



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus* spp en mezclas de agave
mezcalero y viruta de madera.

TESINA

Presentada para obtener el título de
Especialista en Tecnología e Inocuidad en Alimentos

PRESENTA:

Biol. Jaqueline Charbel Fernández Saldaña

DIRECTOR:

Dr. Marco Antonio Marín Castro

Co DIRECTOR:

Mtro. Francisco González Salomé

Índice de tablas	3
Índice de figuras	4
1. Resumen	6
2. Introducción	7
3. Antecedentes	9
4. Justificación	26
5. Objetivos	27
6. Diagrama general de trabajo	28
7. Materiales y métodos	29
8. Metodología	31
8.1 Producción de micelio activado y diseño	31
8.2 Acondicionamiento de los residuos	31
8.2.1 Realización de mezclas	31
8.3 Incubación	32
8.4 Producción	32
8.5 Evaluación de la eficiencia biológica y la tasa de producción	33
8.6 Determinaciones bromatológicas	33
8.7 Análisis estadísticos	34
9. Resultados y discusión	35
9.1 Análisis proximales de los sustratos y cálculo de la relación carbono nitrógeno c/n	35
9.2 Producción de micelio activado	35
9.3 Cálculo de eb y tp	38
9.4 Análisis proximales de las setas	40
10. Conclusiones	44
11. Recomendaciones	45
12. Bibliografía	46
13. Anexos	49

Índice de tablas

Numero	Titulo	Página
Tabla 1.	Análisis bromatológico de <i>Pleurotus ostreatus</i>	18
Tabla 2.	Composición química de algunas pajas o rastrojos utilizados en México.	20
Tabla 3.	Eficiencia biológica de <i>Pleurotus spp</i> en diferentes sustratos.	25
Tabla 4.	Material biológico empleado para la investigación.	29
Tabla 5.	Equipo empleado para la investigación.	29
Tabla 6.	Métodos empleados para el desarrollo del cultivo y producción de setas como análisis bromatológicos.	30
Tabla 7.	Mezclas realizadas BM (bagazo de mezcal), VM (viruta de madera), BM/VM (mezcla de bagazo de mezcal y viruta de madera).	32
Tabla 8.	Diseño de tratamientos y variables evaluables.	34
Tabla 9.	Análisis bromatológico de bagazo y viruta.	35
Tabla 10.	Cortes realizados a los tratamientos valores de productividad por tratamiento expresados en Gr.	38
Tabla 11.	Eficiencias biológicas y tasas de producción calculados de los tratamientos de residuos.	39
Tabla 12.	Análisis bromatológicos de <i>Pleurotous spp</i> cosechados en la primer cosecha.	41

Índice de figuras

Numero	Titulo	Pagina
Figura 1.	Principales estados productores de hongos comestibles fuente elaboración propia de acuerdo a los datos de Villegas, 1996.	12
Figura 2.	Morfología de <i>Pleurotus ostreatus</i> fuente google imágenes.	15
Figura 3.	Ciclo de vida y desarrollo de <i>Pleurotus ostreatus</i> fuente google imágenes.	17
Figura 4.	Obtención de micelio activado e invasión sobre los sustratos a) micelio primario activado en semilla de sorgo, b) sustrato inoculado con micelio activado, e invasión de micelio, c) sustrato completamente invadido por el micelio. Fuente resultados de laboratorio.	37
Figura 5.	Curva de invasión del micelio hacia los tratamientos, fuente: resultados de laboratorio.	37
Figura 6.	Comparación de eficiencia biológica en los tratamientos. Fuente: Resultados de laboratorio.	39
Figura 7.	Tasas de producción de los sustratos. Fuente: Resultados de laboratorio.	40
Figura 8.	Comparación de contenido de fibra en sustratos y relación de contenido con el contenido de fibra en la producción de hongos. Fuente: Resultados de laboratorio.	41
Figura 9.	Contenido de proteína en sustratos y relación en la producción de hongos. Fuente: Resultados de laboratorio.	42
Figura 10.	Contenido de lípidos en sustratos y relación de contenido con el contenido de lípidos en la producción de hongos. Fuente: Resultados de laboratorio.	48

Agradecimientos

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por formar parte de mi desarrollo académico.

Al DICA por compartirme sus recursos e instalaciones para la realización del presente trabajo.

A la mezcalera Casa Espadín por proporcionar el bagazo mezcalero para la realización de este trabajo.

A Alheli por su acompañamiento y apoyo en esta etapa.

A mis compañeros de la especialidad en especial a Mauricio Montes, Ma. Luisa y Elويد, por su apoyo dentro y fuera de las aulas de clase.

A mis padres por ser parte de esta etapa con todo su apoyo y consejos.

A mi hermana Luz por acompañarme durante todo este periodo y durante los periodos de trabajo en el DICA.

A mis asesores Mtro. Francisco Gonzales Salome en especial al Dr. Marcos Marín por brindarme los recursos, los comentarios y el apoyo para la realización de este trabajo.

Al Cuerpo Académico del Departamento de Alimentos de Ciencias Químicas, la Dra. Addi Rhode, Dra. Ivonne Pérez Xochipa, Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio, Mtra. Obdulia, Dra. Paola y Dr. Raúl Ávila, Mtra. Laura Martínez, Mtro. Juan Benítez Carlos y Mtro. Carlos Cabrera.



1. Resumen

Se evaluó la capacidad productiva de *Pleurotus* spp en mezclas de viruta y bagazo mezcalero, con el fin de determinar las eficiencias biológicas obtenidas e inferir el mejor tratamiento para emplear a nivel comercial en la producción de hongos setas, al igual se determinó la composición nutrimental de sustratos y hongos obtenidos. Los sustratos se acondicionaron para su mejor manejo, se humedecieron y se esterilizaron, se produjo micelio activado en semillas de sorgo para la inoculación de cada sustrato, se incubaron y se midió la tendencia de invasión sobre cada tratamiento, hasta la generación de primeros primordios los cuales se ven como botones blancos abultados una vez generados comenzó la etapa de cosechas y generación de cuerpos fructíferos, para esta etapa se realizaron riegos por medio de un atomizador, para evitar la desecación y pérdida de humedad tanto de los sustratos como de los hongos, dichos riegos se realizaron dos veces al día por la mañana y por las tardes durante un periodo de 78 días. Las variables evaluadas para la capacidad productiva de *Pleurotus* spp, fueron eficiencia biológica, tasa de producción y relación carbono nitrógeno, a la par se realizaron determinaciones bromatológicas, tanto de los hongos setas y sustratos empleados para determinar si la composición nutrimental del sustrato, tiene relación con la composición nutrimental de los hongos setas. Los resultados obtenidos muestran que la invasión de micelio a cada sustrato no representa diferencias significativas, mientras que, para la eficiencia biológica, el mejor tratamiento fue bagazo de mezcal 100%, con una eficiencia biológica superior al 100%, sin embargo, dados los resultados se recomienda ampliar el número de réplicas biológicas y realizar análisis bromatológicos a más tratamientos, en cuanto a los datos obtenidos de la composición nutrimental de los sustratos vs los resultados bromatológicos de las setas, sugieren que hay una influencia por parte de los sustratos a las setas, y que depende del sustrato donde se cultivan, la calidad o porcentaje nutrimental de los hongos setas.

2. Introducción

El cultivo de hongos comestibles es una actividad que se ha desarrollado desde hace más de 200 años en Europa con el cultivo del champiñón *Agaricus bisporus* y en Asia con el cultivo de especies como *Lentinula edodes* y *Auricularia spp.* Esta tecnología llegó al nuevo mundo hacia finales del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX de una manera muy discreta. No fue sino hacia la segunda mitad de este siglo, gracias al mejoramiento de las técnicas existentes, que esta industria se hizo presente de una manera importante en varios países de América. Después de los años setenta, debido a la necesidad de desarrollar fuentes no convencionales de alimentos y de optimizar los recursos disponibles, así como gracias al aprovechamiento de técnicas para el cultivo comercial de otras especies, se dio de manera creciente el interés por cultivar este tipo de hongos. Tal interés encontró un eco importante con el florecimiento a nivel mundial de una cultura ecológica ávida de tecnologías “ambientalmente seguras” y el avance de la agricultura orgánica (Sánchez, 2001).

El hongo comestible *Pleurotus spp* mejor conocido como “seta”, tiene la habilidad para crecer sobre residuos lignocelulosicos, como son una gran variedad de desechos agrícolas. El cultivo de estos hongos se ha consolidado a lo largo del tiempo como una opción más que viable para la producción de alimento de consumo humano, además de generar complementos de la dieta animal y biofertilizante para la agricultura (Martínez, 2012).

Los hongos del género *Pleurotus spp* son basidiomicetos (hongos productores de esporas están representados por hongos comestibles del tipo seta), de pudrición blanca, con alto valor nutricional, propiedades terapéuticas y diversas aplicaciones biotecnológicas. *Pleurotus ostreatus* tiene la capacidad de crecer en material vegetal pues sintetiza enzimas que degradan grandes polímeros como celulosa, lignina y

hemicelulosa (Carrera, 1984; Manjarres et al., 2010), por lo que autores como Guzman et al. (1993) y Romero et al (2010) consideran a la biotecnología de hongos comestibles como una opción con amplias perspectivas para producir alimentos de alto valor calórico a partir de esquilmos y residuos agroindustriales.

En México, la generación de esquilmos, rastrojos y demás residuos agroindustriales son siempre en grandes cantidades para el caso del bagazo de mezcal se generan anualmente como desecho 29,375 toneladas de residuo de agave (Gurrola, 2016) y para los residuos de esquilmos generados dentro de los que se considera a la hoja de plátano se estiman la producción anual de 45 millones de toneladas anuales (González, s-f), muchos de estos desechos no tienen ningún uso, y son destinados a verterse en ríos, arroyos y algunos son empleados como combustible para hornos de ladrillo ocasionando graves problemas medio ambientales.

La producción de hongos comestibles es una alternativa importante para satisfacer las necesidades alimenticias de la población; además de utilizar residuos agrícolas y es una fuente generadora de empleo. Su producción no requiere de inversiones iniciales fuertes, pero si cuidados intensivos que aseguren una producción adecuada (Escobedo, s-f).

En la actualidad diversos países se enfrentan a una crisis alimentaria y precios elevados en los alimentos debido al rápido crecimiento de la población y la disminución de la productividad agrícola, a raíz de esta crisis está el crecimiento demográfico y los problemas del cambio climático que merman la disponibilidad del alimento, como también se ven afectados los espacios disponibles para la siembra y cosecha agrícola debido al incremento de la población y la transformación de dichos espacios en zonas de vivienda. Actualmente la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), después de los históricos tratados de París reconoce que la seguridad alimentaria en el mundo está amenazada y asegura que las actividades de agricultura necesitan mayor acceso a las tecnologías, a los mercados, a la información y los créditos con el fin de invertir en sistemas y prácticas más adecuadas al cambio climático.

A pesar de que el número de hambrientos crónicos se ha reducido en la última década, millones de personas no tiene lo suficiente para comer de forma regular, esto deja en claro que necesitamos producir más alimento con una opción de producción agrícola más adecuada a combatir los retos del cambio climático, los incrementos y demandas del constante crecimiento demográfico.

