técnica construye variables sintéticas mediante el uso de las relaciones entre ellas formando combinaciones lineales llamadas componentes principales (CP). Es una forma de representación gráfica de la matriz de correlaciones en un espacio de pocas dimensiones, que son los ejes de CP. Es una técnica multivariable que permite hacer un análisis exploratorio de información que de otro modo, por la cantidad de variables involucradas, se dificultaría. Los CP se construyen a partir de la información de la matriz de correlaciones de manera tal que los primeros ejes expresen la mayor variación de los datos y gradualmente va disminuyendo la variación por explicar. De este modo se puede mostrar de manera gráfica la relación entre variables y tratamientos. El Cuadro 8 presenta los valores de correlación de las variables del análisis proximal y de EB del hongo ostra obtenidos en este trabajo. Los resultados del (Cuadro 8) se obtuvieron analizando de los datos de las dos repeticiones de cada determinación por variable. Los datos de EB se obtuvieron seleccionando al azar dos repeticiones de las diez posibles de cada tratamiento.

Cuadro 8. Valores de las correlaciones de Pearson y su significancia estadística (p) entre las variables del análisis proximal y la EB del hongo ostra obtenida en este trabajo.

	Proteína	Digestibilidad	Cenizas	Grasa	Humedad	Fibra	CH*	EB**
Proteína	1.0000 p= ---							
Digestibilidad	.0028 p=.992	1.0000 p= ---						
Cenizas	-.0382 p=.888	.6066 p=.013	1.0000 p= ---					
Grasa	-.0623 p=.819	.7007 p=.002	.6042 0	1.0000 p= ---				
Humedad	-.2689 p=.314	-.6072 0	-.5582 p=.025	-.6795 p=.004	1.0000 p= ---			
Fibra	.0002 p=.999	-.4887 p=.055	-.5279 p=.036	-.4018 p=.123	.4398 p=.088	1.0000 p= ---		
CH	-.9609 p=.000	.0562 p=.836	.0545 p=.841	.0850 p=.754	.2099 p=.435	-.2437 p=.363	1.0000 p= ---	
EB	-.2645 p=.322	.5006 p=.048	.1734 p=.521	.3957 p=.129	-.1660 p=.539	.3642 p=.166	.1040 p=.702	1.0000 p= ---

*Carbohidratos, ** Eficiencia biológica.

$$\alpha = 0.05$$

Como es usual en los valores del coeficiente de correlación de Pearson, su magnitud va de -1 a 1. Los valores de p en el Cuadro 9 son los valores de significancia asociados al valor de correlación. Cuando son mayores que el nivel de significancia establecido para la prueba (como 0.05) indican que no son significativas las correlaciones entre variables. Por ejemplo, la proteína y los carbohidratos (CH) se correlacionaron negativamente (-0.96) y este valor es significativo estadísticamente ($p < 0.05$). La fibra se relacionó de forma negativa con las variables digestibilidad, cenizas y grasas, aunque con esta última el valor de p es mayor que 0.05, es decir que no es significativo. Un patrón similar de correlaciones sucedió entre la variable humedad y las tres variables mencionadas. Estas relaciones entre las variables y los tratamientos se presentan a continuación mediante el uso de la técnica de componentes principales.

Los resultados obtenidos indican que el primer componente explicó el 42.4% de la variación de los datos y hasta el componente 2 se explica un total de 69%. La Figura 23 presenta los pesos de las variables para los dos primeros ejes de componentes principales. Los valores de estos pesos están en el intervalo de -1 a 1. Se pueden ver que se conservan los patrones de la matriz de correlación ya descritos para el Cuadro 9. Por ejemplo, la información redundante de las variables digestibilidad, cenizas y grasas, con pesos respectivos de 0.479, 0.437 y 0.473 para el CP 1. También la correlación de estas tres variables con la fibra y la humedad es negativa. Es clara la correlación negativa entre el contenido de carbohidratos y el de proteína. El eje del componente 1 se relaciona con los pesos (positivos) de las variables cenizas, digestibilidad y grasas, y negativos de fibra y humedad. En tanto, el componente 2 forma un contraste entre el contenido de proteína y carbohidratos. La variación en EB de los datos no parece tener peso en los ejes de componentes principales.

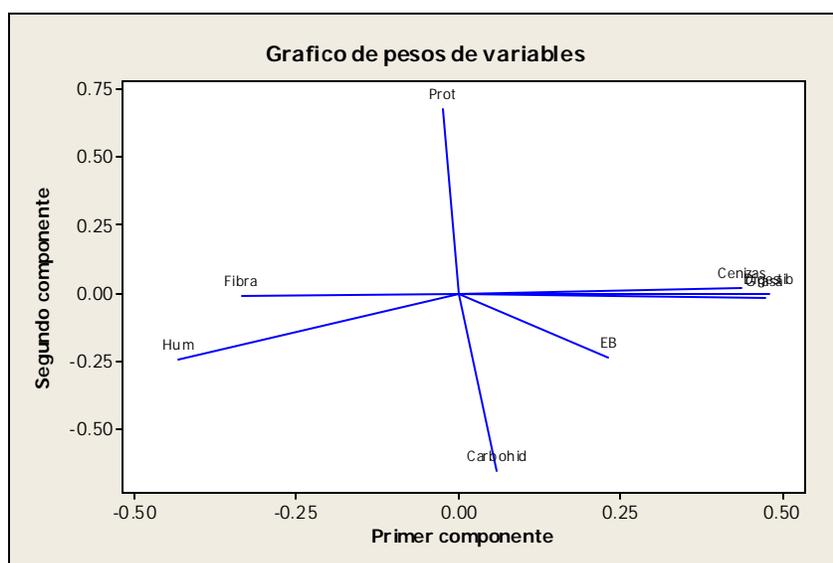


Figura 23. Proyección de las calificaciones en los dos primeros componentes de las variables de análisis proximal del cuerpo fructífero del hongo ostra y la eficiencia biológica de los tratamientos.

También se pueden graficar las calificaciones de los tratamientos para visualizar las relaciones entre ellos y de éstos con las variables usadas para construir los componentes principales. La Figura 24 presenta esta información descriptiva. Se observa que el tratamiento control de paja presentó los valores más altos de cenizas, digestibilidad y grasas, de algún modo esto explica también la posición del vector para la variable EB en la (Figura 23). Los tratamientos de brócoli son los que presentaron los valores más altos de contenido de proteína y más bajos en carbohidratos; el contraste fue el tratamiento de bagazo sin aditivo, es decir, alto en carbohidratos y bajo en proteínas. La ubicación de los tratamientos de sulfato de amonio es el contraste al control de paja de trigo, altos en fibra, humedad y bajos en cenizas, digestibilidad y grasas. La ubicación tan disímil de los tratamientos del nivel bajo de brócoli (Bb10%) indican su heterogeneidad también en el análisis proximal.

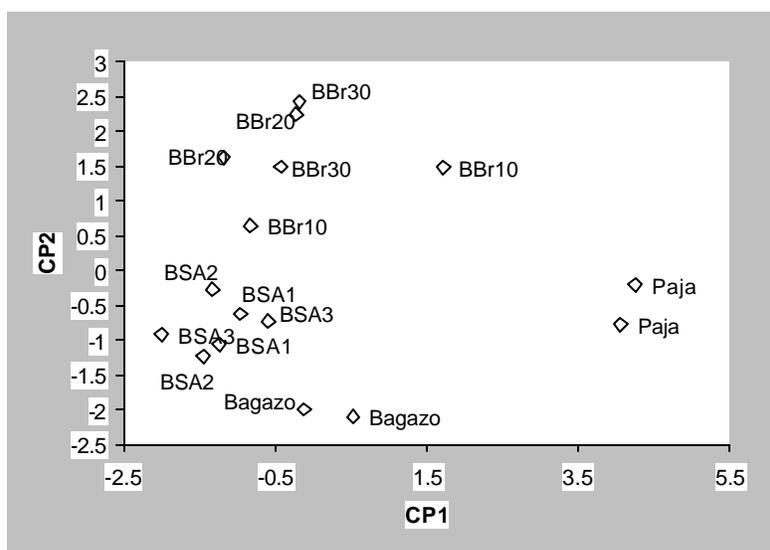


Figura 24. Gráfico de calificaciones de los tratamientos proyectados sobre los dos primeros componentes principales.

5.- Efecto de la actividad del hongo sobre los tratamientos del bagazo. Como se mencionó en la sección 1 de los resultados el bagazo de maguey verde antes del crecimiento de *Pleurotus ostreatus* presentó la siguiente composición promedio. La fibra detergente neutra (FDN) fue de 45.45% (± 2.94), la celulosa de 37.27% (± 2.31) y la lignina de 8.15% (± 0.64) determinadas con un tamaño de muestra de 5 (con tres repeticiones para minimizar el error de laboratorio). Por otra parte los resultados de la paja de trigo tienen un promedio 73% de FDN, 4.8% de proteína digerible y 9% de lignina (NRC, 2001). La celulosa puede llegar a ser del orden de 42% y la hemicelulosa de 32% (Jackson, 1977). La fibra detergente neutra (constituyente de la pared celular) es poco digerible para los rumiantes, pero no se conoce como afecta este componente el crecimiento de organismos como los hongos. Sin embargo se han reportado buenos rendimientos en el uso de los hongos para tratar materiales ricos en lignina y celulosa buscando mejorar su digestibilidad por rumiantes (Jalc y col. 1996).

Para la discusión de los cambios en el contenido de FDN, celulosa y lignina que sigue a continuación, es preciso señalar que el bagazo utilizado antes del crecimiento del hongo tuvo la peculiaridad de que fue cocido a vapor en los hornos tradicionales de piedra de la mezcalera de Ipiña, Ahualulco, S.L.P. Esta mezcalera usa también un proceso de cocción de piñas mejor troceadas en autoclave, donde se anticipa que la cocción será mejor y más homogénea. El bagazo derivado de este proceso fue el que se uso por sus atributos deseables del tamaño de los trozos de bagazo lo cual facilita la infestacion de las hifas del hongo. Por los resultados del análisis de la composición química del bagazo posterior al crecimiento del hongo, se infiere que la cocción tiene un efecto en su composición y propiedades químicas que no se anticipó, por lo que estos resultados deberán verse con la reserva debida.

5.1 Análisis de varianza de FDN. Para analizar el efecto de tratamientos sobre la FDN del bagazo después de cosechar el hongo, y realizar las comparaciones entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de medias de acuerdo al procedimiento DMS. No existieron problemas en los datos de FDN en los supuestos de homogeneidad de varianza, de acuerdo con la prueba de Bartlett ($\chi^2 = 7.97$, 6 g.l. y $p = 0.017$) y normalidad mediante la prueba de Shapiro – Wilk ($W=0.9821$, $p = 0.492$). Hay diferencias en las medias de FDN entre los tratamientos del bagazo ($p < 0.01$, Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza de los datos de FDN de la producción del hongo ostra para el bagazo posterior al tratamiento con *Pleurotus*.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p
Entre	6	199,508	33,2514	4,11	0,0017
Dentro	56	452,549	8,08122		
TOTAL	62	652,057			

La comparación de medias por el procedimiento de diferencia mínima significativa (DMS) tuvo los resultados se muestran en la Figura 25. Los mejores tratamientos fueron los adicionados con sulfato de amonio, siendo el mejor el tratamiento Bsa3 ya que demuestra que se degradaron los compuestos no digeribles más eficientemente, por el hongo repercutiendo en un menor contenido de FDN y el peor (por su mayor contenido de FDN) fue el bagazo sin aditamento. Los tratamientos (Bb10, Bb20 y Bb30) tuvieron un efecto semejante en cuanto al contenido de FDN en el bagazo posterior al desarrollo del hongo.