Actualmente una alternativa potencialmente viable para colaborar en la disminución del problema planteado podría ser el cultivo de hongos comestibles el cual se ha desarrollado mundialmente y en México ha alcanzado cierta importancia y relevancia en la industria y principalmente en pequeños

productores; sin embargo, su cultivo hoy día se ve limitado por diversos factores, los cuales abarcan desde la falta de financiamiento, la aceptación de los mercados, el desconocimiento de las tecnologías y la limitación a ciertos sustratos, empleando los más comunes, limitado el uso de sustratos y por ende la producción de hongos comestibles. Además de esto cabe el mencionar que otra de las limitantes en la producción del hongo *Pleurotus* spp es por la disponibilidad de micelio activado de muy dudosa calidad y como consecuencia se tienen producciones de calidad y cantidad inconstantes.

Una realidad que se vive en el campo, es respecto a la decisión que toma el agricultor con los residuos de las cosechas, donde muchas veces estos son arrojados a basureros, quebradas, ríos y arroyos, sin tratamientos previos contribuyendo con ello a la degradación del ecosistema y el mal aprovechamiento de estos residuos que pueden ser empleados como abonos, alimentos para ganado o más importante como sustratos para la obtención de biomasa de alimento humano y animal; donde el campesino muchas veces no considera o es incapaz de visualizar los efectos secundarios que conllevan dichas acciones, además de no conocer otras alternativas para aprovechar estos residuos (González, s-f).

3. Antecedentes

3.1 Generalidades del cultivo de hongos comestibles

El cultivo de *Pleurotus ostreatus* (setas) pertenece al siglo XX y a pesar de ser relativamente reciente, ha tenido un desarrollo muy rápido en la actualidad se cultiva en casi todas las latitudes del mundo. Su caso merece una atención especial, debido a la diversidad de sustratos sobre los que es capaz de crecer además que permite apreciar de manera directa su impacto benéfico en el aprovechamiento de desechos agropecuarios. A pesar de haber sido cultivado comercialmente por menos de 30 años en México, se ha destacado por una rápida aceptación en el mercado y un crecimiento rápido de la agroindustria relacionada. Actualmente, el cultivo de esta especie representa el 7% de la producción y se disputa con *Lentinus edodes* (shiitake) el segundo lugar en producción (el primer puesto lo ocupa la especie *A. bisporus* o champiñón) (Martínez-Carrera et al., 2007).

El cultivo de las setas del tipo *Agaricus bisporus*, se remonta, al año de 1700. Originalmente la cosecha de setas procedió de cultivos que se hicieron a la intemperie, sin protección contra las condiciones meteorológicas cambiantes, y estuvo basada en los productos de las excavaciones que se realizaban para extraer micelio de los hongos silvestres (Singer, 1964).

Actualmente se conoce que los hongos comestibles (*Auricularia auricula-judae*) se cultivaron por primera vez en China cerca del año 600 de nuestra era. En Europa el cultivo se inició en las regiones francesas hacia el año de 1650 con el cultivo de champiñón, empleando semillas y residuos de melón como sustrato. Posteriormente los métodos de cultivo se modificaron mediante nuevas técnicas las cuales consistían en recoger el micelio del hongo e inocular en semillas. En 1987, Steineck menciona que fue a finales del siglo XVIII cuando se comprobó que el cultivo realizado en galerías subterráneas, bodegas y minas proporcionaban resultados excepcionales. A partir de este momento, dicho método comenzó a utilizarse en la mayoría de los países europeos, pasando a Estados Unidos en 1820 (Herrera, 1986).

Se sabe que el cultivo de hongos comestibles es una actividad que data desde el siglo VII, sin embargo, en los últimos años dicha actividad se ha convertido en una verdadera alternativa en la obtención de alimentos para el consumo humano, por la posibilidad de obtener grandes cantidades de hongos en pequeñas áreas mediante técnicas sencillas a bajos costos, en periodos cortos de tiempo y con el empleo de residuos agroindustriales como sustratos para su cultivo (Villaseñor, 1997; Gonzáles, s-f).

Sobre el cultivo se tienen registros que, en algunos países centroeuropeos, se realizaba algo similar al cultivo, colocando en sitios frescos próximos a las viviendas, los troncos con micelio que se encontraban en los bosques. Sin embargo, no fue hasta los años 60, que se iniciaron los trabajos experimentales sobre el cultivo de hongos en madera en países como Hungría, Checoslovaquia, Italia y algunos otros países, después este método fue extendiéndose por el resto de Europa, y fue hasta 1969 cuando se comenzó a cultivar sobre otros sustratos, (paja, aserrín, farfolla o zumos de maíz picados, residuos agrícolas leñosos o celulósicos, papel, etc.) y desde entonces el cultivo de hongos comestibles ha progresado tanto, que ya se desarrolla a niveles industriales (Chang et al., 1996).

Así mismo, cabe destacar que una de las prácticas más explotadas en Europa para el consumo de hongos comestibles es la recolección de setas y trufas, dicha práctica se lleva a cabo anualmente recolectando grandes cantidades, por colectores profesionales, especializados o por aficionados, los cuales se procesan en conservas para su consumo posterior en épocas de invierno (Singer, 1964).

3.2 El cultivo de hongos comestibles en México

En México prevalece el interés por la producción comercial de hongos comestibles. En la actualidad existen algunas empresas dedicadas al cultivo de *Agaricus bisporus* y *Pleurotus* spp, conocidos en el mercado como champiñón y setas, respectivamente, y se estima que aproximadamente los volúmenes de producción de hongos comestibles en México ascienden a más o menos 47,468 toneladas anuales de hongos frescos (Martínez-Carrera, 2007).

En América Latina y especialmente, en México, el cultivo de hongos comestibles se ha incrementado no obstante, dicha actividad aun esta poco desarrollada muy a pesar de la potencialidad que existe en las regiones para cultivar hongos que se desarrollan de forma silvestre y son aprovechados principalmente por grupos locales e indígenas. Siendo evidente el poco avance que se tiene en el cultivo de otras especies; ya que solo tres de ellos se cultivan, desarrollan y emplean en nuestro país y son el champiñón (*Agaricus spp.*), setas (*Pleurotus spp.*) y el hongo de encino (*Lentinus spp.*), estos crecen en forma natural en los bosques de México y no son aprovechados como recursos alimenticios (Villaseñor, 1997).

México tiene un nivel de producción comercial de cinco toneladas por día y es el principal productor de setas en toda América. Esto ha arrojado operaciones comerciales de varios millones de pesos y la generación de empleos directos e indirectos. La producción rural y comercial se encuentra localizada en la región central del país y entre el 80% y 90% de la producción nacional, se comercializa a través de la Central de Abastos de la ciudad de México encontrándose el mercado bastante centralizado y adolece de varias debilidades estructurales. En este lugar es común observar prácticas monopólicas, exceso de intermediarios, especulación disponibilidad y precios del producto al consumidor (Martínez-Carrera et al., 2007). Sin embargo, su producción ofrece áreas de oportunidad para las regiones sur y sureste.

México presenta una enorme potencialidad para el cultivo de hongos comestibles, por medio del uso de esquilmos y rastrojos agrícolas como son: las pajas de ajonjolí, arroz, cártamo, cebada, trigo, sorgo y bagazos ya que las producciones de todos estos residuos anualmente son producidas en grandes cantidades y muchas veces desperdiciados en lugar de ser aprovechados para el cultivo de setas (*Pleurotus spp.*) y el hongo del bagazo (*Volvariella bakeri*) (Gonzales, s-f).

Para México el cultivo del champiñón se remota a la llegada de José Leben Zdravie a la ciudad de México, en 1931. Leben inicio los primeros ensayos del cultivo del champiñón en México, en el rancho ganadero conocido como “Tolimpa”, cercano a Texcoco. Estos primeros intentos dieron pocos resultados y se llevaron a cabo utilizando el sistema de camellones. Dicho sustrato de camellones estaba formado de estiércol de caballo o de vaca, mezclado con pequeñas cantidades de paja de trigo o cebada. Los cuales eran inoculados con semilla de la empresa estadounidense Mushroom Supply Co., de Pensilvania, la cual ya venía funcionando desde 1924 (CONACYT, 1991).

En 1939, después de notables esfuerzos y ensayos Leben logra establecer la primera planta productora de hongos en México. Sin embargo, dicha planta era aún muy rústica y funcionaba en estado experimental, logrando la primera cosecha estable hasta 1941. En 1954, se construye el primer laboratorio de producción de inculo en México, por la planta “Hongos de México” aquí los rendimientos y cosechas comienzan a ser más estables y constantes siendo de 5-6 kg/m² de champiñón (CONACYT. 1991).

En 1974 se cultiva por primera vez una especie de hongo comestible *Pleurotus ostratus*, dicho cultivo se originó a raíz de la compra de cuatro pacas de paja de trigo previamente inoculadas las cuales fueron adquiridas en Europa y trasladadas a México, donde se incubaron y desarrollaron sus primeras fructificaciones, para ese entonces la venta de este hongo era bastante difícil ya que poca gente le conocía (CONACYT. 1991).

A pesar de que el consumo de hongos no es nuevo en nuestro país pues se tienen registros ancestrales de su consumo que datan de la época prehispánica, (Guzmán, 1981). El cultivo y consumo de estos hongos inicia de manera más formal a partir de la década de los años treinta remontando una tradición ancestral casi perdida en el consumo de hongos comestibles.

3.3 Producción nacional de *Pleurotus ostreatus*

Los estados donde se cultiva o se producen hongos comestibles en México se encuentran poco diversificados, la mayoría de las empresas productoras están concentradas en el Distrito Federal y en el Estado de México, excepto algunas que se encuentran en los estados de Morelos, Hidalgo, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Michoacán, Guanajuato y Jalisco, también empiezan a desarrollarse en Chiapas y algunos otros cultivadores aficionados no reconocidos, que se encuentran distribuidos en los distintos estados de la república, dada la distribución de los estados productores de hongos en el país se puede afirmar que sigue una franja geográfica que se extiende desde el centro de Veracruz, pasando por varios estados del centro y termina en Michoacán. Como se muestra en la figura 1 (Villegas, 1996; Martínez-Carrera et al., 2000).



Figura 1. Principales estados productores de hongos comestibles fuente elaboración propia de acuerdo a los datos de Villegas, 1996.

Esta distribución geográfica explica la distribución de hongos comestibles debido a la tradición micofaga y la existencia de mercados regionales, y a la presencia de microclimas propicios para el cultivo de hongos y por la existencia de centros de investigación en varios de los estados mencionados (Villegas 1996; Martínez-Carrera et al., 2000).

Se estima que aproximadamente el 80-90% de la producción de hongos comestibles se comercializa en la ciudad de México a través de la Central de Abastos, de manera que el comercio está muy centralizado y manipulado por los grandes acaparadores; estas prácticas monopólicas conducen a un excesivo intermediarismo y a la especulación de precios, además de observarse una fuerte carencia de infraestructura de conservación del producto (las bodegas con sistemas de refrigeración apropiada son escasas), todo esto repercute en la calidad, disponibilidad y precios al consumidor (Martínez-Carrera et al., 2000).

3.4 Producción mundial de hongos comestibles

La producción mundial de hongos representa en la actualidad cerca de 3 millones de toneladas por año: 1 millón corresponden a hongos de recolección silvestre y 2 millones restantes a hongos cultivados, el crecimiento del sector es cercano al 5% por año (Martínez, 2012).

El 70% de la producción mundial de hongos la abarcan tres grupos de hongos: *Agaricus bisporus*, las especies de *Pleurotus* y *Lentinula edodes*. El resto abarca al menos una docena de otras especies (Chang, 1999). La potencialidad de la producción de hongos comestibles es muy grande. Solo se cultiva una veintena de especies en Europa y EEUU que no alcanzan a cubrir la demanda mundial (Martínez, 2012).

La mayoría de los países productores también son importadores ya que el consumo promedio en esos países es muy alto y su producción no alcanza a cubrir la demanda. Las exportaciones mundiales de setas y hongos (champiñón) entre 1995 y el 2002, crecieron a una tasa del 10.4%, promedio anual; en el 2002, se comercializaron 346 mil toneladas por un valor de 753 millones de dólares (Martínez, 2012).

Siendo, Irlanda el principal exportador mundial: el valor de sus exportaciones se incrementó entre 1995 y 2002, en 8,3%. Las exportaciones de China, el segundo exportador mundial, en este mismo periodo crecieron a una tasa del 6%. Sobresaliendo por el número de exportaciones Alemania que paso de 1.000 toneladas en 1995 a 10.608 toneladas en el 2002, con una tasa de crecimiento anual del 40% (Talledo, 2003).

Por otro lado, las setas y los hongos frescos son productos que principalmente se destinan al consumo interno. En el 2002, el comercio internacional de setas y hongos frescos equivale, en volumen a cerca del 10% de la producción de este cultivo (Martínez, 2012).

La comercialización de setas y hongos con algún grado de procesamiento, como champiñones secos y enlatados tiene mayor importancia comercial que las setas y los hongos frescos; en el 2002 las exportaciones de champiñones secos y enlatados fueron de 538 mil toneladas, cifra que equivale al 18% de la producción de setas y hongos frescos en ese año (Talledo, 2003).

En el 2002, las exportaciones mundiales de champiñón enlatado, ascendieron a 509 toneladas con un valor de 627 millones de dólares. China, históricamente, se ha caracterizado por ser el principal exportador de champiñones enlatados, situación que se mantuvo en el año de 2002 cuando exporto 238 mil toneladas, equivalente al 46% de las exportaciones mundiales. Le sigue en importancia Holanda con 24% exportando 123 mil toneladas (Talledo, 2003).

Un sistema eficiente de comercialización trae como consecuencia el desarrollo de un país y de los productores, y, por lo tanto, beneficio para los consumidores, esto también disminuye la pobreza y la desnutrición. Para el productor, le promueve la apertura de nuevos mercados y la descentralización, obteniendo ganancias acordes a sus costos de producción al estar presente un sistema bien estructurado de comercialización; también se mejora el déficit comercial, aumentando las exportaciones y disminuyendo las importaciones (Nava, 2000).

3.5 Clasificación taxonómica del hongo *Pleurotus* spp

La taxonomía en hongos mantiene categorías, niveles o jerarquías, las cuales agrupan a los especímenes desde grupos que comparten características desde muy generales a nivel de Reino, hasta aquellos que comparten características muy específicas, las cuales suben hasta el nivel de género, especie, variedad, etc. (Romero, 1993).

Según Romero (1993), la clasificación taxonómica del *Pleurotus ostratus* es:

Subdivisión.....Eumicotina
Clase.....Basidiomycetes
Subclase.....Homobasidiomicetidae
Orden.....Agaricales
Familia.....Agaricaceae
Género.....*Pleurotus*
Especie.....*ostratus*

3.6 Características morfológicas de *Pleurotus* spp

La morfología de los hongos setas se compone de sombrero, laminas, un pie reducido y micelio (figura 2), pueden ser de colores muy variables, desde gris hasta marrón oscuro, pasando por todas las tonalidades intermedias, a veces con reflejos azulados, tomando una coloración más amarillenta con el tiempo. El pileo mide entre 5 y 15 cm, aunque en ocasiones alcanza dimensiones mayores dependiendo de la edad del hongo, convexo a plano convexo, con forma de ostra (García-Rollán, 1982).

Las laminillas están dispuestas radialmente como las varillas de un paraguas, que van desde el pie o tallo que lo sostienen, hasta el borde. Son anchas, espaciadas unas de otras, blancas o crema, a veces

bifurcadas, y en ellas se producen las esporas destinadas a la reproducción de la especie. Estas esporas son pequeñas, oblongas, casi cilíndricas, que en gran número forman más de polvo o esporas, de color blanco con cierto tono lila-grisáceo (García-Rollán, 1982).

El estípite suele ser corto, algo lateral u oblicuo, ligeramente duro, blanco, con el principio de las laminillas en la parte de arriba y algo peloso en la base. Pueden crecer de forma aislada sobre una superficie horizontal o en grupo formando repisas laterales superpuestas sobre un costado de los árboles. La carne de la seta es blanca, de olor y sabor fúngicos y agradables (García-Rollán, 1982).



Figura 2. Morfología de *Pleurotus ostreatus* (Google imágenes).

3.7 Características descriptivas de *Pleurotus ostreatus*

En forma natural *Pleurotus ostreatus* es un hongo comestible saprobio que se encuentra sobre diversos sustratos tales como madera en descomposición, árboles, o desechos agroindustriales. La palabra *Pleurotus* proviene del griego “pleuro” que significa “formado lateralmente”, lo cual se refiere a la posición lateral del estípite respecto al sombrero (Stamets y Chilton, 1983).

La mayoría de los hongos cultivados desarrollan estructuras visibles que producen esporas (basidiomas). Estas estructuras son de construcción compleja y poseen un alto grado de diferenciación de tejidos hifales. Están formados por hifas provenientes del micelio vegetativo, y el cual se transforma en micelio reproductor. Su formación se debe a la agregación y compactación hifal del micelio, además de una alta ramificación hifal, ensanchamientos, engrosamiento de la pared hifal y también gelatinizados (crecimiento, ramificación y agregación hifal) (López et al., 1996).

El cuerpo fructífero de *Pleurotus* y de otros Basidiomycetes es una estructura especializada y diferenciada diseñada para la producción y dispersión de gran número de esporas. A diferencia de las células

meristemáticas de las plantas, el crecimiento aquí se debe a un control establecido por el crecimiento regulado por los ápices de las hifas y su posterior ramificación de los compartimentos subapicales por debajo de la región apical de la hifa (López et al., 1996).

La diferenciación hifal ocurre aun en el estado de colonización del micelio vegetativo dentro del sustrato. Las fases por las que atraviesa un basidioma para su formación son: iniciación, diferenciación, expansión, maduración final. La luz en *Pleurotus* es un factor necesario y determinante para que se lleve a cabo la fase de iniciación y la formación de los basidiomas son la humedad y la ventilación (Lopez et al., 1996).

Pleuroma es el nombre que se aplica al basidioma del hongo *Pleurotus*, es un órgano reproductor y productor de estructura generadoras de esporas, es decir, basidios y basidiosporas, también recibe los nombres de basidioma, basidiocarpo, carpofo, cuerpo fructífero, himenoforo, esporoforo. Es importante decir que el basidio es la estructura en la cual se lleva a cabo la cariogamia y la meiosis y en donde las meiosporangio. El Pleuroma puede ser variable en tamaño, dependiendo de su edad de origen, desde unos cuantos milímetros cuando recién se formó como primordio hasta unos 20 centímetros o más cuando se le ha dejado desarrollar demasiado (López et al., 1996).

El primer estado de desarrollo del Pleuroma es el “primordio”, a un tamaño de 1-2 mm de altura se pueden reconocer como cuerpos redondeos blanquecinos. El cuerpo está separado en dos regiones idénticas aparentemente. Conforme el primordio se alarga las dos zonas se diferencian en tres regiones píleo, laminas y estipe, (figura 2) (Lopez et al., 1996).

3.8 Ciclo de vida de *Pleurotus* spp e importancia en la naturaleza

El ciclo de vida de *Pleurotus ostreatus*, comienza con la germinación de una basidiospora, la cual establece un micelio primario que se caracteriza por tener un crecimiento indefinido, (figura 3).

Una sola seta puede producir hasta 10 mil millones de esporas, las cuales caen de los basidios y son arrastrados por las corrientes de aire. Si una espora cae en un medio adecuado, forma un nuevo micelio, de no ser así muere (Otto, 1982).

En general, lo que se conoce como seta es solo la parte reproductora de todo el organismo; debajo de esta, crece un micelio de hifas plateadas en el suelo o la madera podrida. Las enzimas secretadas por estas hifas degradan las sustancias orgánicas, las cuales son absorbidas como alimento. El micelio puede vivir muchos años, extendiéndose cada vez más en la madera o el suelo. Sobre todo, en primavera y verano, en el micelio se forman pequeñas prominencias de hifas, al salir del suelo, se convierten en las estructuras portadoras de esporas a las cuales denominamos setas (Otto, 1982).

El micelio es susceptible de crecer durante largo tiempo sin que nada lo descubra al exterior, hasta el momento en que, siendo las condiciones favorables, surgen al exterior los carpóforos. Esto explica el hecho de que muchos hongos se encuentran siempre en el mismo sitio, lo mismo si aparecen regularmente cada año, como si tardan más tiempo. Los micelios son capaces de persistir largo tiempo sin dar aparatos fructíferos hasta que las circunstancias del medio les sean favorables. El micelio se presenta en forma de filamentos ramificados, blancos o de otros colores (Lizan, 1967).

Según García (1991), la reproducción de los hongos superiores se realiza por esporas, que se producen en las laminillas que tienen las setas debajo del sombrero. Las esporas son de tamaño microscópico (generalmente de 4 a 10 micras) muy no se ven a simple vista.

Lo normal es las hifas procedan de una espora y se unan a las procedentes de otra que tenga sexualidad distinta, para formar un micelio secundario. Las células de este nuevo micelio tendrán dos núcleos distintos (dicarión) y suelen presentar ensanchamientos laterales junto a los tabiques de separación. El micelio secundario al crecer y llegar la época adecuada, formara nuevas setas que seguirán difundiendo la especie con sus esporas.



Figura 3. Ciclo de vida y desarrollo de *Pleurotus ostreatus* (Google imágenes).

3.10 Valor nutritivo de *Pleurotus ostreatus*

García Rollan, (1985) menciona que el valor nutritivo más elevado es el agua con un (90 al 95%), aumentando con la edad y disminuyendo por estancia en el frigorífico. Como cifras orientadas se puede decir que en 100g de *Pleurotus ostreatus* fresco hay, 10-30 g de proteína cruda, 57-81 g de carbohidratos, 7.5-8.7 g de fibra cruda, 1.6-2.2 g de grasa, 74-91 % de humedad (Rueda, 2014).

Tabla 1. Análisis bromatológico de *Pleurotus ostreatus*.