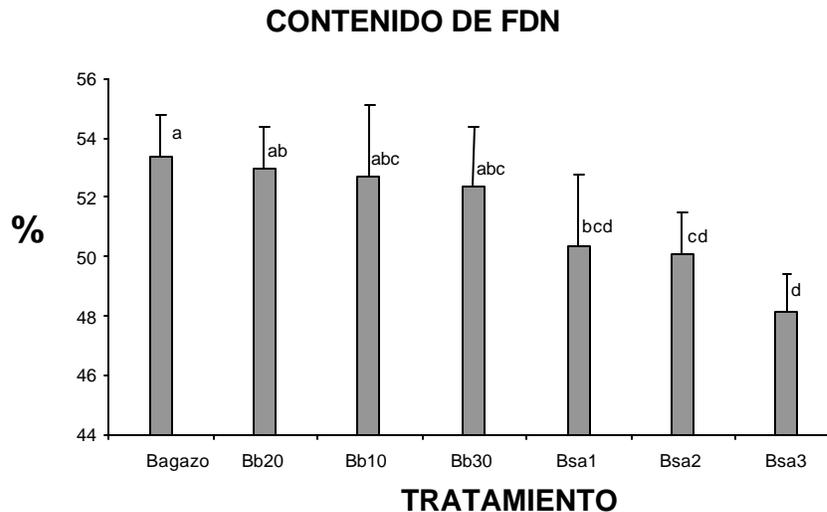


Figura 25. Grafico de contenido promedio de FDN del bagazo residual después del cultivo del hongo en los tratamientos. Las líneas sobre las barras corresponden a los errores estándar de las medias y las letras a los grupos de tratamientos formados mediante el procedimiento DMS; tratamientos con letras iguales no son diferentes estadísticamente ($p = 0.05$).

Las líneas sobre las barras representan los respectivos errores estándar de las medias. Las letras a, b, c y d, representan las comparaciones de medias de acuerdo con el procedimiento DMS. Tratamientos con igual letra no son diferentes estadísticamente en FDN con un 95% de confianza.

5.2 Análisis de varianza de celulosa. Para la celulosa no se cumplió la normalidad en los datos de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk ($W = 0.946$, $p = 0.0081$). La hipótesis de homogeneidad de varianzas de celulosa entre los siete tratamientos no fue aceptada, de acuerdo con la prueba de Bartlett ($\chi^2 = 15.44$ $p = 0.017$). Debido a esto se procedió a realizar una prueba no paramétrica, en este caso la prueba de Kruskal - Wallis que opera sobre los datos convertidos a rangos y examina la hipótesis de igualdad de las medianas de tratamientos; la hipótesis de medianas iguales es rechazada ($KW = 21.09$, 6 grados de libertad y $p = 0.0018$). El

resultado de la prueba del análisis de varianza por rangos indica que hay efecto de los tratamientos sobre el contenido de celulosa del bagazo después de tratado con el hongo ($p = 0.0005$, Cuadro 10). La comparación de medias de rangos (Figura 26) permite identificar grupos homogéneos de tratamientos por su contenido de celulosa. Los tratamientos que mostraron diferencia en contenido de celulosa después de tratados con el hongo son los de bagazo sin aditivo comparado con los niveles medio y alto de sulfato de amonio. Sin embargo, por los traslapos de los grupos formados no parece haber un efecto muy claro, aunque hay evidencia que disminuye la celulosa en el bagazo si se agrega alguna fuente de nitrógeno para el desarrollo del hongo. La fuente de nitrógeno inorgánico parece mejorar la acción del hongo sobre la celulosa.

Cuadro 10. Análisis de varianza de una vía basada en rangos (Kruskal – Wallis) para contenido de celulosa en el bagazo de maguey verde posterior a los tratamientos (sustrato remanente).

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p
Entre	6	7087,56	1181,26	4,81	0,0005
Dentro	56	13743,9	245,428		
TOTAL	62	20831,5			

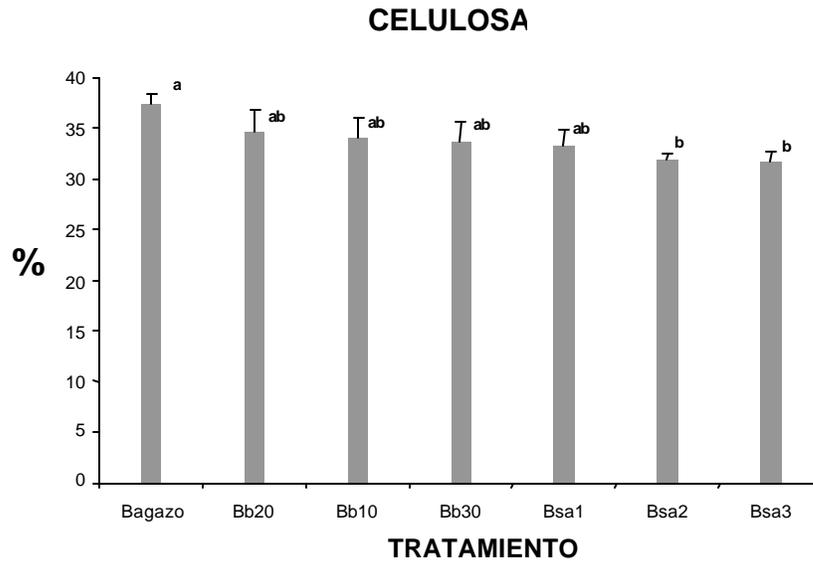


Figura 26. Contenidos de celulosa residual del bagazo después de tratado con el hongo. Las líneas sobre las barras representan los errores estándar de las medias de tratamientos; las letras corresponden a los grupos formados de la comparación de medias de rangos medios. Tratamientos con letras iguales no son diferentes estadísticamente ($\alpha = 0.05$).

5.3 Análisis de varianza de lignina. Para la lignina, al igual que la celulosa, no se cumplió la homogeneidad de varianza de acuerdo con la prueba de Bartlett ($\chi^2 = 12.67$, $p = 0.0486$). En este caso los datos se apegan a la distribución normal, de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk ($W = 0.978$, $p = 0.3185$). La falta de cumplimiento de la homogeneidad de varianza condujo a realizar una prueba no paramétrica, la prueba de Kruskal - Wallis. Los resultados indican que las medianas de tratamientos son diferentes estadísticamente ($KW = 30.03$, 6 grados de libertad y $p < 0.001$). El análisis de varianza del contenido de lignina transformado a rangos indica que los tratamientos son diferentes estadísticamente ($p < 0.001$, Cuadro 11). Los grupos de tratamientos del bagazo a partir de su parecido en contenido de lignina (Figura 27) indican que los tratamientos de

brócoli se relacionan con contenidos altos de lignina en el bagazo residual. En contraste, el bagazo sin tratar y el de nivel alto de sulfato de amonio presentaron los contenidos mas bajos de lignina. Esto indicaría que sin nitrógeno (bagazo solo) el hongo degrada más lignina y lo mismo sucede al agregar nitrógeno inorgánico.

Cuadro 11. Análisis de varianza de una vía basada en rangos (Kruskal – Wallis) para contenido de lignina en el bagazo de maguey verde posterior a los tratamientos con el hongo.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Entre	6	10180,7	1696,78	8,92	0
Dentro	56	10649,3	190,167		
TOTAL	62	20830			

Contenido de lignina en bagazo después del crecimiento de *Pleurotus*

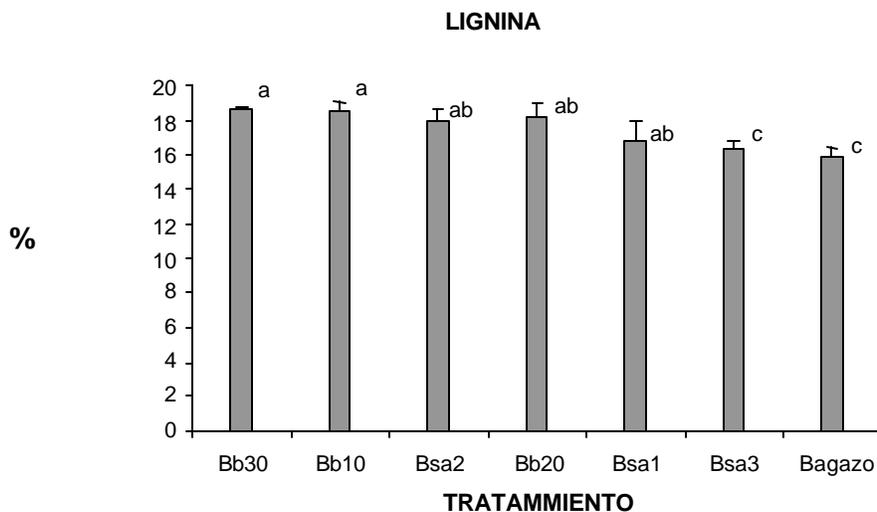


Figura 27. Contenidos de lignina residual del bagazo después de tratado con el hongo. Las líneas sobre las barras representan los errores estándar de las medias de tratamientos; las letras corresponden a los grupos formados de la comparación de medias de rangos medios. Tratamientos con letras iguales no son diferentes estadísticamente ($\alpha = 0.05$).

La degradación de lignina es importante debido a que como ya se mencionó es un compuesto que dificulta la degradación de la materia orgánica. La Figura 27 sugiere que cuando el hongo se desarrolla en bagazo sin suplemento hubo una mejor degradación de este compuesto, y probablemente un mejor aprovechamiento de este material. Un efecto semejante se observa para el tratamiento Bsa3. Las líneas sobre las columnas representan el error estándar, y que hay tres grupos, los cuales indican que hubo un efecto de tratamiento sobre el contenido de lignina en el bagazo después de tratado con el hongo.

VIII.- Discusión.

El maguey verde (*Agave salmiana*) es una de las 200 especies del género cuya peculiaridad son sus hojas lanceoladas, arregladas en forma de roseta alrededor de un tallo que no es evidente. Durante su vida (8 a 15 años) acumula reservas de carbohidratos en la base de las hojas y el tallo, que usaría para reproducirse sexualmente. Esta especie crece de manera silvestre en las zonas secas del Altiplano Potosino y se aprovechan en la producción de mezcal a partir de sus carbohidratos de reserva. Con este uso se inicia una cadena productiva que genera empleos, principalmente en el medio rural. Este procesamiento industrial origina dos subproductos, bagazo y vinaza con cierto impacto ambiental, pero sobre todo no son aprovechados, en un entorno ecológico donde el desperdicio no resulta racional. El bagazo es el residuo sólido que se produce en la molienda de las piñas cocidas para la extracción de las mieles, que luego son fermentadas y destiladas. Este material es de naturaleza recalcitrante debido a su composición ligno-celulósica, lo que propicia que se vaya acumulando gradualmente en las fábricas de mezcal. Comúnmente no tiene un uso bien definido y por lo regular es un residuo desperdiciado.

La generación de alternativas de uso de este subproducto, a la vez que pueden hacer un aprovechamiento más integral (persistente o sustentable) del maguey verde, resolvería un problema de impacto ambiental de la industria mezcalera y además de agregar opciones dentro de la cadena productiva. Los hongos, junto con las bacterias, son los organismos descomponedores por excelencia en las cadenas tróficas y los hay que se especializan en residuos ricos en lignina y celulosa, por tener la capacidad metabólica de degradar la pared celular. Es el caso de los del género *Pleurotus*, que crecen de manera natural sobre troncos y tocones de árboles en descomposición. Estos tienen la peculiaridad de ser comestibles y en

la actualidad están insertos en esquemas de comercialización atractivos. Sin embargo, no se ha probado la factibilidad de que crezcan adecuadamente sobre el bagazo de maguey verde, buscando en primer término obtener una opción alimenticia valiosa para los habitantes del medio rural de estas zonas, que no tienen la cultura del uso de hongos en su alimentación, y el aspecto de conservación de los recursos naturales. Este estudio se diseñó para valorar la capacidad del hongo para crecer sobre el bagazo del maguey verde, así como de evaluar métodos fáciles de acondicionar este sustrato para el desarrollo del hongo y su efecto en sus propiedades nutricionales.