Composición proximal del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> valores en 100 g de peso seco.	
<i>Humedad</i>	73.9-90.8
<i>Proteína cruda</i>	10.5-30.4
<i>Carbohidratos</i>	57.6-81.8
<i>Fibra cruda</i>	7.5-8.7
<i>Cenizas</i>	6.1-9.8
<i>Grasas</i>	1.6-2.2
<i>Nitrógeno</i>	48.9-74.3

Fuente: Rueda, 2014.

3.11 Propiedades nutricionales de *Pleurotus ostreatus*

A nivel nutricional, los hongos son un producto de alta calidad, por su contenido de aminoácidos esenciales y por su contenido de aminoácidos (4 a 5%), mayor que cualquier hortaliza. Poseen propiedades medicinales muy importantes como la reducción de colesterol con una ingesta de 15 días, propiedades anticancerígenas antivirales, actúan como tónico cardiaco, y presentan bajo contenido calórico.

Proteínas

Los cuerpos fructíferos de los *Pleurotus* o setas, que son las partes comestibles, son una excelente fuente de proteína de buena calidad, esto debido a que, en su contenido, están presentes todos los aminoácidos

esenciales donde los que predominan son la alanina, el ácido glutámico y la glutamina. El porcentaje de proteína en peso seco puede variar entre 10 y 30% aunque puede llegar a ser hasta del 40%. (Breene, 1990).

Carbohidratos

En particular el *Pleurotus ostreatus* tiene un contenido elevado de carbohidratos de 57% y 14% de fibra cruda, de los cuales el 47% es fibra dietética. Dentro de los carbohidratos que contienen dichos hongos, se encuentran pentosas, hexosas, sacarosa, alcohol, azúcares, azúcares-ácidos, metil-pentosas y aminoazúcares como la quitina (Breene, 1990).

Lípidos

Pleurotus ostreatus contiene del 3 al 5% de lípidos en peso seco. La grasa cruda contenida en este tipo de hongos es mayor en el estípite que en el píleo y contiene todo tipo de lípidos, desde mono, di y triglicéridos, esteroides, esterolésteres y fosfolípidos. En general, los lípidos de tipo neutro, constituyen de 20 a 30% del total, los glicolípidos un 10% y los fosfolípidos del 60 al 70%. El ácido linoléico es el que más abunda (hasta en un 80% del total de ácidos grasos) y la fosfatidilcolina y la fosfatidil-etanolamina, son los principales fosfolípidos. Por otro lado, *P. ostreatus*, tiene una buena cantidad de esteroides, ergosterol es el más importante en alrededor de un 70% del total (Breene, 1990).

Vitaminas

Los contenidos de proteínas de los hongos, es alto, ya que presentan valores entre 19 y 35 % en base a materia seca y además las proteínas son de buena calidad, ya que incluyen aminoácidos esenciales para el hombre, como, lisina, leucina, y metionina; contienen gran cantidad de ácidos grasos insaturados; son excelentes fuentes de vitaminas como el complejo B: B1, B2, B12; vitaminas C y D, niacina y ácido pantoténico, (Téllez-Mora, 1994).

Minerales

Los hongos absorben todos los minerales que contiene el substrato donde son cultivados, por lo general contienen buena cantidad de fósforo y potasio, y calcio en menor cantidad. En el caso de *Pleurotus*, se han encontrado, además de los ya mencionados, buenas cantidades de zinc, cobre y magnesio y fósforo. Una proporción media de hierro, manganeso y potasio. El calcio, aluminio y sodio se ha encontrado en pequeñas cantidades. También se han encontrado trazas de fósforo, arsénico y mercurio (Breene, 1990).

3.12 Potencial de los residuos agroindustriales como sustratos en el cultivo de *Pleurotus* spp

Se le llama sustrato al material que proporciona alimentación al hongo, el cultivo comercial es ampliamente practicado utilizando paja de maíz, pulpa de café, además se han realizado ensayos con los siguientes materiales vainas secas de frijol, zacate buffel, viruta de encino, bagazo de henequén, lirio acuático, fibra de coco, olote y tamo de maíz, pimienta, canela, zacate limón, cardomomo (Pérez,1996).

Las pajas y rastrojos comprenden las hojas y tallos de las plantas que permanecen una vez terminado el crecimiento vegetativo y después de haber cosechado las semillas o frutos maduros. Su composición química está determinada principalmente por la relación hoja/tallo y por la especie o familia de la planta (tabla 2) (Reyes, 1990).

3.13 La composición química de los residuos agroindustriales

Tabla 2. Composición química de algunas pajas o rastrojos utilizados en México.

<i>FORRAJE</i>	<i>N.D.T %</i>	<i>P.C%</i>	<i>P.C.D %</i>	<i>F.C %</i>	<i>C.a %</i>	<i>P %</i>	<i>K %</i>
<i>Paja de trigo</i>	44	3	0.3	40	0.23	0.08	0.85
<i>Paja de arroz</i>	45	4	0.6	36	0.21	0.08	1.32
<i>Paja cebada</i>	47	5	0.8	42	0.36	0.12	1.47
<i>Rastrojo maíz</i>	57	7	2.3	34	0.32	0.06	0.50
<i>Paja avena</i>	50	4	0.8	40	0.21	0.11	1.51
<i>Paja soya</i>	43	4	1.4	39	-	0.14	0.70
<i>Paja frijol</i>	48	8	4.0	45	-	1.00	-
<i>Paja cacahuete</i>	51	10	5.6	31	-	0.09	-

NDT= Nutrientes digestibles totales; PC= Proteína cruda; PCD= Proteína cruda digestible; FC= Fibra cruda; Ca = Calcio; P= Fósforo; K= Potasio. Fuente: Reyes, 1990.

3.14 Factores que afectan el cultivo de *Pleurotus* spp

Los hongos requieren de factores ambientales que favorecen su desarrollo; como son, temperatura, humedad, pH, luz, ventilación, para estos factores hay un rango en el cual se pueden desarrollar, (Castillo, 1987).

Temperatura

La temperatura óptima para sembrar es de 24 a 25 °C (cuando todavía está muy poco tibia), no se debe sembrar con paja fría se retrasa el crecimiento, ya que el micelio tarda más en elevar la temperatura dentro de la bolsa. La temperatura más adecuada para que se formen las setas suele ser de 10-12 °C por lo que el ambiente influye en el color del sombrero de las setas que será más oscuro si la temperatura es baja. (García, 1991).

pH

Por naturaleza los hongos crecen bien en medios ligeramente ácidos; es decir, del 5.5 al 6.6. En el caso de *Pleurotus* spp, la adición de carbonato de calcio sirve para evitar que el pH baje mucho debido a la acción acidificante del micelio. Si el sustrato es muy ácido el hongo crecerá poco, no se alcanzarán las temperaturas ni el nivel de CO₂ recomendable y crecerán competidores (Pérez, 1996).

Humedad

La humedad del ambiente ha de ser alta entre (90 y 95 %) por lo que el local ha de disponer de un sistema humidificador (García, 1991). Se recomienda que la humedad sea del (70 al 78%), esto varía según el sustrato, ya que algunos retienen más el agua que otros. Si hace falta humedad el hongo no se desarrolla bien porque el medio está seco, de lo contrario, si hay exceso de humedad, el agua ocupara todo el espacio y no habrá lugar para el intercambio de gases. Uno de los síntomas de exceso de humedad es la acumulación de escurrimientos en la base del recipiente, si empieza a haber ataques de bacterias el olor de estos escurrimientos será desagradable. La humedad del (95%) es otro factor indispensable que favorece la estimulación de los primordios del fruto del hongo, a fin de mantener esta humedad se dan un riego ligero por día en forma de nieva (Pérez, 1996).

Riegos

El riego es un factor importante ha de ser suficiente para que permanezcan húmedos, 70-75% de humedad. Las gotas de agua deben ser lo más finas posible, y si se riega cuando las setas están creciendo conviene que después de cada riego se aumente un poco el aire fresco para que se sequen las gotas que hayan caído sobre los sombreros (García, 1991).

Luz

Esta es necesaria de 8-12 horas diarias, ya que sin ella las setas salen deformadas con pequeños sombreros pálidos y pies largos. Es suficiente una luz que permita ver durante las horas diurnas para la formación de botones (García, 1991).

Ventilación

La ventilación del local es fundamental en esta fase, pues el contenido del aire en dióxido de carbono debe ser inferior al 0,07 por ciento. Si el contenido es mayor se retrasa el crecimiento y si llega a unos 0,2 por ciento se produce la muerte del hongo. Como cifras orientadoras de ventilación se puede indicar una renovación de 150-250 m³/ h de aire y por cada tonelada de sustrato. Algunos autores aconsejan que la velocidad del aire a nivel de los bosques sea de unos 0,2 m por segundo (García, 1991).

Higiene

En la mayor parte del proceso productivo se debe cuidar la sanidad, en la propagación de cepas, en la producción de semilla, en la siembra del sustrato, durante la propagación del micelio, durante la fructificación, cosecha, etc., esto implica hábitos y rutinas higiénicas en el personal y un estricto control sanitario sobre operarios, equipos y áreas de trabajo (Villegas, 1996).

3.15 Manejo del cultivo del hongo *Pleurotus* spp

El crecimiento micelial y los procesos de fructificación de *Pleurotus ostreatus* en donde estos están determinados por varios aspectos químicos, físicos, biológicos y ambientales. Dentro de los factores químicos, el pH es de vital importancia ya que los niveles de acidez o alcalinidad pueden detener, inhibir o estimular procesos vitales. Se estima que la absorción de ácidos orgánicos y asimilación de minerales, así como la producción de antibióticos son influidas directamente por el pH del sustrato (Martínez-Carrera et al., 1993).

Los hongos de tipo comestibles se caracterizan por preferir pH entre 5-7. Entre los principales factores físicos se considera la luz y la temperatura. Los hongos comestibles se caracterizan por soportar amplios rangos de temperatura que oscilan de los 20°C a los 32°C, dependiendo del tipo de especie. La temperatura óptima de fructificación es normalmente menor que la del desarrollo micelial en todas las

especies. En cuanto a la humedad relativa y la humedad del sustrato deben estar entre 80-90% y 70-80%, respectivamente. La concentración de oxígeno y bióxido de carbono en el ambiente influye significativamente, tanto en el desarrollo micelial como en la producción de cuerpos fructíferos, sobre todo en la cantidad y la calidad de los hongos a producir. De igual forma, puede inhibir o estimular la presencia de organismos benéficos al cultivo (Martínez-Carrera et al., 1993).

Los hongos de tipo seta pueden ser cultivados y cosechados en diferentes recipientes y en diferentes formas algunas son el cultivo sobre troncos cortados, sobre tocones de madera, sobre pajas de cereales dentro de bolsas plásticas o arpias de costales, también puede utilizarse rejas de plástico o cubos rellenos de algún deshecho agrícola.

3.16 Comportamiento de la producción

La producción se presenta en oleadas; es decir, salen abundantemente durante 3 a 8 días, luego hay una parada de días a veinte días (García, 1991). Una vez que el fruto alcanza un tamaño visible esto es, de 3 a 5 cm de diámetro se empezara a desarrollar en este primer estado de desarrollo las condiciones de las salas de cultivo se manejan como sigue: la temperatura entre los 16 y 20 °C, entre mayor sea la temperatura más rápido se desarrollara el hongo. A los 5-6 días de que se inició el crecimiento el hongo puede ser cosechado, en climas cálidos el hongo puede desarrollarse en uno o dos días. No todos los cultivos producen al mismo tiempo hay diferencias de dos a cuatro días entre ellos, pero en un 60% fructifica al mismo tiempo. Después de que se cosecha el producto de un cultivo la próxima brotación tarda de 4 a 6 días, durante ese tiempo no es conveniente regar directamente ya que el micelio resulta dañado por exceso de agua. Para fines comerciales se realizan máximo 3 cortes por cada bolsa ya que los nutrientes de los sustratos son agotados. A cada uno de los cortes se les da el nombre de “oleadas”. Para uniformizar las oleadas se recomienda hacer cortes totales del producto de cada oleada aun cuando haya de diferentes tamaños (Pérez, 1996).

3.17 Cosecha

Las setas se deben recoger (generalmente en grupos) sin estropear el micelio. La primera oleada es la que produce más cantidad de setas generalmente tras la tercera tanda no suele compensar económicamente. Cuando ha terminado de recogerse la última tanda, hay que vaciar el local y eliminar la paja o sustrato agotado, llevándolo lejos de la explotación. Durante el cultivo, el sustrato pierde mucho peso y materia orgánica y su olor después de gastado no es desagradable y podría emplearse como abono e incluso en la alimentación del ganado ya que la digestibilidad de la paja de cereales para rumiantes mejora con el

cultivo por degradarse la lignina (sobre todo en la fase de incubación) y por aumentar los compuestos solubles y los aminoácidos (García, 1991).

3.18 Rendimiento

Rinker, (1989). citado en Pérez 1996, señala que el rendimiento del cultivo depende de varios factores y uno de ellos es el sustrato que se emplea, ya que algunos presentan mayor resistencia a la descomposición ya que tienen diferentes contenidos de lignina y celulosa. El rendimiento del cultivo puede ser mejorado por la adición de suplementos tales como alfalfa deshidratada, harina de soya (Rinker, 1989; Zadrazil, 1980), harina de plumas, grano de cebada (Rinker, 1989), estos materiales deben ser mezclados al momento de estar realizando la pasteurización. Las suplementaciones de los sustratos varían de 10 a 20 %, según el material, por ejemplo: la alfalfa se suplementa con un 20% mientras que la cebada y la harina de soja se usa de un 12 a 20 % para suplementar. La adición de estos materiales no se recomienda en más del 20% ya que el sustrato se calienta demasiado y pueden aparecer hongos competidores. Se estima que el rendimiento de siete a nueve semanas se puede producir entre 100 y 200 kg de *Pleurotus* por tonelada de sustrato preparado y húmedo (García, 1991).

3.19 Rendimiento biológico

Beltrán et al., (1995) coinciden en que el rendimiento de los sustratos, está en función del peso fresco de hongos por cada parte del peso seco del sustrato, esto es lo que se conoce como eficiencia biológica.

$$\text{Eficiencia biológica (EB)} = \frac{\text{Peso del hongo fresco (PHF)}}{\text{Peso del sustrato seco (PSS)}} \times 100$$

El cálculo de la materia seca se realiza con la siguiente fórmula:

$$\text{PSS} = \text{Peso del sustrato} - \text{Peso seco del sustrato}$$

Zadrazil, 1980 para el caso del rendimiento biológico se toma como aceptable la producción de 200 a 250 kg o más por cada tonelada de sustrato, (citado en Pérez, 1996), utiliza el término de rendimiento como porcentaje del sustrato original en seco.

(Peso seco de hongos / peso seco del sustrato) X 100.

En la explotación comercial el parámetro de productividad, expresado como eficiencia biológica, masa de hongo fresco por masa de sustrato seco, juega un papel importante al ser el indicador de la utilización y aprovechamiento del sustrato. Este parámetro varía de manera natural de acuerdo al tipo de sustrato y

proceso empleado, como se muestra en la tabla 3, de cada sustrato se obtienen eficiencias biológicas diferentes, las cuales dependen de las características nutricionales de cada sustrato.

En estudios anteriores realizados utilizaron la pulpa de café y la paja de cebada realizando tres cortes en dos cepas (IE 38 y IE134), sobre la pulpa de café se encontraron los resultados de eficiencia biológica de 125% en 40 días de producción (Velásquez et al. 2002). Mientras que en paja de cebada es de 56.5% (Salmones et al. 1995).

En otros estudios probaron la fibra del fruto de coco (*Cocos nucifera*) en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* mezclándolo con la pulpa de café en proporciones de 1:1 y 1:2, con diferentes periodos de fermentación; la fibra de coco su eficiencia biológica fue de 80.6%; para la proporción 1:1 la máxima fue de 120.5% a los 5 días de fermentación y para la proporción 1:2 fue de 152% a los tres días de fermentación. Bernabé et al (1993) citados por Rodríguez (1996), obtuvieron una eficiencia biológica de 17.51% en la pulpa de café considerándose como buena para la producción de especies *Pleurotus ostreatus*. Martínez et al. (1998) citados por Gaitán (1993).

Tabla 3. Eficiencia biológica de *Pleurotus* spp en diferentes sustratos.

Sustrato	Eficiencia biológica (%)
<i>Paja de trigo</i>	90
<i>Paja de cebada</i>	95
<i>Paja de amaranto</i>	194

<i>Bagazo de agave tequilero</i>	96.4
<i>Bagazo de caña de azúcar</i>	60.18
<i>Pulpa de café</i>	196
<i>Estopa de coco fresca</i>	130
<i>Fibra de coco seca</i>	90
<i>Orégano</i>	117
<i>Eucalipto</i>	55
<i>Zacate limón</i>	113.01
<i>Pulpa de cardamomo</i>	113.6
<i>Cascarilla de algodón</i>	52
<i>Tamo de maíz</i>	186
<i>Olote de maíz</i>	50.5

Fuente: CONACYT, 1991.

4. Justificación

Los hongos comestibles son de gran calidad nutricional ya que poseen el doble de contenidos de proteína que los vegetales, gran contenido de minerales, son bajos en calorías y disponen de los nueve aminoácidos

esenciales, contando con leucina y lisina un aminoácido ausente en la mayoría de los cereales. Además de poseer cierta actividad a nivel inmunológico.

Además, el cultivo de hongos setas es una alternativa más que viable no solamente al contribuir a la generación de biomasa alimentaria sino también a combatir el cambio climático ya que su cultivo propone una mejor integración de los sistemas de producción de alimento en procesos ecológicos al emplear para ello residuos agroindustriales, evitan la degradación de suelos y evitan las pérdidas de biodiversidad, además de no agotar recursos naturales, empleando una agroecología, siendo hoy en día un modelo de producción de alimento más sostenibles, inclusivos y resilientes.

Es por ello y con base en el aprovechamiento de residuos agroindustriales, en este caso, lo que son el bagazo de maguey mezcalero, y viruta de madera, los que hace de este un trabajo de interés ya que permiten la utilización de estos residuos como medio para la producción de biomasa alimentaria, para consumo humano y evitando con ello la contaminación medio ambiental en la quema o arrojado a ríos y arroyos de estos residuos.

Sin mencionar que dicho trabajo generará los conocimientos a nivel personal para el desarrollo de la producción de setas u hongos comestibles.

5. Objetivos

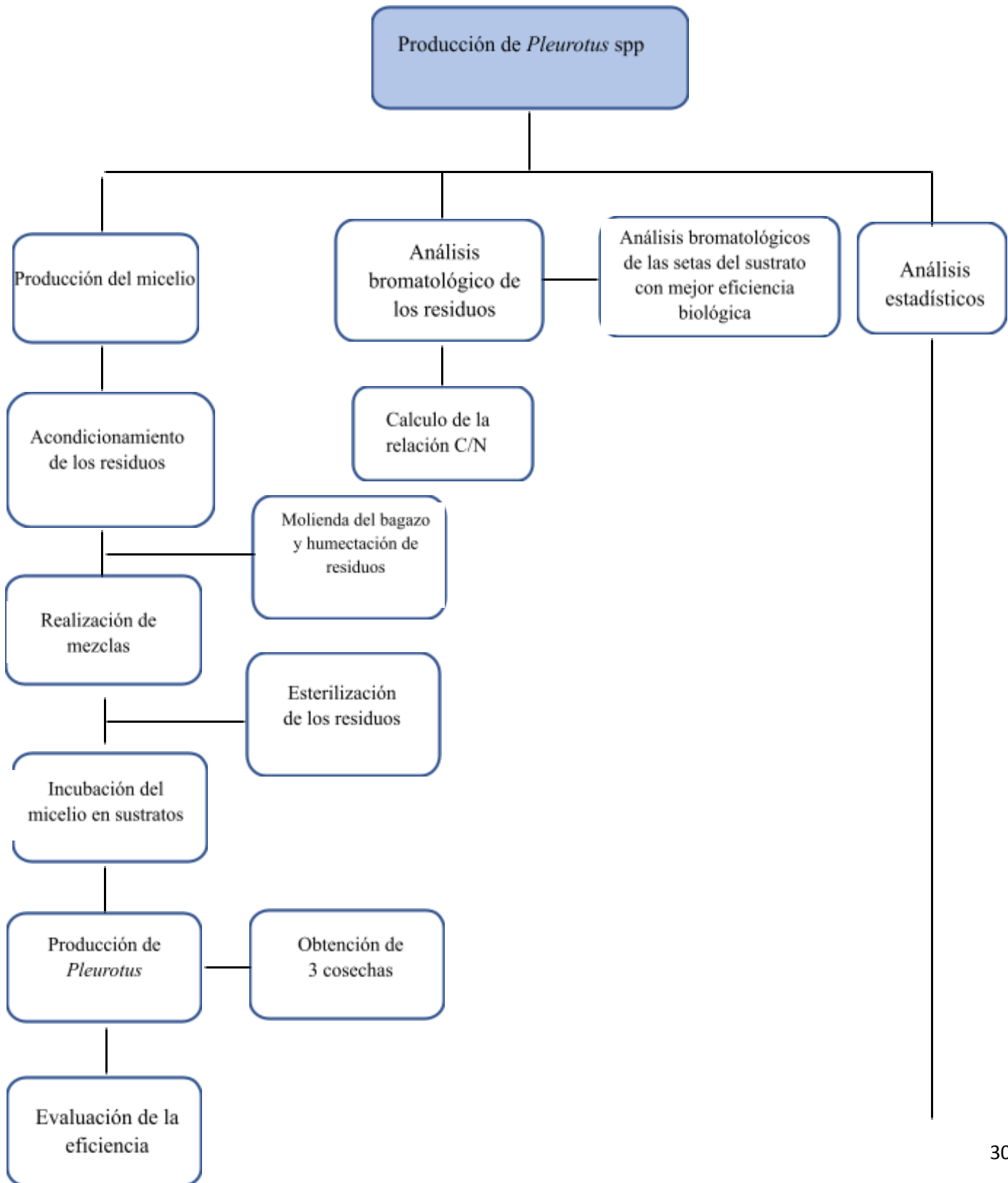
5.1 Objetivo general

- Producir hongos setas sobre bagazo mezcalero y viruta, analizar la eficiencia biológica de estos residuos agroindustriales como sustratos idóneos para el cultivo de *Pleurotus* spp.