Los hongos del género *Pleurotus* spp. son una alternativa importante para usar y tratar materiales que por su alto contenido de lignina y/o celulosa son recalcitrantes. Dentro de estos materiales están los bagazos de mezcal, tequila y caña, las pajas de cereales, los rastrojos y muchos otros subproductos de la industria. Por lo que de ser un problema ambiental el hongo ostra los puede transformar en un producto de alto valor nutrimental y económico. La utilización de *Pleurotus* spp. debe ser una alternativa, de bajo costo y altos rendimientos ecológicos, económicos y ambientales.

Una de las variables más evaluadas en el cultivo de este hongo es la eficiencia biológica (EB). Esta variable refleja la cantidad de biomasa fresca producida por unidad de materia seca (bagazo o paja de trigo). Se han reportado valores superiores al 100%, lo que refleja la efectividad del hongo sobre el sustrato utilizado. Este parámetro se determina de acuerdo al peso fresco del hongo, referido al peso seco del sustrato en porcentaje. (Martínez-Carrera 1988), reporta valores de EB para diferentes sustratos: de 195.95% para pulpa de café, 113.01% en hojas de limón, 113.64% en paja de carcomo y 102.68% en paja de cebada con pulpa de café. Guevara y col. (2000), reportan que la paja de sorgo tiene valores de 60%; Hernández y col. (2003)

reportan una EB 93.83%, para una mezcla de paja de sorgo con pulpa de café y 2% Ca(OH)_2 . Finalmente para la paja de trigo Royse y Vazquez. (2003) reportan 135% de EB.

La eficiencia biológica obtenida en este trabajo, con bagazo de maguey verde (*A. salmiana*) sin aditamento alcanzó 90%. Sin embargo al suplementar con 0.34% de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$, el valor máximo fue de 126.31%. Estos valores superan a lo estimado, de acuerdo con Lara y col. (2003); quienes reportan 69.1% para el bagazo de maguey azul *A. tequilana*; Martínez-Carrera, (1988), reportó una EB de 60.02% para el mismo sustrato.

Esta comparación con el bagazo del agave tequilero, se hizo porque las fibras de este material son posiblemente semejantes a las del bagazo de maguey verde, partiendo de que ambas son plantas CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas), del mismo género.

La diferencia en la EB de ambos bagazos el de maguey verde y el del maguey azul sin aditamentos, es en promedio del orden de 30%. Esta diferencia en los valores de EB para los dos tipos de bagazo de maguey puede estar relacionada a los procesos de extracción de mieles, en el caso del tequila el proceso es totalmente industrializado, dejando posiblemente menos recursos para el crecimiento del hongo, mientras que el proceso industrial en el caso del maguey verde sigue siendo de manera artesanal. Debido a esto puede encontrarse un mayor contenido de nutrientes en el maguey verde que pueden ser aprovechados por el hongo; por otra parte la inclusión de aditivos nitrogenados como el brócoli y el sulfato de amonio muy probablemente contribuyeron a la EB.

La incorporación del nitrógeno provocó una mejor infestación del micelio del hongo sobre el sustrato, siendo el aditivo brócoli el que presento un menor tiempo de incubación de 30 días en el tratamiento Bb30, mientras los tratamientos Bb10 y Bb20, presentaron 33 y 34

días respectivamente. Esto pudo deberse a que los ureidos del brócoli proporcionaron más fácilmente este elemento.

Para los tratamientos con sulfato de amonio y bagazo, el tiempo de incubación se postergó tres semanas, teniendo el tratamiento Bsa2 una permanencia de 49 días en dicha área. En cuanto a los dos tratamientos restantes Bsa1 y Bsa3 estos tardaron en promedio 51 días. Finalmente el tratamiento bagazo sin aditivo tardó 50 días, en dicha fase el tiempo de retraso en la incubación con sulfato de amonio respecto al brócoli es de 20 días. Estas observaciones son consistentes con la relación C:N y otros nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de *Pleurotus ostreatus*, incluyendo los de la pared celular (lignina, celulosa y hemicelulosa). Por lo que es muy probable que la disponibilidad de nutrientes es superior en el brócoli, comparado con el sulfato de amonio, ya que este aditivo orgánico no solo provee de nitrógeno, además proporciona otros nutrientes, los cuales son más rápidamente asimilados por el micelio del hongo, lo que acelera la infestación micelial.

El análisis proximal de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus* desarrollado en el bagazo resultó con buenas características alimenticias. Las proteínas estuvieron en el intervalo de 13.5-20.4%. Este valor no es despreciable si se considera que (Rodríguez N, y col. 1994), reportan 3.2%, de proteína en leche de vaca; (Peñate y col. 2000), reportan 17.2% de proteína en frijol. Siendo que los tratamientos adicionados con brócoli fueron los que presentaron un mayor contenido de proteína, los datos hallados durante este trabajo son comparables con los obtenidos por (Oliveira y col. 2002), quienes señalan 20.03% de proteína para el hongo sembrado en rastrojo de algodón; (Rios y col. 1993) reporta un 18.9%; (Stamenst y Chilton, 1983) reportaron 30.4% de proteína en paja de trigo.

El contenido de grasa en el cuerpo fructífero del hongo es muy variado por ejemplo (Rios y col. 1993) reportó 1.59% para paja de

trigo, en tanto que (Crisan y Sands, 1978, citados por (Miles y Shu-Ting, 1997), mencionan que se encuentran entre un rango de menos 1 y hasta 15%. Para el hongo ostra, los hallazgos de (Oliveira y col. 2002) indican un porcentaje 2.67%. Este trabajo de hongos producidos en bagazo de maguey verde promedio un 3.7% de grasa. Esto concuerda en lo general con lo encontrado por los autores ya citados, observándose también que la adición de compuestos nitrogenados no parece tener efecto sobre el contenido de grasa.

En cuanto al contenido de ceniza, se ha sugerido que en los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles se encuentra minerales, en concordancia con el contenido de minerales del sustrato (Breene, 1990) cita el trabajo de (Bisaria y col. 1987). Por su parte (Oliveira y col., 2002), reporta 7.03% en rastrojo de algodón, 5.86% en *Cymbopogon citratus* y 7.07% en *Panicum maximun*. El contenido de cenizas encontrado durante esta trabajo concuerdan con lo citado anteriormente ya que presenta un promedio de 7.2%, donde se determinó que los tratamientos no presentaron efecto sobre el porcentaje de cenizas.

Otro componente de importancia en el análisis proximal es el contenido de fibra dietaria. (Rios y col. 1993) señalan 25% de fibra en esta especie; el rango para esta variable es de 3-32%, de acuerdo con (Miles y Shu-Ting, 1997). Esta variable es de suma importancia ya que en la actualidad se ha descubierto que la fibra interviene en el proceso de asimilación de grasa, así mismo en la excreción de los alimentos. Por ello el contenido de fibra es un componente importante para la nutrición humana. Los resultados de este estudio indican que esta variable presento alguna relación con los tratamientos, ya que el bagazo sin aditivo y el Bb10 tuvieron un porcentaje de 16.57% y 16.59% de fibra respectivamente, mientras que los tratamientos adicionados con sulfato de amonio presentaron un mayor porcentaje, el más alto fue el Bsa1 con 19.25%. Esto puede tener relación con el

tiempo de incubación y con la invasión del micelio en el sustrato. Como ya se describió previamente el tiempo de incubación para estos tratamientos en la fase de incubación, el bagazo sin aditamento fue el que tardó mayor tiempo (51 días) con una mejor infestación. El tratamiento Bb10 presentó una baja infestación sobre el sustrato, aunque fue de los que tardaron menos en la fase de incubación.

Para los carbohidratos, que son importantes como fuentes de energía, se han encontrado valores de 57.6% en base seca para *P. ostreatus* (Miles y Shu-Ting, 1997). Estos valores son coincidentes con los resultados de este trabajo, el promedio fue de 53.5%, pero hubo asociación con los tratamientos aplicados al bagazo; el bagazo sin aditamento fue el más alto, con 58.70%, y el más bajo Bb30 con 50.62%. Esto puede estar relacionado con la disponibilidad de nitrógeno, ya que el bagazo sin aditamento tuvo menor suministro de este elemento, necesario para la síntesis de proteínas y al no poder hacerlo ocasiono que aumentara la cantidad de carbohidratos. El tratamiento Bb30 presentó un menor contenido de carbohidratos y un contenido alto de proteínas, por lo que estos dos componentes tienen correlación negativa, como se mostró en el análisis de componentes principales.

El análisis de digestibilidad *in vitro*, se realizó con el fin de obtener porcentajes de aprovechamiento de algún alimento. En particular (Mayela y col. 1999), reportó un porcentaje de $67.75 \pm 0.54\%$, de digestibilidad *in vitro* para *Pleurotus sp* cultivado en paja, mientras que la digestibilidad de *P. ostreatus* encontrada en el presente trabajo fue superior en 3 a 7%, teniendo un porcentaje promedio de 73.5%, sin que los tratamientos adicionados afectaran el porcentaje final. Este valor se puede comparar con la proteína de la leche, caseína, la cual se digiere en un 100% (Cuadra, 2000). El tratamiento testigo de paja de trigo, fue el que tuvo el valor más alto de digestibilidad 79% y los valores más bajos en el hongo que creció

en los tratamientos de sulfato de amonio, con 73.6%, y no hubo mucha diferencia entre los tratamientos de bagazo con una oscilación de una unidad porcentual. Un resultado interesante derivado del análisis de componentes principales de las variables nutricionales es que la digestibilidad mostró una correlación negativa con el contenido de fibra del hongo

Como se mencionó con anterioridad el hongo *Pleurotus ostreatus*, es un organismo que tiene preferencia por las fibras lignocelulósicas, y principalmente por la lignina. Su crecimiento sobre este tipo de sustratos da lugar a una transformación (degradación) que es importante mencionar, ya que al hacerlo el hongo incorpora los nutrientes al medio y finaliza los ciclos biogeoquímicos pasando de moléculas complejas a elementos los cuales son de fácil asimilación por otros microorganismos. En el caso particular de la fibra del bagazo de maguey verde, no se tiene referente de estudios previos para basarse y compararlo. Sin embargo, durante esta investigación se realizó un análisis químico al sustrato remanente para determinar el contenido de celulosa, lignina, además del análisis de fibra detergente neutra (FDN). Estos análisis son importantes para determinar el valor nutritivo de los forrajes para consumo animal y son medidas de la composición de la pared celular y en este estudio se tomarán como indicadores del grado de degradación del bagazo del maguey verde por el hongo ostra.

La caracterización inicial del bagazo (valores medios y errores estándar de cinco muestras) indicó un 45.45% (± 2.94) para FDN, 37.27% (± 2.31) de celulosa, 8.15% (± 0.64) de lignina. Para el bagazo de maguey tequilero, (Lara y col. 2003), citan a Turrado y Salcedo (1973), que encontraron que el bagazo de maguey tequilero contiene 41% de celulosa y 30% lignina, no dan valores de FDN porque es un concepto más de nutrición animal que de sustrato para hongos. El contenido de celulosa es comparable, pero la lignina no.