5.2 Objetivos particulares

1. Producir micelio activado sobre semilla de sorgo.
2. Registrar la invasión miceliar en las mezclas de los sustratos.
3. Analizar fisicoquímicamente la viruta, el bagazo mezcalero y las setas obtenidas.
4. Evaluar la eficiencia biológica de las mezclas de sustratos en la producción de *Pleurotus* spp.
5. Determinar la influencia de la composición de los sustratos sobre la composición nutricional de las setas.
6. Determinar el mejor sustrato y mezcla para la producción comercial de hongos setas.

6. Diagrama general de trabajo



Fuente: diseño del estudio.

7. Materiales y métodos

7.1 Área de estudio

El presente trabajo estará dividido en etapas, la primera comprenderá el desarrollo del cultivo del hongo *Pleurotus* spp en las instalaciones del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA) del Instituto de Ciencias de la BUAP, y la segunda etapa comprenderá, los análisis bromatológicos de los sustratos empleados, y una tercera la cual comprenderá el cultivo del hongo *Pleurotus* spp y el análisis estadístico de resultados.

7.2 Material

El bagazo de maguey mezcalero se obtuvo de una destilería de mezcal, del municipio de San Pablo Villa de Mitla, Oaxaca., la viruta de madera empleada se obtuvo de una maderería y aserradero ubicada en la Heroica Puebla de Zaragoza, la semilla de sorgo y la cepa de *Pleurotus* spp fueron proporcionados por el Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA). Se empleó material de vidrio y reactivos de grado analítico el necesario para cada determinación bromatológica.

Además, se ocuparon como material biológico, la cepa G de *Pleurotus* spp, semilla de sorgo, bagazo de agave mezcalero y viruta de madera (Tabla 4).

El equipo empleado durante la investigación está considerado en la Tabla 5.

Tabla 4. Material biológico empleado para la investigación.

<i>Material biológico</i>	<i>Simbología</i>
<i>Cepa de Pleurotus</i> spp	Cepa G
<i>Semilla de sorgo</i>	S
<i>Bagazo de agave mezcalero</i>	BM
<i>Viruta de madera</i>	VM

Tabla 5. Equipo empleado para la investigación.

<i>Equipo</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>
<i>Molino de martillo</i>	Sin marca	Sin modelo

<i>Criba de 1.5 cm</i>	Sin marca	Sin modelo
<i>Balanza granataria</i>	Cosmos	1999
<i>Balanza analítica</i>		

7.3 Métodos

Los métodos empleados para la producción de *Pleurotus* spp y los análisis bromatológicos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Métodos empleados para el desarrollo del cultivo y producción de setas como análisis bromatológicos.

Proceso	Método	Referencia
<i>Producción de micelio</i>	Manuales	(Sánchez,2001); (Gaitan-Hernandez, 2006) (UNITED NATIONS, 2008).
<i>Acondicionamiento de residuos</i>	Manuales	(Sánchez,2001); (Gaitan-Hernandez, 2006) (UNITED NATIONS, 2008).
<i>Producción</i>	Manuales	(Sánchez,2001); (Gaitan-Hernandez, 2006) (UNITED NATIONS, 2008).
<i>Evaluación de eficiencias</i>	Fórmula $EB = \frac{PCF}{PSS} \times 100$	(Sánchez, 2001).
<i>Tasa de producción</i>	Fórmula	(Sánchez, 2001).
<i>Determinación de humedad</i>	Termo balanza	FAO Documento de campo No.7
<i>Determinación de cenizas</i>	Calcinación	FAO Documento de campo No.7
<i>Determinación de proteína</i>	Kjeldahl	FAO Documento de campo No.7
<i>Determinación de fibra</i>	Wendel	FAO Documento de campo No.7
<i>Determinación de grasas</i>	Soxhlet	FAO Documento de campo No.7
<i>Determinación de carbohidratos</i>	Por diferencia	FAO Documento de campo No.7
<i>Relación C/N</i>	Fórmula	(Sánchez, 2001)

8. Metodología

8.1 Producción de micelio activado y diseño

La cepa del hongo *pleurotus* spp utilizada fue proporcionada por el Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA), del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). El hongo se inoculó en placas de agar de papa dextrosa (PDA), posteriormente se tomó un corte de micelio en (PDA) y se inoculó en semilla de sorgo esterilizada (*Sorghum vulgare*). El tiempo de incubación de la semilla fue de 25 días a temperatura ambiente 18-25°C.

Se emplearon dos sustratos, de los cuales se realizaron diferentes mezclas cada uno de los tratamientos se realizaron por triplicado, los resultados se expresaron con la media \pm SD. Los resultados fueron analizados en programa Graph pad prisma versión 5.0, los análisis estadísticos realizados fueron comparación de medias, para datos de más de dos grupos se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía y para la comparación de grupos se utilizó una T de Student, se tomará como diferencia significativa una $p < 0.05$.

Las variables eficiencia biológica (EB), tasa de incubación (TI), relación carbono y nitrógeno (C/N), (pH) y tasa de producción (TP).

Para este trabajo se realizaron tres cosechas de hongos setas por cada muestra para calcular la eficiencia biológica y la tasa de producción durante un periodo variable de 10 a 15 días, después de cada corte de acuerdo al ritmo de crecimiento del hongo seta.

8.2 Acondicionamiento de los residuos

Cada sustrato fue secado previamente a ser empleado, posteriormente se fragmentó el bagazo de agave mezcalero empleando un molino de martillo con criba de 1,5 cm de diámetro, para obtener el mejor manejo y superficie de contacto logrando el desarrollo miceliar, los trozos que se emplearon fueron de

2-15 cm, aproximadamente. Mientras que la viruta de madera solo se hidrato ya que el tamaño de partícula era ideal para su manejo.

8.2.1 Realización de mezclas

Las mezclas se realizaron siguiendo las relaciones que se muestran en la Tabla 7, se emplearon bolsas de polipapel de 25 x 35 cm, se prepararon bolsas de plástico de 1 kg (peso húmedo) para cada tratamiento, los cuales se realizaron por triplicado.

Las masas de los sustratos fueron humectadas en un aproximado de 80% de humedad, previamente a ser colocados en las bolsas y sometidas a esterilización en olla de presión en las instalaciones del DICA, a una temperatura de 120 °C durante 20 minutos.

Tabla 7. Mezclas realizadas BM (bagazo de mezcal) VM (viruta de madera) BM/VM (mezcla de bagazo de mezcal y viruta de madera).

<i>Tratamientos</i>		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
<i>1</i>	BM	100%	100%	100%
<i>2</i>	VM	100%	100%	100%
<i>3</i>	BM/VM	50%/50%	50%/50%	50%/50%
<i>4</i>	BM/VM	70%/30%	70%/30%	70%/30%
<i>5</i>	BM/VM	30%/70%	30%/70%	30%/70%

Fuente: Diseño del estudio.

8.3 Incubación

Posteriormente las mezclas de sustrato estéril se dejaron enfriar durante un periodo de 8 horas, y se inocularon con 2% de semilla en relación al peso húmedo de los sustratos, la semilla se incorporó de la manera más uniforme dentro de las capas de sustrato para cada bolsa.

Las bolsas inoculadas con el micelio se dejaron reposar en el módulo de propagación dentro de las instalaciones del DICA por un periodo de 10 días y posteriormente, estas bolsas fueron transportadas al

módulo de cosecha dónde se colocaron en una mesa de acero inoxidable previamente desinfectada, dicho espacio se acondiciono previamente, donde el micelio termino su etapa de invasión al sustrato.

8.4 Producción

A partir de la inoculación del sustrato y hasta la primera cosecha, se evaluó la invasión micelial cada 48 horas (porcentaje de sustrato invadido), de forma perceptiva empleando una cuadrícula que va del 10 al 100%. Posterior a esto, se realizaron visitas al área de cultivo, una vez terminado este periodo, monitoreando la formación de primordios (todas las necesarias dependiendo de las condiciones climáticas), hasta la formación de los primordios. Posteriormente a la formación de éstos se realizaron cortes a las bolsas de forma vertical de aproximadamente 5 cm, cercanos al desarrollo de estos cuerpos, permitiendo la entrada de aire, igualmente se realizaron riegos al sustrato mediante un atomizador para evitar la desecación del sustrato y mantener la humedad adecuada.

Una vez desarrollados los primordios, se prosiguió a realizar la cosecha una vez que el cuerpo fructífero maduro mostrara los bordes del píleo totalmente extendido y exponiendo sus láminas. El peso fresco se obtuvo pesando en bascula granataria los cortes realizado de hongos fructificados.

8.5 Evaluación de la eficiencia biológica y la tasa de producción

La eficiencia biológica de *Pleurotus* spp y la tasa de producción se obtuvo con la fórmula una vez terminados el periodo de tres cosechas o cortes de la producción.

Para la realización de cortes se comenzó unas dos o tres semanas después de aparecer el primer botón a partir de esta primer fructificación se recogen las primeras setas. La producción de setas se concentra en tres a ocho días y luego para de diez a veinte días, después abundan otra semana y así sucesivamente, dándose en oleadas por cada corte y luego en intervalos de periodos largos entre primer corte, segundo y tercero.

El cálculo de la eficiencia se realizó con la siguiente fórmula: PSS= Peso del sustrato – Peso seco del sustrato.

$$\text{Eficiencia biológica (EB)} = \frac{\text{Peso del hongo fresco (PHF)}}{\text{Peso del sustrato seco (PSS)}} \times 100$$

El cálculo de la tasa de producción se realizó con la siguiente fórmula: TP= EB/ número total de días requeridos para cosecha.

$$\text{Tasa de producción (TP)} = \frac{\text{EB}}{\text{Días requeridos para la cosecha}}$$

8.6 Determinaciones bromatológicas

Las determinaciones de los análisis proximales se realizaron de acuerdo a los métodos del documento de campo No. 7 de la FAO (FAO, 1993). Para llevarlos a cabo los sustratos y los hongos fueron deshidratados y molidos.

Los análisis bromatológicos que se realizaron fueron humedad mediante termo balanza, proteína técnica de Kjeldahl, carbohidratos totales por diferencia, ceniza por calcinación, grasa mediante Soxhlet y fibra por método Wendel, dichos análisis se realizaron por triplicado (FAO, 1993).

8.7 Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico los resultados fueron analizados en programa Graph Pad Prisma versión 5.0, y Excel. Los análisis realizados fueron comparación de medias, para datos de más de dos grupos se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía y para la comparación de grupos se utilizó una T de Student, se toma como diferencia significativa una $p < 0.05$. Las variables analizadas se muestran dentro de la tabla 8, del diseño de tratamientos.

Tabla 8. Diseño de tratamientos y variables evaluables.