La lignina no es un carbohidrato, sino un compuesto polimérico amorfo y de alto peso molecular, formado por unidades de fenilpropano unidas mediante enlaces de carbono (C-C) o de éter (C-O-C). Es el principal componente de la pared celular que tiene las funciones de resistir al ataque microbiano y dar resistencia mecánica a la pared celular. El tejido fibroso del maguey azul tiene más lignina tal vez para darle mayor resistencia al ataque microbiano, ya que su hábitat está en climas más cálidos, además de que al ser un ambiente con menos restricciones, la especie puede canalizar más recursos a la síntesis de este compuesto estructural, que además le es de utilidad para lo ya sugerido. Ésto indica que los sustratos no son iguales y tal vez tampoco la respuesta del hongo ostra a ellos. El análisis del sustrato remanente (después de la producción de *Pleurotus ostreatus*) mostró lo siguiente en este estudio. Primero se verán las cifras globales y luego por efecto de los tratamientos al bagazo. La FDN fue de 51.37% (± 0.57), para lignina 18.67% (± 0.44) y para celulosa de 34.32% (± 0.47). La pared celular fue más fácil de digerir por el método químico usado. Esto indica que en promedio los tratamientos del bagazo para facilitar la acción del hongo propiciaron cambios en la pared celular. La FDN es una medida de los constituyentes totales de la pared celular (lignina, celulosa y hemicelulosa). Si se comparan ambas cifras de FDN indicaría que el sustrato remanente incrementó casi en un 6% los constituyentes de la pared celular, que determina el método de Goering y Van Soest (1970).

Los niveles registrados de lignina muestran que ésta se incrementa en el bagazo con la acción del hongo ostra en casi un 10%. La interpretación de este resultado es que el hongo, aunque catalogado como lignífero, no actúa primariamente sobre la lignina del bagazo. El contenido de lignina en porcentaje incrementa en el bagazo después de que el hongo se cosechó, debido a que

disminuyen otros componentes, o sea que aumenta en proporción aunque en forma global es probable que haya disminuido (dato no evaluado). Otra posible explicación de este incremento es que como se mencionó con anterioridad las muestras utilizadas para el crecimiento del hongo fueron cosidas en autoclave lo que probablemente pudo ocasionar modificaciones en su estructura química lo que posiblemente se reflejó en el análisis químico del producto ya utilizado por el hongo, mientras que el bagazo analizado previo al uso por el hongo, se coció en hornos y no en autoclave. El estudio de la lignina ha sido el foco de estudios biotecnológicos, utilizando no solo *Pleurotus* sino también otros hongos. El proceso de biodegradación envuelve procesos enzimáticos, en los cuales intervienen enzimas específicas como las peroxidasas y las lacasas.

Como se indicó, la lignina es el más recalcitrante de los compuestos que forman las paredes celulares de las plantas. Su contenido en los materiales es una medida de su biodegradabilidad. Actúa incluso como una barrera para la acción enzimática sobre otros materiales menos recalcitrantes, por ejemplo la celulosa. Ahora se interpretarán las diferencias entre tratamientos para la composición química del sustrato remanente. Los valores altos de lignina en el bagazo remanente indicarán que la acción del hongo ostra sobre otros materiales digeribles en ese tratamiento fue alta, y que tuvo mayor efecto de concentración sobre la lignina. Los valores altos de FDN son consecuencia de este incremento de la lignina en el bagazo remanente. De los resultados obtenidos se observó que esta variable fue en la que se tuvo mayor efecto de tratamientos del bagazo. Ocurrió una diferencia del orden del 5% en el contenido de FDN, pero fue suficiente para que los tratamientos de bagazo sin aditivo y el del nivel alto de nitrógeno inorgánico (Bsa3) tuvieran diferencias altamente significativas de FDN. Si se coteja esta información con la de la EB se nota que el tratamiento Bagazo fue de los menores en

rendimiento del hongo y en FDN fue el más alto, y éste fue el tratamiento que estadísticamente tuvo menor cantidad de lignina remanente respecto a los otros componentes. Cuando se agregó nitrógeno en forma inorgánica al nivel alto (Bsa3) fue el más bajo en componentes solubles de pared celular (FDN = $48.17 \pm 1.24\%$), el más bajo en celulosa (37.5%) y en lignina (16.3%), dentro del grupo del tratamientos de sulfatos. Este tratamiento del bagazo produjo la mayor EB y degradó mejor el sustrato. El contenido proteico en los cuerpos fructíferos producidos en este tratamiento no es de los mejores pero es bueno. Para este mismo tratamiento del bagazo adicionado con N inorgánico el contenido de carbohidratos en los cuerpos fructíferos obtenidos fue intermedio. Por todo lo anterior, el mejor tratamiento en degradación del bagazo y niveles intermedios a buenos de las variables del análisis proximal es el de nivel alto de sulfato de amonio.

En todo caso algo sucede con las fracciones que el método químico usado (Van Soest, 1963) determina como ligninas o el de FDN (Goering y Van Soest. 1970), respecto al modo de nutrición del hongo. Como ya se indicó estos métodos son los que se usan en el campo de la nutrición animal y en específico de los rumiantes, que tienen un consorcio microbiano que actúa de manera diferente sobre los componentes de la pared celular. En este campo de la investigación de la nutrición del hongo y los métodos químicos para calibrarlos y correlacionarlos con lo que el hongo asimila en biomasa y componentes nutricionales, requiere de posteriores refinamientos de la técnica experimental. Por ejemplo, de acuerdo con (Van Soest, 1982) hay diferencias entre las ligninas de gramíneas y de leñosas que radican en que la matriz núcleo de las primeras, hay ácidos fenólico, p-cumárico y ferúlico, así como aminoácidos. Esto puede conducir a una mayor biodegradabilidad por la presencia del nitrógeno, aunque el tratamiento de esterilización con calor puede

conducir a una reducción en su disponibilidad (Castro, 1994). Para los objetivos de este proyecto, los resultados encontrados son halagadores en el contexto de una aplicación a corto plazo, que están más próximos a la investigación aplicada, sobre todo para productores que no buscan optimizar factores finos de la producción del hongo ostra, donde incluso el factor cepa de cada especie y las condiciones climáticas van a jugar de un mayor control de las condiciones ambientales tanto en la fase de incubación como de fructificación.

IX.- CONCLUSIONES

El presente trabajo demuestra que:

1. El hongo ostra tiene una adaptabilidad amplia a distintos tipos de sustratos, ha dado buenos resultados en materiales con contenidos variados de celulosa y lignina. El bagazo de maguey verde fue un buen sustrato con su 8.15% de lignina y 37.3% de celulosa. Esta composición por si sola tiene los atributos necesarios para el crecimiento y desarrollo adecuado del *Pleurotus ostreatus*, ya que sin suplemento el bagazo tuvo una eficiencia biológica superior a 90%.
2. Los aditivos nitrogenados agregados al bagazo permitieron que el tiempo de incubación se redujera y la que velocidad de infestación del hongo sobre el sustrato fuera mayor. En este sentido el mejor tratamiento fue al bagazo acondicionado con 30% de brócoli. Por otro lado la mejor eficiencia biológica se obtuvo con el bagazo adicionado con sulfato de amonio a la concentración de 0.34% en base seca del bagazo. Sin embargo el tiempo de incubación fue mayor y la velocidad de infestación fue más lenta.
3. Los tratamientos de bagazo con brócoli presentaron los cuerpos fructíferos con la mayor concentración de proteínas (29%), superando casi en 10% a los de bagazo sin aditivo. Los valores de carbohidratos presentaron valores inversos respecto a los de proteínas en los diferentes tratamientos, es decir el bagazo solo tuvo valores altos de carbohidratos (52.8%) y bajos de proteína (19.4%). La digestibilidad *in vitro* de las proteínas en promedio fue de 73% y no mostró cambios con respecto a los tratamientos; otras variables del análisis proximal tampoco mostraron cambios importantes con los diferentes tratamientos evaluados.

4. La composición química del sustrato remanente mostró en general un incremento en la concentración de la lignina, como consecuencia de la acción diferencial del hongo sobre otros componentes por lo que este incremento se supone es en porcentaje relativo a otros componentes que fueron utilizados durante el desarrollo del hongo, pero se asume que el contenido global debe disminuir. La ausencia de suplementos nitrogenados repercutió en una menor degradación del bagazo. Por el contrario, la adición de fuente de nitrógeno orgánico con el brócoli al 30% mostró la mayor evidencia de degradación del bagazo (alta concentración relativa de lignina y baja de celulosa).
5. Por todo lo anterior, el bagazo de maguey verde es un buen material para el establecimiento y desarrollo del hongo ostra, lográndose una mejor eficiencia biológica y calidad nutritiva si se adiciona con fuentes nitrogenadas que equilibren su relación carbono:nitrógeno. Esta alternativa es sustentable porque se generan una opción de uso de un desperdicio actual de la agroindustria mezcalera, a la vez que se obtienen beneficios ambientales y socioeconómicos.

X.- PERSPECTIVAS

Se recomienda realizar este trabajo en otra época del año para observar como se modifica la eficiencia biológica y la degradación del bagazo ya que el sustrato puede presentar diferentes características.

Es recomendable estudiar otras cepas de *P. ostreatus* que sean más eficientes, no solo para la degradación de lignina y celulosa sino con una mejor calidad y cantidad de cuerpos fructíferos. Es probable que haya otras cepas mejoradas que permitan la obtención de mayores rendimientos (EB) y con una mayor capacidad de degradación de los compuestos lignocelulósicos del bagazo de maguey verde.

Con base en la composición del sustrato remanente realizada en este trabajo, es recomendable evaluar la posibilidad de forzar otro ciclo de crecimiento de cuerpos fructíferos. Para ello, al término de la fase de fructificación del hongo habría que regresar las bolsas al área de incubación para observar si ocurre la emisión de nuevos cuerpos de fructificación. El contenido de lignina y celulosa remanentes permite sospechar que es posible que esto sea posible y que se pueda degradar mejor el sustrato con una segunda fase de crecimiento del hongo.

Una opción de uso del sustrato remanente que no fue posible evaluar en este estudio, fue la de destinarlo al término de la fase de producción de hongo como alimento para rumiantes. Para otros sustratos se han encontrado buenos resultados debido a que sigue habiendo componentes de lignina y celulosa por degradar en el sustrato además de que los restos de las hifas del hongo le dan valor nutricional agregado al resto del sustrato.

La transferencia de la tecnología a los productores en las condiciones actuales, requiere de la participación de alguna institución u organización que realice al menos parte de la fase de

incubación y se encargue del resguardo de la cepa, ya que resulta crucial su conservación para que no se deteriore. No es posible obtener esporas de los cuerpos fructíferos para ser usada en ciclos posteriores de cultivo del hongo.

XI.- BIBLIOGRAFÍA.

- Anónimo 2002 Manual de Hongos comestibles Edit. UAM
- Aguirre, R. J. R., Charcas, S. H., y Flores, F. J. L. 2001 El maguey Mezcalero Potosino. Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología, Gobierno del Estado de San Luis Potosí, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Alexopoulos, C.J. & MIMS, C.W. 1996. Introductory mycology. 4ª edición. John Wiley & Sons, Nueva York. Pp.
- Ancona M,L., 1997 Cultivo de *Pleurotus* en la zona rural de Yucatán. memorias del IV congreso nacional de micología/IX jornadas científicas. tapachula, Chiapas. México. pp 143.
- Association Official Analytical Chemists 1990. Official methods of analysis. 15 th edition. pp. 1103-1106.
- Association of Official Analytical Chemists 1985. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. 12th Ed. Washington, D.C. US Government Printing Office.
- Association of Official Analytical Chemists 1984. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. 14th Ed. Arlington, VA, 834.
- Association of Official Analytical Chemists 1970. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C. 11th Ed. Washington, D.C. US Government Printing Office.
- Secretaría de Salud. 1990. Control físico-químico de alimentos diversos. métodos generales. México, D.F. pp. 6-16, 22- 26.
- Bano Z.1967 Studies on mushrooms with particular reference to cultivation y sumerged propagation on *Pleurotus flabellatus*. Ph. D. Thesis. University of Mysore, India.
- Banci, L Camarero, S. Martínez T, A. Martínez J, M. Perez B,M. Pierattelli R. Ruiz D, J. f. 2003 NMR Study of manganases II Binding by a new versatile peroxidase from the white rot fungus *Pleurotus eryngii* J. Biol Inorg Chem 8: 751-760.
- Barrasa J.M. Gutierrez A. Escaso V. Guillen F. Martinez M.J. y Martinez A.T. 1998 Electron y fluorescente microscopy of extracellular glucan y aryl alcohol oxidase during wheat straw degradation by *Pleurotus eryngii* Appl.ed. . y Enviromental Microbiology pp 325-332.
- Bartholomai G,B. 1974 Efecto del escalado sobre la cinética del secado y la capacidad y la calidad de champiñones deshidratados en corriente de aire y por liofilización. ATA 14(3) 429-438.
- Beber, H,G. y Sinitsyn, A.P.1993 Mn-peroxidase from *Pleurotus ostreatus*: the action on the lignin. Biotechnol Lett 15: 289-294.
- Bermúdez, S. R. C.,Morri, Q. H., Donoso, F. C., Martinez, M. E. C., Ramos, S. E. 2003 Influencia de la luz en la calidad proteica del *Pleurotus ostreatus* var florida. Rev. Cubana Invest Biomed 22(4): 226-231.
- Bisaria R, Madan M, Vasuden P. 1997 Utilisation of agro-residues as animal feed through boconservation. Bioressour Technol 59:5-8.
- Bobek P, Ozdin O, Kunial I. 1995 Antioxidative effects of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* on the hypocholesterolemic rat Pharmazie 50: 441-442.
- Bobek P, Ozdin O, Mikus M. 1995 Dietary oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) accelerates plasma cholesterol turnover in hypercholesterolaemic rat. Physiol Res. 44(5):287-91.

- Bobek P, Ozdin L, Kajabal. 1997 Dose-dependent hypocholesterolaemic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rats. *Physiol Res.* 46(4):327-9
- Block, S.S. 1958."Production of mushrooms from sawdust". *J. Agric. Fd. Chem.*, 6: 923–927
- Camarero, S., Ruiz, D.F.G., Saker, S., Martínez, M. J., y Martínez, A.T. 2000 The cloning of a new peroxidase found in lignocellulose cultures *Pleurotus eryngii* and sequence comparison with other fungal peroxidases. *FEMS Microbiol Lett* 191: 37-43.
- Breene, W.M. 1990. Nutritional and medicinal, value of specialty mushrooms. University of Minnesota, Paul, M.N. *Journal of Food Protection*, 53(10): 883-894
- Camarero, S., Ruiz D. F. G., Saker, S., Martinez, M.J., y Martinez, A. T. 2000 The cloning of a new peroxidase found in lignocellulose culres of *Pleurotus eryngii* and sequence comparison with other fangal peroxidases. *FEMS* 191: 37-43
- Caramelo L. Martinez J.M. y Martinez T, A. 1999 A search for ligninolytic peroxidases in the fungus pleurtus eryngii Involving a – Keto – ? – thiomethybutyric acid and lignin model dimmers *Appl.ed. y Environmental Microbiology* pp 916-922.
- Cardona, L.F. & Bedoya, A. 1996. Producción de orellanas (*Pleurotus ostreatus*), deshidratadas y condi-mentadas. 88p.: il. Trabajo de grado M.Sc. (Ciencia y Tecnología de Alimentos). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Cardona, L,F 2001 Anotaciones bromatologicas para el hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. *Cronica forestal*. 16
- Carpita C, N y Gibeaut M, D. 1993 Structural models of primary cell walls in plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth *The Plant Journal* 3 (1) 1-30.
- Cappello G, S. 2003 ¿Son los hongos macroscópicos un peligro o un beneficio para la salud? Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Castro F. B. 1994. The Use of steam treatment to upgrade lignocellulosic materials for animal feed. Doctor of Philosophy Thesis. University of Aberdeen, U.K. pp. 214.
- Chang S,T. 1999 Global impact of edible and medicinal mushroom on human welfare in the 21 st century: nongreen revolution. *Int J Med Mushroom* 1: 1-8.
- Chang S,T. 1999 World production of cultivated edible y medicinal mushroom sing in China *Internacional journal. Med. Mush.* 1:291-300.
- Chang S,T. Buswell, J. Miles, G.P. 1993 Genetics and breeding of edible mushroom. Gordon y Breach Science Publisher. Printed in the United States of America. pp 324.
- Chang S,T. y Miles P,G. 1992 Mushroom biology a new discipline *Mycologist* 6: 64-65.
- Chang S. y M. Hayes. 1978. The Biology and cultivation of edibles Mushroom. Academic Press, N. pp.521–557.
- Crisan E, B. y A. Sys 1978 Nutritional Value. In: S.T. Chang, y W.A. Hayes (Eds.). The Biology and cultivation of mushrooms. *Academic Press*, New York.
- Cohen R, Hadar, Y. yarden O. 2001 Trancript and activity levels of different *Pleurotus ostreatus* peroxidases are differentially affected by Mn²⁺ *Enviromental Microbiology* 3 (5) 312-332.

- Cohen R, Persky, L. Hadar, Y. 2002 Biothechnological Applications and potencial of wood degrading mushroom of the genus *Pleurotus*. Mini review Appl. Microbiol Biotechnol 58:582-594.
- Cohen R, Yarden O. y Hadar, Y. 2002 Lignocellulose affects Mn²⁺ regulation of peroxidases transcript level in solid state cultures of *Pleurotus ostreatus*. Appl. Microbiol Biotechnol pp 3156-3158.
- Decloux M. Bories A. Lewyowski R. Fargues C. Mersad A. Lameloise M. Bonnet F. Dherbecourt B. Nieto L. 2002 Interest of electro dialysis to reduce potassium level in vinasses preliminary experiment. Desalination 146 Bioresource Technology 91 pp. 393-398.
- Del Pino, V. Lajolo, y Franco M. 2003. Inhibitory effect of *Carioca bean tannins* on phaseolin digestibility assessed by two multi-enzymatic systems. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* vol.23, No.1, p.49-53.
- Ebrard M. 1996. El Alimento de los dioses. *Cuaderno de Nutrición* 19 (6): 7-11.
- Flores F, J, L. 2002. El maguey mezcalero y sustentabilidad en el altiplano potosino. Reportes del IPICYT # 1, pp. 53-61.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 3ª edición UNAM, México.
- García-Mendoza, A. 2002. Distribution of *Agave* (*Agavaceae*) in México. *Cactus y Succulent Journal*, 74: 177-187.
- Gaitán, H
- Gentry, H. S. 1982 *Agaves of continental North America* University of Arizona, Tucson, Arizona. USA. p 670
- Gallegos T, Santiago, P. Jessé, B. Ancona, D. 2004 Extracción y caracterización de las fracciones proteínicas solubles del grano de *Phaseolus lunatus* L. *ALAN*, mar. vol.54 p.81-88.
- Goodland, R. y H. Daly. 1996. Environmental sustainability: universal y non-negotiable. *Ecol. Appl.* 6:1002-1017
- Goering H.K. and P.J. Van Soest. 1972. Forage fiber analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications). *Agricultural handbook*. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. pp 20.
- Goodly, R. y H. Daly. 1996. Environmental sustentability: universal y non-negotiable. *Ecol. Appl.* 6:1002-1017.
- Guevara, G. G., Zuñiga. M. A. G., Castillo. T. J. 2000 Técnica simple para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) Qummer en paja de sorgo (*Sorghum vulgare Pers*)
- Gunde, N. y Cirmermna, A. 1995 *Pleurotus* fruiting bodies contain the inhibitor of 3 hidroxy-3methyl glutaryl-coenzima a reductasa- lovastatin *Experimental Mycology*, 1: 1-6
- Guzmán, G. 1981. Hongos de la Península de Yucatan. II nuevas exploraciones y adiciones micológicas. *Biótica*. Vol. 8.
- Guzmán G., Mata G., Salmones D., Soto-Velazco C. y Guzmán-Dávalos L. 1993. El cultivo de los hongos comestibles con especial atención a las especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agroindustriales. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Guzmán G, 1995 La Diversidad de hongos en México. *Ciencias* No 39 julio-septiembre 52-57.

- Guzmán G, 1996 ¿Cuántos hongos crecen en México? Ciencia y Desarrollo. 21 127: 86-89.
- Hadar Y. y Cohen A. 1986 Chemical composition of the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* produced by fermentation. Applied y Enviromental Microbiology pp 1352-1354.
- Hadar, Y., Kerem, Z. y Gorodecki, B 1993. Biodegradation of lignocellulosic agricultural wastes by *Pleurotus ostreatus*. J. Biotech. 30: 133-139.
- Heinfling, A. Ruiz Dueñas, F.J. Martínez, M.J., Berbauer, M., Szewzyk, U., y Martínez, A.T. 1998 A study on reducing substrates of manganese-oxidizing peroxidases from *Pleurotus eryngii* y *Bjerkya adusta*. FEBS 428: 141-146.
- Hernández, D. Sánchez J. E. Yamasayi K. 2003 Bioresource Technology 90 145-150
- Herrera, T. Y Ulloa, M. 1990 el Reino de los hongos micología básica y aplicada Edit. Fondo de Cultura Económica. México pp 552.
- Herrera, A. K. Godoy, M. C. 1997 Cultivo de una cepa mexicana de *Pleurotus ostreatus* utilizando como sustrato aserrín de caoba y cedro; fibra de coco y olote de Maíz, memorias del IV congreso nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. pp 141.
- Hobbs, Christopher, y Miovic, M. 1995. Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing and culture. Third edition. Botanical Press, Santa Cruz, CA. pp 252.
- Hsu H, Vavak D, Satterlee L, Miller GA. 1977 Multienzyme technique for estimating protein digestibility. J. Food Sci 42: 1269-1279.
- Iliangovan K. Linerio J. Alvarez E. Briones M. Noyola A. 1996 Anaerobic treatment of tequila vinasse. Environmental biotechnology y cleaner bioprocesses pp 100-106.
- Iliangovan K. Linerio J. Álvarez E. Briones M. Noyola A. 1996 Biodegradación de compuestos orgánicos industriales. Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 38-51.
- Jalc, D. F, Nerud, P. Erbanova y P. Soroka. 1996. Effect of white-rot basidiomycetes-treated wheat straw on rumen fermentation in artificial rumen. Reprod. Nutr. Dev. 36: 263-270.
- Jackson, M.G. 1977. Review article: The alkali treatment of straws. Anim. Feed Sci. Technol. 2: 105-130.
- Karacsonyi, S. Y Kuniak, L 1994 Polysaccharides of *Pleurotus ostreatus*: isolation y estructura of pleuran, an alkali-insoluble beta-D-glucan. Carbohydr Polym 24:107-111.
- Kaul T.N. 1997 Introduction to mushroom science. Enfield, New Hampshire: Science Publishers, Inc.,
- Kerem, Z., Friesem, D. & Hadar, Y. 1996. Lignocellulose degradation during solid-state fermentation: *Pleurotus ostreatus* versus *Phanerochete chrysosporium*. Applied and Environ. Microbiol., 58(5): 1121-1127.
- Kerem, Z y Hadar, Y. 1996. Extracellular manganese peroxidase y glyoxal oxidase produced by *Pleurotus ostreatus* in chemically defined SSF. Presented at the Proceedings of the 6th ICBPPI, Vienna, Austria, pp. 369-372.
- Kerem, Z., Hadar, Y 1993 Effect of mandanase on lignin degradation by *Pleurotus ostreatus* during solid state fermentation. Apply. Environ Microbiol 59: 4115-4120.