<i>Tratamientos</i>		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>VARIABLES A EVALUAR</i>
1	PT (testigo)	100%	100%	100%	Eficiencia biológica(EB)
2	BM	100%	100%	100%	
3	VM	100%	100%	100%	
4	BM/VM	50%/50%	50%/50%	50%/50%	Concentración de iones Hidrogeno(pH)
5	BM/VM	70%/30%	70%/30%	70%/30%	
6	BM/VM	30%/70%	30%/70%	30%/70%	Tasa de incubación (TI)

					Relación carbono-nitrógeno(C/N)
					Tasa de producción(% TP)

Fuente: diseño del estudio.

9. Resultados y discusión

9.1 Análisis proximales de los sustratos y cálculo de la relación carbono nitrógeno C/N

Los resultados de los análisis de la composición nutrimental del bagazo mezcalero son muy similares en cuanto a la composición y calidad de nutrimentos de algunos sustratos como la paja de trigo, pulpas de café, lo que influye en la calidad de la composición nutrimental del hongo y la eficiencia y tasa de producción que se pueden obtener de estos sustratos, a diferencia de la viruta que presenta menores cantidades de nutrimentos, los cuales influyen en la obtención de una baja eficiencia biológica y tasa de producción.

Tabla 9. Análisis bromatológico de bagazo y viruta.

<i>Proximal de bagazo de agave mezcalero</i>		<i>Proximal de la viruta de madera</i>
Componente	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
<i>Humedad</i>	5.12	0.04
<i>Proteína</i>	1.633	0.7437
<i>Ceniza</i>	7.416	0.59
<i>Lípidos</i>	4.76	5.86
<i>Fibra</i>	56.78	80.07
<i>Carbohidratos</i>	24.3	12.6963
<i>% Nitrógeno</i>	0.2613	0.119
<i>Potencial de hidrogeno</i>	6,5	4,87

C/N	132	500
-----	-----	-----

Fuente : resultados de laboratorio.

9.2 Producción de micelio activado

La cepa G de *Pleurotus* spp empleada para este trabajo, obtuvo un adecuado desarrollo en los sustratos de bagazo y viruta, como en sus mezclas debido a que logro colonizar el 100% de sustrato (figura 4) comparando el tiempo que tardo el micelio en colonizar los tratamientos. No se observó una diferencia estadística en la velocidad de colonización, (figura 5) donde se muestra la gráfica el tiempo eje X (Tiempo), que le tomo al micelio colonizar la totalidad del sustrato eje Y (%), se aprecia que la desviación estándar es grande, lo que indica una amplia dispersión, lo que provoca que no haya una diferencia significativa en la velocidad de la invasión, sin embargo, es apreciable una tendencia en el tratamiento BM 100%, el cual se puede apreciar una colonización más rápida, siendo que para el día 18 las tres replicas presentaban una invasión del 100%. Por el contrario, es apreciable que los tratamientos que tuvieron una velocidad de invasión más baja fueron VM 100%, y BM/VM ^{70%/}_{30%}, en estos tratamientos, se aprecia una tendencia más lenta debido a que en los días 16 la colonización en comparación a los otros tratamientos fue menor al 80%, tardando más tiempo en alcanzar el 100%.



Figura 4. Obtención de micelio activado e invasión sobre los sustratos a) micelio primario activado en semilla de sorgo, b) sustrato inoculado con micelio activado, e invasión de micelio, c) sustrato completamente invadido por el micelio. Fuente resultados de laboratorio.

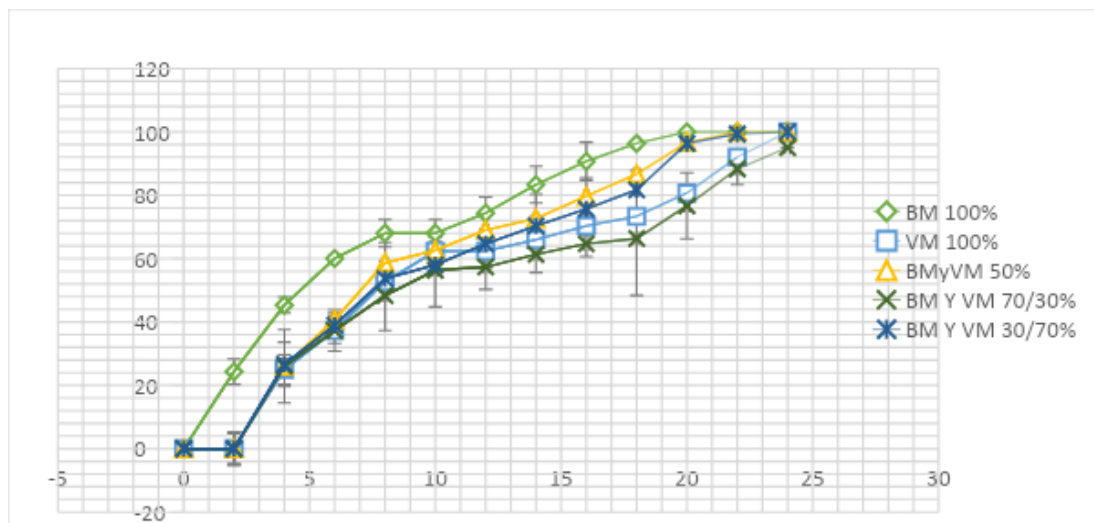


Figura 5. Curva de invasión del micelio hacia los tratamientos. Fuente: resultados de laboratorio.

En la figura 5, se puede observar la tendencia de la invasión del micelio hacia los tratamientos, observándose mayor desarrollo de invasión sobre el tratamiento BM 100%, a los 18 días con una total invasión, BM/VM ^{50%/50%}, BM/VM ^{30%/70%}, llegando a los 22 días con un 100% de invasión, mientras que los tratamientos VM 100% presentaron problemas para llegar al 100% junto al tratamiento BM/VM ^{70%/30%}, que presento la tasa más lenta de invasión hasta llegar al 100%. Sin embargo, en el análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la invasión sobre los sustratos por lo que el desarrollo de la invasión de micelio fue óptimo.

9.3 Cálculo de EB y TP

El periodo total de cultivo de los hongos setas se extendió por 78 días, en los cuales se realizaron tres cortes. Durante el primer corte se presentó una oleada de calor intenso la cual afecto seriamente el cultivo, en dicho periodo los primordios no lograron desarrollarse ya que las temperaturas fueron muy elevadas alcanzando los 32 °C, dentro del área o módulo de cultivo, acortando las oleadas y dando una escasa fructificación durante este primer periodo; sin embargo, se alcanzaron a obtener tres cosechas, las cuales se observan en la tabla 10, donde se aprecia los valores de producción de cada tratamiento durante estos tres cortes. En la tabla 11, se muestran los valores obtenidos de las eficiencias y las tasas de producción, en los cuales la (EB) y (TP) más altos, fueron del tratamiento BM 100%, De acuerdo a estudios realizados por (Chairez-Aquino, 2015; Lara M., 2002). las eficiencias biológicas del bagazo mezcalero y tequilero reportados son superiores al 60%, mientras que para este trabajo las eficiencias del tratamiento BM 100% alcanzaron el 134% de EB, reportando la menor eficiencia en el tratamiento de VM 100% la cual alcanzo un 34% de EB y una TP muy baja, (Tabla 11), dichos resultados concuerdan con los reportados por (Mandee, 2005; Narh, 2011; Mata, 2005); sin embargo, los resultados, no son estadísticamente significativos porque, al igual que la velocidad de invasión, las desviaciones estándar para EB y TP son muy altas, dándoles una amplia dispersión, no obstante, se aprecia la tendencia del tratamiento BM 100% en obtener mayores EB y TP, como se aprecia en las figuras 6 y 7, donde en comparación a los otros tratamientos se obtienen mejores resultados, obteniendo EB y TP, similares en los tratamientos BM/VM ^{30%/70%}, BM/VM ^{70%/30%}, y las más bajas en los tratamientos VM 100% y BM/VM ^{50%/50%}.

Tabla 10. Cortes realizados a los tratamientos valores de productividad por tratamiento expresados en Gr.

<i>Tratamiento</i>	<i>Primer corte</i>	<i>Peso</i>	<i>Segundo corte</i>	<i>Peso</i>	<i>Tercer corte</i>	<i>Peso</i>
	14 mayo-20 mayo		20 junio -9 julio		11 julio – 1 agosto	
<i>BM 100%</i>	6 días	900 g	18 días	560 g	20 días	310 g

<i>VM 100%</i>		110 g		265 g		310 g
<i>BM/VM 50%/50%</i>		110 g		320 g		458 g
<i>BM/VM 70%/30%</i>		0 g		410 g		570 g
<i>BM/VM 30%/70%</i>		180 g		275 g		395 g

*Se obtuvo un total de tres cortes, con cuatro oleadas y en los primeros dos y cinco en oleadas al tercer corte.

Fuente: Resultados de laboratorio.

Tabla 11. Eficiencias biológicas y tasa de producción calculados de los tratamientos de residuos.

<i>Tratamiento</i>	<i>Eficiencia expresada en (%)</i>	<i>Tasa de producción</i>
<i>BM 100%</i>	134 %	1.88
<i>VM 100%</i>	36 %	1.81
<i>BM/VM 50%/50%</i>	50 %	1.44
<i>BM/VM 70%/30%</i>	72 %	1.28
<i>BM/VM 30%/70%</i>	76 %	0.71

Fuente: Resultados de laboratorio.

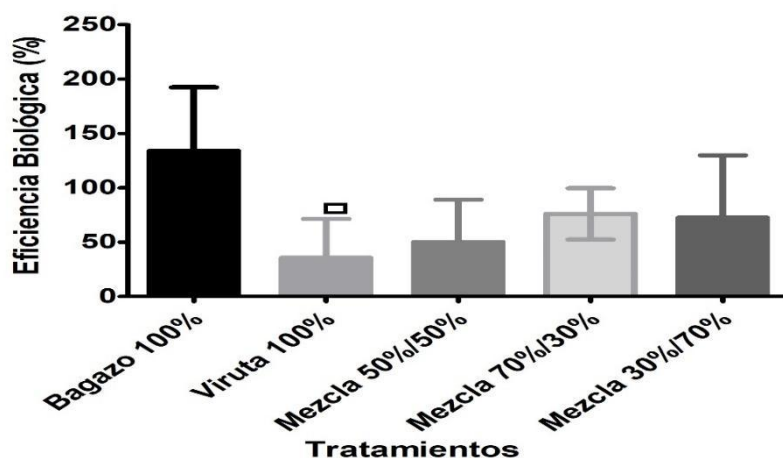


Figura 6. Comparación de eficiencia biológica en los tratamientos. Fuente: Resultados de laboratorio.