- Krasnopolskaya, L.M, Makeeva A. P, Lvova N. A, Abramova E. A, Kodjina E. V. 1998 Macromycetes new productores of inhibitor of cholesterol biosynthesis lovastatin In: Proc 6^h Int Mycol Congr. IMC Jerusalem, p 165.
- Kutlu R H, Görgülü M., Bayacal L Özcan N 1999 Efects of *Pleurotus florida* inoculation or urea treatment on feeding value of wheat straw. Turk Journal Vet Anim Sci 24:169-175.
- Lara, G. Arias, G. y Villaseñor, 1997 Cultivo de *Pleurotus spp.* Sobre Masilla de Cerveza y Bagazo de Maguey Tequilero, Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas.
- Lara, H. Mata, G y Gaitan H. R. 1998 Evaluación del efecto de la criopreservación de cepas de *Pleurotus sp* sobre la producción de carpóforos. Rev. Iberoam. Micol 15:44-47
- Leal-Lara, H. 1985 La utilización microbiológica de desperdicios lignocelulósicos. Potenciales y Perspectivas. En: Prospectiva de la Biotecnología en México. Fundación Barrios Sierra. CONACYT. México, D.F.
- Leal-Lara, H. 2000. Aspectos críticos de la producción comercial de setas a pequeña y mediana escala. La importancia de la investigación científica y de la estructura de los costos de producción. Memorias del I Simposio Latinoamericano de Cultivo de Hongos Comestibles. Xalapa, Veracruz, México.
- Leong P,C.1982. Cultivation of *Pleurotus* mushroom on cotton waste substrate in Singapore. En Chang S.T and H. Quimio. Tropical mushroom, biological nature and cultivation methods. Hong Kong The Chinese University Press. p.p.349-359.
- Lin WH, 1990. Dimerization of the N-terminal amphipathic alpha-helix domain of the fungal immunomodulatory protein from *Ganoderma tsugae* (Fip-gts) defined by a yeast two-hybrid system and site-directed mutagenesis. J Biol Chem 272(32), 20044-20048.
- Mata G. y Martínez D. 1998 Estimación de la Producción anual de Residuos agroindustriales potencialmente utilizables para el cultivo de hongos comestibles en México Rev. Mex. Mic. 4: 287-296.
- Martínez V., E. 1983. Análisis de los sistemas de producción en la cuenca lechera de San Luis Potosí. Tesis profesional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México pp.87.
- Martínez-Carrera, D. 1984. Perspectivas sobre el cultivo de hongos comestibles en residuos agroindustriales en México. Bol. Soc. Mex. Mic. 19: 207-219.
- Martínez, C. D. 1985 Cultivo de *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café con paja como sustrato, Rev. Mex. Mic. 1:101-108.
- Martínez, C. D. 1988 Hibridación entre cepas de *Pleurotus ostreatus* de México y Guatemala, Rev. Mex. Mic. 4:281-286.
- Martínez-Carrera, Larqué-Saavedra A. 1990 Biotecnología en la Producción de Hongos Comestibles. Ciencia y Desarrollo. XVI (95), 53-64.
- Martínez-Carrera, D., Morales, P. y M. Sobal. 1990. Cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre bagazo de caña de azúcar enriquecido con pulpa de café o paja de cebada. Mic. Neotrp. Aplic. Vol. 3.
- Martínez-Carrera, Larqué-Saavedra A. Morales P. Sobal M. Martínez W. y Aguilar A. 1993 Los Hongos Comestibles en México: Biotecnología de su Reproducción. Ciencia y Desarrollo. XVIII (108): 41-49.

- Martínez, A.T., Camarero, S., Guillen, F., Guitierrez, A., Muñoz, C., Varela, E. 1994 Progress in biopulping of non-woody material- chemical, enzymatic y ultra-structural aspects of wheat straw delignification whit ligninolytic fungi from the genus *Pleurotus*. FEMS Microbiol Rev 13 256-274.
- Martínez-Carrera 1997 Producción de *Pleurotus* en México, memorias del IV congreso nacional de micología/IX jornadas científicas. Tapachula Chiapas. México pp 30
- Martínez D., I. y D. A. Chávez V. 2001. Uso de residuos de la elaboración de mezcal en la alimentación de borregas. Tesis profesional. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., México. pp 49.
- Manual de Hongos comestibles Edit. UAM 2002 Autor anónimo.
- Mayela, B.J., Alanís, M.G., González de M., E., García, C.L., Martínez, F. y Barbosa, E. 1999. Calidad proteínica de tres cepas mexicanas de setas (*Pleurotus ostreatus*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 49(1): 81-85.
- Miles, P.G. & Shu-Ting, Ch. 1997. Biología de las setas. Fundamentos básicos y acontecimientos actuales. Hong Kong. *World Scientific*. p 133.
- Mizuno T. 1996 Development of antitumoral polysaccharides from Mushroom fungi. Foods Food Ingred J Jpn 167:69-85.
- Mizuno T. 2002 Medicinal properties y clinical effects on *Agaricus blazei*. Murr. Int J Med Mushroom Vol. 4.
- Olivier-Laborde (1991) <http://setascultivadas.com/articulojunio2003.html>
- Oliveira S, S. Gomes de Costa M,S. y Clemente E. 2003 Chemical composition of *Pleurotus pulmonaris* (Fr.) QuéL., substrates y residues after cultivation Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal Vol 45 No. 4 pp 531-535.
- Obodai M, Cleland-Okine J, Vowotor KA. 2003. Comparative study on the growth and yield of *Pleurotus ostreatus* mushroom on different lignocellulosic by-products. Ind. Microbiol. Biotechnol. 30(3):146-149
- Okuda, T., Yoshioka, Y., Ikekawa, T., Chiara, G. y Nishioka, K. 1972. Anticomplementary activity of antitumor polysaccharides. Nature, 238 (80): 59-60.
- Okuda, T., Yoshioka, Y., Ikekawa, T., Chiara, G. y Nishioka, K. 1972. Anticomplementary activity of antitumor polysaccharides. Nature, 238 (80): 59-60.
- Okhuoya J.A. y Okogbo F. O. 1990 Cultivation of *Pleurotus tuber-regium* (Fr) sing on various farm wastes Department of Botany, University of Benin, PMB. Proc. Okla. Acad Sci 71: 1-3.
- Opletal, L., Jahordar, L., Chobot, V., Zdansky, P., Lukes, J., Bratova, M., Solichova, D., Blunen, G., Dacke, C.G. y Patel, A.V. 1997. Evidence for the hyperlipidemic activity of the edible fungus *Pleurotus ostreatus*. British Journal of Biomedical Science, 54(4): 240-243.
- Paulik, S. Svrcek, S Mojzisoava J, Durote A, Benishek, huska M 1996 The immunomodulatory effect of soluble fangal glucan *P. ostreatus* on delayed hypersensitivity y phagocytic ability of blood leukocytes in mice. Zentralbl Veterinaermed Reihe B 43: 129-135.
- Przbylowski, P y Donoghue, J. 1989 Shiitake Growing Hybook: The Art and Science of mushroom cultivation. Kendal Hunt, Dubuque, Iowa.

- Przybylowicz, P, y Donoghue J. 1990. Shiitake growers handbook. Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, IA. pp 217.
- Pelaez, F. Martínez, M.J., y Martínez A.T. 1995 Screening of 68 species of basidiomycetes for enzymes involved in lignin degradation. *Mycol Res* 99 37-42.
- Platt, M.W., Hadar, Y., y Chet, I. 1984 Fungal activities involved in lignocellulose degradation by *Pleurotus*. *Appl. y Microbiol Biotechnology* 20 150-154.
- Rajaratnam S, Bano Z. 1987. *Pleurotus* mushrooms. Part I A. Morphology, life cycle, taxonomy, breeding and cultivation. *Critical review of Food Science and Nutrition* 26:157-223.
- Ramales O, Martín C y Barragán R, M. 2002 "*La Industria del mezcal y la economía Oaxaqueña*"
- Rojas de Perdomo, L. 1994. *Cocina prehispánica historia de la cocina*. Bogotá, Colombia. Voluntad. pp 237.
- Rodríguez S, Fernández M. Bermudez, R. y Morris H. 2003 Tratamiento de efluentes industriales coloreados con *Pleurotus* spp. *Rev Iberoam Micol* 20: 164-168.
- Rodríguez N, Zuluaga J. 1994 Cultivo de *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Qué. en pulpa de café. *Cenicafé*;45:85-92.
- Royse D.J. Rhodes T.W. Ohga, S. Sanchez J.E. 2004 Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technology* 91:85-91.
- Royse J D. y Vazquez S. J.E. 2003 Influence of precipitated calcium carbonate (CaCO₃) on shiitake (*Lentinula edodes*) yield and mushroom size. *Bioresource Technology* 90 225-228
- Salmones, D. Gaitan, H. R., Perez, R. y Guzmán G. 1997. Estudios sobre el genero *Pleurotus* VIII, Interacción entre crecimiento micelial y productividad *Rev. Iberoam Micol* 14:173-176.
- Sagakami H, Aohi T, Simpsom A, Tanuma S 1991 Induction of immunopotential activity by a protein bound polysaccharide, PSK. *Anticancer Res* 11: 993-1000.
- Sakar, S., Martinez, A. T., and Martinez, M. J. 1997 Biochemical and molecular characterization of a manganese peroxydase isoenzyme from *Pleurotus ostreatus*. *Biochim Biophys Acta* 1339: 23-30
- Shu-Ting, Ch. 1991. Mushroom biology and mushrooms production. *Mushrooms. Journal Tropics (China)*, 11(3-4): 45-52.
- Shu-Ting, Ch. 1998. *Mushrooms Lectures. Mushrooms biology, genetics and breeding, cultivation, nutritional and medicinal effects and perspectives*. Hong Kong. The Chinese University of Hong Kong. Shatin. N.T. 206p.
- Song, S.M., Li, X.H. & Sun, P.L. 1983. Indoor culture techniques for *Pleurotus ostreatus*. En: *Microbiology Weishengwuxue Tongbao*. Foods Research Institute, Beijing, China, 10(4): 147-149.
- Stamets, P. & Chilton, J.S. 1983. *The Mushroom Cultivator*. Washington. Ed. Agarikon Press Olimpia. p 415.
- Sturion G L, y Oettere, M. 1995 Composição Química de Cogumelos comestíveis *Pleurotus* spp originados de cultivos em diferentes substratos. *Ciencia e tecnologia de Alimentos*. 15: (2) 189-193.
- Stamets, P. y Chilton J. 1983. *The Mushroom cultivator*. Agarikon Press, Olympia, WA. pp 415.

- Stamets P 1995 Growing gourmet and medicinal mushroom. ten Speed Press. Berkeley.
- Stamets P 1993 Growing gourmet and medicinal mushroom. Olympia.
- Stamets P, Chilton JS. 1983. The Mushroom Cultivator. Olympia, Washington: Agarikon Press. p 20, 159–215.
- Silva, S. O, Costa, S. M. y Clemente, E. Chemical composition of *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél., substrates and residue after cultivation. Braz. arch. biol. technol., Dec. 2002, vol. 45, p.531-535.
- Steineck, H. 1987. Cultivo comercial del champiñón. Zaragoza, España. Ed. Acribia. p 142.
- Tello B, J.J. y E. García M. 1985. The mezcal industry in the altiplano potosino-zacatecano of north-central México. *Desert Plants* 7: 81-87.
- Ulloa, M. 1998. Imágenes y palabras. Una dualidad dinámica de la comunicación científica. *Revista Mexicana de Micología*, 13: 12-127.
- Umezawa, T., and T. Higuchi. 1988. Cleavages of aromatic ring and side chain of a (P-0-4)-(P-0-4) lignin substructure model trimer by lignin peroxidase. *J. Jpn. Wood Res. Soc.* 34:929-933.
- Urrea. Cardona, L.F. 2001 Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Revisión. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* No. 16.
- Valencia del Toro, G., Garín, A. M. E., Rodríguez, P. E. G. 1995. Análisis Químico Proximal del Hongo comestible *Pleurotus ostreatus* cultivado en Pasto. Volumen 2 Productos Naturales. UAM Iztapalapa. México D.F.
- Valencia del Toro, G., Garín, A. M. E., Vázquez, S. L. 1997. Cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre pulpa, cascarilla y pajillas del café. Volumen 3 Productos Naturales. UAM Iztapalapa. México D.F.
- Valencia del Toro, G., Garín, A. M. E. 2000 aspectos generales del cultivo de setas comestibles (*Pleurotus* spp.) Volumen 5 Productos Naturales. UAM Iztapalapa. México D. F: pp 1-9.
- Van Soest, P.J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Assoc. Off. Agr. Chem. Jour.* 46:829-835.
- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminants. O & B Books Inc. Corvallis, OR. USA, pp. 374.
- Villegas G, A. 1996. "Biotecnología intermedia en México La producción de hongos comestibles". Edit. CIESTAAM-UACH. México. pp.107.
- Vogel, F. y Salmenes D. 2000 Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus* sp cultivadas en una planta comercial. *Rev. Iberoam Micol* 17: 138-141.
- Wang H. Gao, J, y Ng. T, B. 2000 A new lectin with highly potent antihepatoma and antirsarcoma activities from the oyster mushroom *P. ostreatus*. *Biochem Biophys Res Commun* 275: 810-816.
- Wang W.S, Wang D, H. 1997 Enhancement of the resistance of tilapia and grass carp to experimental *Aeromonas hydrophila* and *Ewardsiella ictaluri* infections by several polysaccharides. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 20: 261-270.
- Wang H, H. 1999 Development and reclamation of bioresources with solid state fermentation, *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B)* Vol. pp 45-61.
- Wasser S.P, Weis A, L. 1999 General description of the most important medicinal higher Basidiomycetes mushroom. *Int J Med Mushroom* 1: 351-370.

- Yamanake K. 1997 Production of cultivated mushroom. Food Review International 13: 327-333.
- Zadrazil F. 1978. Cultivation of *Pleurotus*. In: Chang ST, Hayes WA, eds. The biology and cultivation of edible mushrooms. London, UK: Academic Press. p 521–557.
- Zervakis, G. & Balis, C. 1992. Comparative Study on the Cultural Characters of *Pleurotus* species under the influence of different substrates and fruiting temperatures. Revista Mexicana de Micología Neotropical Aplicada, 5: 39-47.
- Zervakis G, Balis C. 1991 *Pleurotus* species of Greece: an evaluation of their morphological and physiological characteristics. Mushroom Sci;13: 537-544.
- Zhao, P. 1998. Effect of potassium fertilizer on the yield and the quality of *Pleurotus ostreatus*. Siyongjun Xue-vau, China. Acta Edulis, 5(4): 42-71.

XII.-ANEXOS

Anexo 1

Inoculación de semilla.

El inóculo o semilla se caracteriza por formar el desarrollo masivo del micelio del hongo sobre un sustrato determinado como lo pueden ser granos o semillas de gramíneas u otros materiales los cuales se colocan dentro de bolsas de polipapel. Esto es lo que constituye la base para el cultivo sobre el sustrato a utilizar.

Se pueden utilizar una gran variedad de sustratos (semillas) para la preparación del inóculo de los hongos, entre estas semillas se pueden utilizar de diversas gramíneas tales como trigo, sorgo, cebada, mijo, arroz entre otros g encontramos al maíz, etc.

El método de elaboración de inóculo con semillas o granos en frascos o bolsas de polipapel es el más utilizado en muchas especies de hongos; esto fue ideado por (Sinden, 1932) y modificado por (Stoller, 1962) citado por (Stamets y Chilton, 1983; Kaul, 1997).

Para la selección de las semillas que se utilizaron como sustrato en el inóculo, se consideró la disponibilidad, bajo costo, tiempo de almacenamiento y la humedad de las mismas.

La técnica para la preparación del inóculo es la siguiente:

1. Limpiar las semillas y eliminar cualquier partícula ajena mediante enjuagues continuos con abundante agua.
2. Sumergir el grano de sorgo en agua fría durante 24-36 horas hasta que obtenga una consistencia blanda.

3. Transcurrido el tiempo de hidratación se escurre el exceso de agua. En esta etapa los granos tienen una hidratación de 50-60% aproximadamente. Es muy importante controlar la humedad del grano que no exceda el 60% para evitar posibles infecciones de otros hongos o bacterias.
4. Colocar el grano en bolsas de polipapel de 20X30 cm, con un peso de 300-400g de grano por bolsa.
5. Esterilizar las bolsas en autoclave a 121°C de 30-40 minutos.
6. Una vez esterilizados se sacan de la autoclave y se dejan enfriar a temperatura ambiente, entre 20-28°C.
7. Una vez frías las bolsas se le agrega un el micelio el cual se encuentra en las cajas petri, para lo cual se corta el agar y se colocan pequeñas porciones dentro de las bolsas y posteriormente se colocan en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente de 20-28°C en un lugar oscuro previamente dispuesto para este tipo de trabajo.
8. Finalmente después de 15-20 días, se observa si micelio ha cubierto toda la bolsa, y está listo el inóculo para colocarse en el sustrato.

Anexo 2

Determinación de proteína total (método Kjeldahl Gunning-Arnold modificado.)

Reactivos.

- H_2SO_4 concentrado.
- Sulfato de cobre pentahidratado.
- Sulfato potásico
- Hidróxido de sodio al 40%
- Ácido bórico al 4%
- Indicador de Wesselow
- Ácido clorhídrico 0.1 N
- Mezcla de catalizadores.

Procedimiento

1. Pesar de 0.5 – 1.0g de muestra seca o húmeda de acuerdo con su contenido de nitrógeno sobre papel libre de nitrógeno tarado previamente.
2. Colocar la muestra en el fondo del matraz Kjeldahl y adicionar 2g de la mezcla de catalizadores y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado.
3. Colocar en el equipo digestor, calentar suavemente al principio nivel 1 y después en forma enérgica nivel 3. Calentar hasta su completa oxidación punto donde la mezcla forma una solución verde claro transparente. Este proceso tarda entre 1 y 3h.
4. Terminada la digestión enfriar el matraz en una campana de extracción de gases. Añadir de 300-350 ml de agua agregar perlas de ebullición, añadir anti-espumante si se requiere.

5. Preparar el aparato de destilación conectado del refrigerante, adaptar un tubo de vidrio el cual debe permanecer sumergido dentro de 75 ml de ácido bórico al 4% contenidos en un matraz Erlenmeyer de 500 ml adicionado de unas gotas de indicador de Wesselow. Este matraz colecta el producto destilado.
6. Añadir al matraz de Kjeldahl estratificado que contiene el producto de la digestión, lentamente 5 ml de NaOH 40% por cada ml de ácido sulfúrico adicionado durante la digestión más 10 ml de exceso por la carbonatación del hidróxido de sodio. Inmediatamente conectarlo al sistema de destilación del aparato Kjeldahl, prender las parrillas y asegurarse que la llave del agua este abierta para el sistema de condensación.
7. Después de recuperar un poco de destilado, deberá virar el color del indicador de violeta a verde. Destilar aproximadamente 300 ml para garantizar que ha pasado todo el amoniaco.
8. Retirar primero el matraz receptor y después apagar la fuente de calor.
9. El destilado colectado se titula con HCl 0.1 N hasta ver el cambio de color verde a transparente y después a violeta.

Calculo del contenido de nitrógeno total.

$$\% \text{ nitrógeno total} = [(V \cdot N \cdot \text{meq}) / m] \cdot 100$$

Donde:

- V = mililitros de HCl 0.1 N gastados en la titulación.
- N= normalidad de la solución valorada del HCl
- m = peso de la muestra en g.

- meq = miliequivalentes de nitrógeno 0.014g.

La relación de nitrógeno proteico difiere dependiendo del tipo de muestra por lo que se hace necesario utilizar los factores adecuados para cada tipo de alimento. En el caso de Pleurotus utilizamos N X 4.38 según recomienda Sturion, y Oettere, (1995)

Anexo 3

Determinación de extracto etéreo (método de Soxhlet)

Aparato Soxhlet.

Cartucho de celulosa.

Reactivos

- Éter de petróleo anhidro

Procedimiento.

1. Colocar en el cartucho de celulosa una cama de algodón, mas otro trozo pequeño que servirá para tapar la muestra. Llevarlo a peso constante colocándolo en una estufa a 100 -110° C.
2. Añadir la muestra deshidratada obtenida en la determinación de humedad tapar con el algodón e introducir el cartucho con la muestra a la trampa del equipo Soxhlet.
3. Añadir aproximadamente 60 ml de éter de petróleo anhidro en el matraz receptor y conectar a la fuente de calor.
4. Mantener el reflujo hasta la extracción de grasa, aproximadamente 4h, dependiendo del contenido de grasa de la muestra.
5. Retirar el cartucho ya sin grasa y mantenerlo al aire con el fin de que pierda todo el disolvente. Cuando ya no tenga olor a éter, llevarlo a la estufa hasta peso constante a 100° C enfriar en el desecador y pesar.

Cálculo:

$$\% \text{ extracto etéreo} = [(a-b)/m]*100$$

Donde

- a= peso del cartucho a peso constante conteniendo la muestra deshidratada envuelta en papel filtro.
- b= peso del cartucho del cartucho antes de la extracción.
- m= peso de la muestra en g.

Anexo 4

Determinación de fibra dietaria total (método Proxy)

Refiere a la fibra dietaria como el material de origen vegetal que no puede ser digerido por las enzimas intestinales humanas ni absorbido por el cuerpo humano. La tendencia actual es definir la fibra dietaria desde el punto de vista químico e incluir a los polisacáridos no amiláceos, incorporando todas las fracciones de carbohidratos y tipos de fibra dietética: solubles (pectinas, gomas) e insolubles (celulosa, B-glucanos).

La fibra dietaria es una mezcla de sustancias orgánicas complejas e inicialmente fue definida como los remanentes de las células de las plantas resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas del hombre. Esta definición fue modificada por otras moléculas que se encuentran en las plantas las cuales aportan también una cantidad de fibra cuando son ingeridas, estas moléculas son la hemicelulosa, la celulosa y la lignina, además de las gomas, las pectinas, los oligosacáridos no digeribles y las ceras.

Esta definición ampliada reconoce a la fibra como componente químico y fisiológico de la dieta.

Reactivos.

- Regulador de fosfatos.
- Enzimas α -amilasa, proteasa, amiloglicosidasa.
- NaOH 0.275 N
- HCL 0.325 M
- Etanol 78% y 95%

- Acetona.

Procedimiento.

- colocar 1 gramo de muestra sin grasa en un matraz Erlenmeyer.
- adicionar 50 ml de regulador de fosfatos.
- adicionar 0.1 ml de α -amilasa (A3306) a cada matraz y agitar.
- cubrir con papel aluminio y colocarlo en baño de agua hirviendo. Agitar los matraces gentilmente a intervalos de 5 min. incubar por 15 min. después de que la temperatura interna sea de 95°C.
- una vez fríos los matraces ajustar el pH a 7.5 adicionando 10 ml de NaOH 0.275 N revisar el pH y ajustarlo con HCL o con NaOH.
- inmediatamente antes de usarse preparar una solución de proteasa que contenga 50 mg/ml (P3910) en regulador de fosfatos, pipetear 0.1 ml (5mg proteasa) en cada matraz.
- cubrir los matraces y colocarlos en baño de agua a 60°C incubar con agitación constante durante 30 min. después de que la temperatura interna alcance los 60°C.
- una vez fríos los matraces ajustar nuevamente el pH entre 4 - 4.6 adicionando 10 ml de HCL 0.325 M revisar el pH y ajustarlo con HCL o con NaOH.
- adicionar 0.1 ml de amiloglucosidasa (A9913) a cada matraz.
- cubrir nuevamente los matraces y colocarlos en baño de agua, incubarlos durante 30 min. con agitación constante después de que la temperatura interna alcance los 60°C
- filtrar el contenido de los matraces sobre un papel filtro Whatman # 1 previamente puesto a peso constante dejar precipitar por gravedad, una vez filtrado el papel con la fibra se colocan en la estufa 3 horas a 100°C se dejan enfriar en un

deseCADador, se pesan y se guardan para la determinaci3n de prote3nas por el m3todo Kjeldahl.

- al filtrado se le adicionan 3 porciones de 20 ml de etanol al 78% y dos porciones 10 ml de etanol al 95% y porciones de 10 ml acetona.
- una vez adicionado todo se deja precipitar nuevamente en un papel filtro previamente puesto a peso constante, ya filtrado el papel se coloca en la estufa durante 1 hora a 100°C se coloca en un desecador se pesa y se guarda para la determinaci3n de prote3nas por el m3todo Kjeldahl.

Nota: esto se realiza por cuadruplicado ya que se determina fibra soluble e insoluble adem3s de la determinaci3n de prote3na y ceniza.

Anexo 5

Determinación de cenizas.

Equipo

- Mufla.
- Crisoles.
- Muestra.

Procedimiento.

1. pesar la muestra según sea los requerimientos colocarlos dentro de un crisol previamente puesto a peso constante.
2. colocar los crisoles con la muestra dentro de la mufla al inicio se desprenderá una gran cantidad de humo, cuando el humo haya cesado y se a eliminado el exceso de carbón elevar la temperatura a 500-550°C hasta que las cenizas adquieran un color blanco grisáceo.
3. dejar enfriar el crisol y posteriormente llevarlo a un desecador donde se terminara de enfriar.
4. una vez que alcance la temperatura ambiente pesar.

Cálculo.

$$\% \text{ cenizas} = [(a-b)/m] * 100$$

Donde

- a= peso del crisol con las cenizas
- b= peso del crisol vacío
- m= peso de la muestra en g.

Anexo 6

Determinación de humedad.

Equipo.

- estufa

Procedimiento

1. Colocar las muestra en un plato de aluminio, capsula de porcelana, vidrio de reloj o en una caja petri, pesar la cantidad de muestra en peso húmedo.
2. colocarla dentro de la estufa a una temperatura de 70°C durante 48 horas.
3. posteriormente sacar la muestra de la estufa colocarla dentro de un desecador permitir que se enfríe a temperatura ambiente y pesar.

Cálculo.

$$\% \text{ humedad} = (b - a) * 100$$

Donde

- a= peso de la muestra en seco
- b= peso de la muestra en húmedo.

Anexo 7

Determinación de digestibilidad *in vitro*. por el método “Hsu” 1977.

La digestibilidad de las muestras se determina utilizando el método propuestos por Hsu en 1977. Las muestras se molieron hasta un tamaño de partícula que fue pasada por el tamiz de una malla de 80 y se determino la cantidad de Nitrógeno total de dicha muestra se tomo una cantidad que suspendida en 50 ml de agua proporcionara 5.25 mg de proteína por ml de solución la cual se ajusto a un pH 8 con la ayuda de ácido clorhídrico 0.1 N o bien con hidróxido de sodio 0.1 N. posteriormente se colocó en baño Maria en constante agitación a una temperatura de 37 C.

Una vez hecho lo anterior se preparo la solución enzimática la cual contiene 1.6 mg. de Tripsina, 3.1 mg de Quimiotripsina, y 1.3 mg de Peptidasa por ml de solución esta se ajusto a un pH 8 y se conservo en baño de hielo hasta el termino del experimento.

A la suspensión de la muestra se le agrego 5 ml de solución multienzimática no suspendiendo la agitación además de conservar la temperatura de 37 C durante todo el ensayo.

Cálculos

$$Y = 210.46 - 18X$$

X = pH a los 10 min.

Y = Digestibilidad aparente “in Vitro”.

X = pH a los 10 min. de iniciada la incubación.

Anexo 8

8.1 Análisis de costo beneficio en el cultivo y producción de *P. ostreatus* en bagazo de maguey verde con la adición de 30% de brócoli.

Material	Unidades	Costo unitario.	No. unidades	Costo por tonelada.
Bagazo	kg	0	0	0
Micelio	kg	20	50	1000
Bolsas	kg	30	5	150
Desinfectante	Litros	20	5	100
Navajas	Pieza	50	5	250
Guantes	Caja	250	1	250
Brócoli	kg	25	300	500
Gas	kg	8.5	90	750
Insecticida	ml	40	6	240
Tela mosquitera	m ²	70	10	700
Detergente	kg	15	5	75
Cubre bocas	Pieza	3	50	150
Transporte	km	50	60	3000
Energía eléctrica.	kw/h		1000	1000
Artículos de limpieza	Pieza	30	8	240
Botas	Pieza	200	200	200
Trinche	Pieza	100	100	100
Bata	Pieza	150	150	150
Mano de obra	Día	90	60	5400
			Total	14055

Para 1 kg de bagazo suplementado con 900 g de brócoli, la eficiencia biológica es 108.6%, por lo que 1kg de bagazo en base seca producirá 1086 g de hongo fresco. Esto significa que 1,000 kg de bagazo rendirán 1086 kg de hongo. El precio del hongo es de 18 pesos, por lo que al multiplicar $(1,086) \times (18) = 19,548$ pesos.

El costo para la producción de una tonelada de hongo suplementado con brócoli es de \$14,055, al cosechar el hongo y comercializarlo esto genera un ingreso total de \$19,548 pesos, por lo que se tiene una perdida de \$5,493 pesos.

8.2 Análisis de costo beneficio en el cultivo y producción de *P. ostreatus* en bagazo de maguey verde con la adición de 0.34% sulfato de amonio.

Material	Unidades	Costo unitario	No. unidades	Costo por tonelada
Bagazo	kg	0	0	0
Micelio	kg	20	50	1000
Bolsas	kg	30	5	150
Desinfectante	Litros	20	5	100
Navajas	Pieza	50	5	250
Guantes	Caja	250	1	250
Suplemento sulfato de amonio	kg	14	.0005kg	70
Gas	kg	8.5	90	750
Insecticida	ml	40	6	240
Tela mosquitera	m ²	70	10	700
Detergente	kg	15	5	75
Cubre bocas	Pieza.	3	50	150
Transporte	km	50	60	3000
Energía eléctrica	kw/h		1000	1000
Artículos de limpieza	Pieza	30	8	240
Botas	Pieza	200	200	200
Trinche	Pieza	100	100	100
Bata	Pieza	150	150	150
Mano de obra	Día	90	60	5400
			total	13,625

Para 1 kg de bagazo suplementado con 0.34% de sulfato de amonio, la eficiencia biológica 115.9%, por lo que 1 kg de bagazo con este aditivo producen 1,159 g de hongo fresco. Una transformación lineal conduce a que 1000 kg de bagazo rendirán 1159 kg de hongo. Si el precio rural del hongo es de 18 pesos, se obtendrá un ingreso de $(1159) \times (18) = 20,862$ pesos.

El costo para la producción de una tonelada de hongo suplementado con sulfato de amonio es de \$13,818 pesos. La venta del hongo genera un ingreso total de \$20,862 pesos, por lo que en este caso la utilidad neta es de \$7,273 pesos.

8.3 Análisis de costo - beneficio en el cultivo y producción de *P. ostreatus* en bagazo de maguey verde sin ningún aditivo.

Material	Unidades	Costo unitario	No. unidades	Costo por tonelada
Bagazo	kg	0	0	0
Micelio	kg	20	50	1000
Bolsas	kg	30	5	150
Desinfectante	Litros	20	5	100
Navajas	Pieza	50	5	250
Guantes	Caja	250	1	250
Suplemento sulfato de amonio	kg	0	0	0
Gas	kg	8.5	90	750
Insecticida	ml	40	6	240
Tela mosquitera	m ²	70	10	700
Detergente	kg	15	5	75
Cubre bocas	Pieza.	3	50	150
Transporte	km	50	60	3000
Energía eléctrica	kw/h		1000	1000
Artículos de limpieza	Pieza	30	8	240
Botas	Pieza	200	200	200
Trinche	Pieza	100	100	100
Bata	Pieza	150	150	150
Mano de obra	Día	90	60	5400
			total	13,555

Para 1 kg de bagazo la eficiencia biológica de este tratamiento es de 93.68%. Esto significa que 1 kg de bagazo rinde 936 g de hongo fresco. Por 1000 kg de bagazo se obtendrán 936 kg de hongo. El precio del hongo es de 18 pesos, por lo que ingreso es de $(936) \times (18) = 16,848$ pesos.

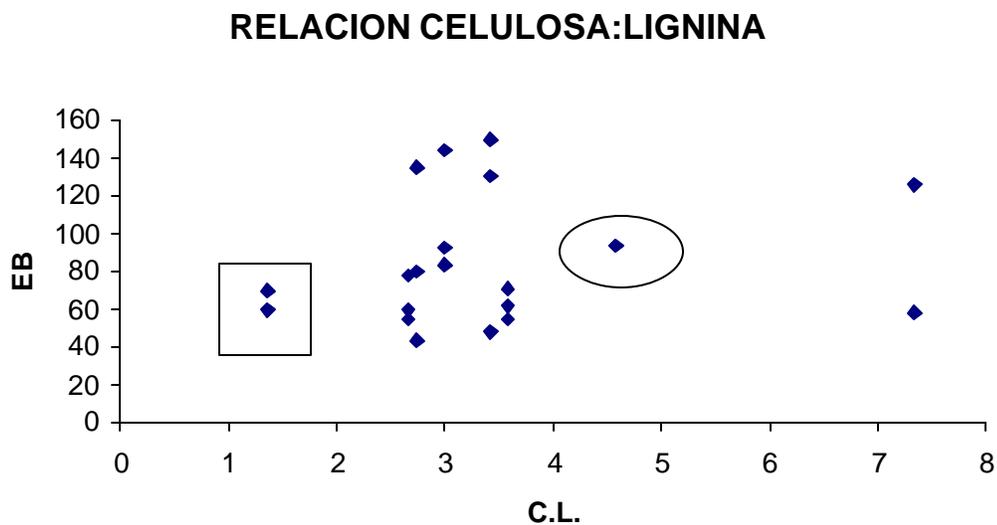
El costo para la producción de una tonelada de hongo en bagazo sin suplemento es de \$13,770 pesos. La producción obtenida genera un ingreso total de \$16,848 pesos, por lo que la utilidad neta es de \$3,078 pesos.

Anexo 9

Relación celulosa: lignina y eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* de acuerdo con trabajos previos en distintos sustratos.

Sustrato	C:L	EB	Bibliografía
Paja de trigo	2,733	64.45	Royse y Vazquez. 2003.
	2,733	80.47	Kutlu y col. 1999.
	2,733	43,59	Vogel y col 2000.
Paja de cebada	7,333	125,2	Bermúdez . y col. 2003.
	7,333	72.4	Salmones y col. 1997.
Paja de arroz	3,583	61,5	Okhuoya y col. 1990.
	3,583	54,3	Royse y col. 2004.
	3,583	70,55	
Paja de maíz	3	82,9	Contreras y col 2004.
	3	186	Gaitan y Salmones. 1998.
	3	92,5	Salmones y col. 1997.
Paja de avena	2,666	55	Royse y col. 2004.
	2,666	60	Lara y col. 1998.
Bagazo de caña	3,428	150	Cardona. 2001.
	3,428	130	Cardona. 2001.
Bagazo de tequila	1,366	60	Martínez y Col. 1986
	1,366	69,5	Lara y col. 1999.
	2,666	55	Royse y col. 2004.
	4.573	94	Este trabajo
	4.573	91	Este trabajo

Gráfica de dispersión de la relación entre el cociente celulosa:lignina y la eficiencia biológica.



En el ovalo se observa la eficiencia biológica del bagazo del maguey verde el cual presentó un 93% y tiene una diferencia de 30% con respecto al bagazo del maguey azul, marcado con el cuadro.