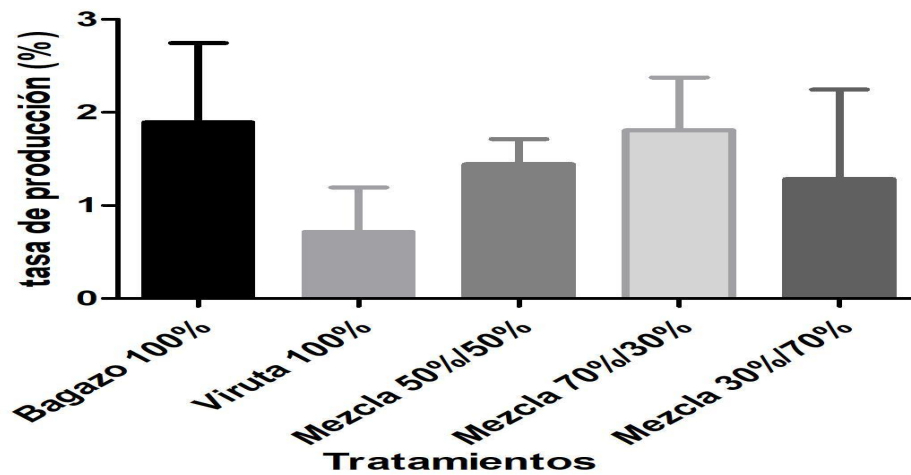


Figura 7. Tasas de producción de los sustratos. Fuente: Resultados de laboratorio.

9.4 Análisis proximales de las setas

En la tabla 12 se aprecian los valores obtenidos del análisis químico proximal encontrados en los hongos setas, cultivados en cada tratamiento, en los cuales se obtuvieron algunos valores menores en relación a lo reportado por (Bercián-Moguel, 2006; Salas, 2004; Rueda, 2014), dichos valores pudieran haber variado por el tipo de sustrato empleado para este trabajo y/o método empleado para su obtención, ya que los valores reportados en otros estudios han empleado sustratos como la paja de trigo, paja de cebada, pulpa de café y algunas otras mezclas.

Con la finalidad de inferir si la composición nutrimental de los sustratos afectaba la composición nutrimental de los hongos se realizó, un análisis de ANOVA de una vía, y para analizar la cantidad de nutrientes en los sustratos se empleó una T-Student tomando como diferencia significativa un valor de $p < 0.05$.

Tabla 12. Análisis bromatológico de *Pleurotous* spp cosechados en la primera cosecha.

Setas de bagazo 100%		Setas de viruta 100%	Setas mezcla 50%/50%	Setas mezcla 70%/30%	Setas mezcla 30%/70%
Componente	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Humedad	88.50	87.55	87.11	87.45	87.45
Proteína	14.3	13.61	9.64	10.9	10.52
Ceniza	5	4.20	3.8	4.33	4.31
Lípidos	9.6	7.77	6.7	7.65	15.13
Fibra	36.25	36.33	31.54	45.9	33.2
Carbohidratos	23.42	35.65	35.4	18.8	24.54

Fuente: Resultados de laboratorio.

Los resultados obtenidos de fibra en los sustratos, muestran que la viruta presenta mayor proporción de este nutriente a diferencia del bagazo; sin embargo, no se observaron diferencia en el contenido de fibra en los hongos setas (figura 8), no obstante, se observa que los hongos setas del tratamiento BM/VM ^{50%/50%} es el que contiene menor cantidad de fibra y el tratamiento BM/VM ^{70%/30%} es del que se obtienen hongos setas con cantidades mayores en fibra.

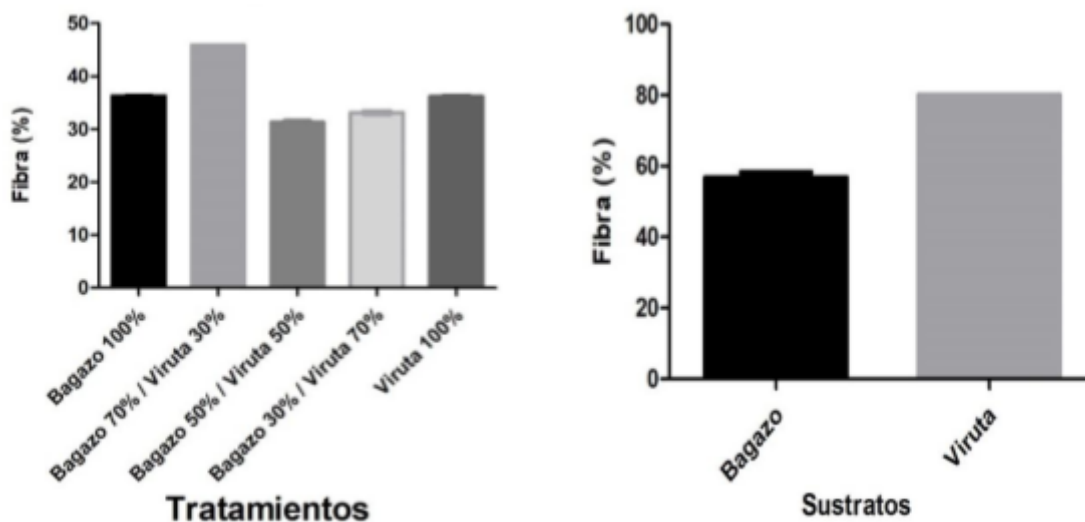


Figura 8. Comparación de contenido de fibra en sustratos y relación de contenido con el contenido de fibra en la producción de hongos. Fuente: Resultados de laboratorio.

En los resultados obtenidos también se puede observar que el sustrato de bagazo contiene un porcentaje mayor de proteína ($p < 0.01$) en comparación con la viruta, por tanto, se esperaría que el contenido de proteína de los hongos cosechados en el tratamiento bagazo 100% fueran significativamente mayor que el tratamiento con viruta 100%, sin embargo, a pesar de que sí son diferentes, la diferencia significativa estadística es de $p < 0.05$, en comparación con los otros tratamientos donde la diferencias es mayor con una $p < 0.001$. En cuanto los tratamientos bagazo/ viruta 70/30 y 30/70, y el tratamiento del que se obtuvieron las setas con la menor cantidad de proteína fueron las del tratamiento bagazo/viruta 50%/50%, como se observa en la figura 9.

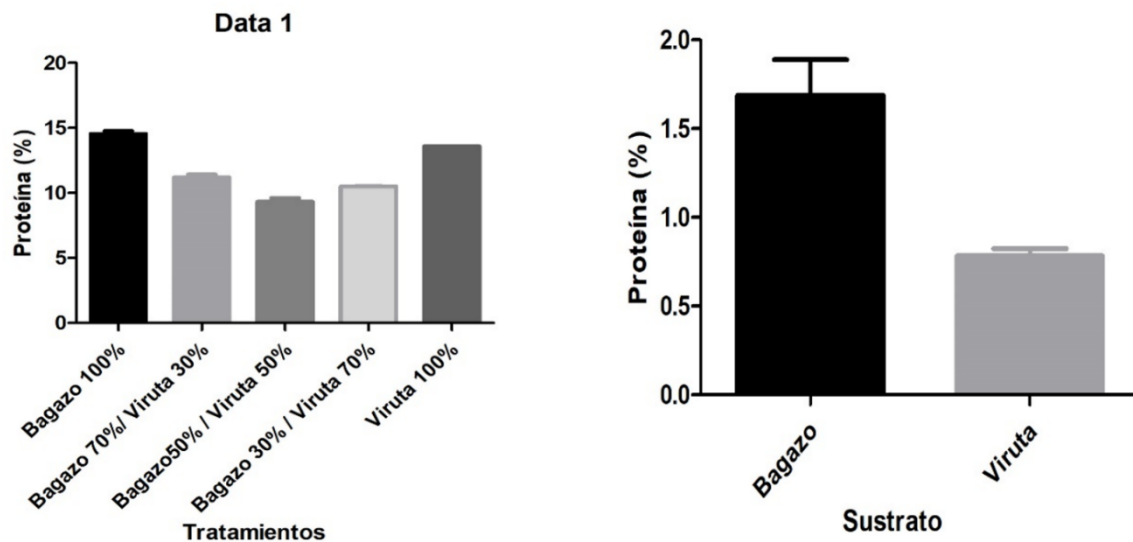


Figura 9. Contenido de proteína en sustratos y relación en la producción de hongos. Fuente: Resultados de laboratorio.

En cuanto al contenido de lípidos de los sustratos, se puede observar que la viruta tiene mayor contenido que el bagazo, con una diferencia estadística de $p < 0.001$. En la figura 10, que es la correspondiente al contenido lipídico de las setas, se puede apreciar que los hongos setas cosechados del tratamiento BM/VM $^{30\%/70\%}$ con una $p < 0.001$ se puede afirmar que son los que presenta mayor contenido de lípidos, mientras que en los hongos donde se obtienen resultados con un porcentaje menor de lípido fueron los del tratamiento BM/VM $^{50\%/50\%}$, debido a que la viruta contiene más concentración de lípidos (%) que el tratamiento BM, se esperaría que los hongos cosechados del tratamiento VM 100% siendo su contenido de

lípidos muy similar con las setas del tratamiento BM/VM 70/30, tuvieron los productos con mayor cantidad de lípidos; sin embargo, éstos ocupan el lugar número tres en contenido de lípidos, los hongos que presentan un menor contenido de lípidos son los del tratamiento bagazo/viruta 50/50.

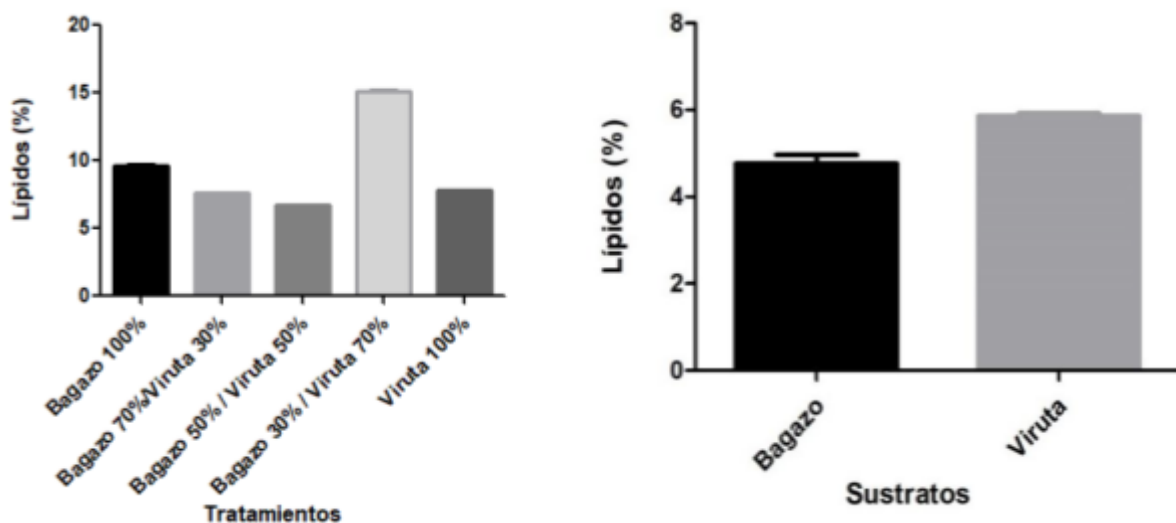


Figura 10. Contenido de lípidos en sustratos y relación de contenido con el contenido de lípidos en la producción de hongos. Fuente: Resultados de laboratorio.

La composición nutrimental del sustrato influye en la composición nutrimental de los hongos lo que se puede concluir por las tendencias en las gráficas observadas, aunque hace falta realizar las pruebas bromatológicas para los otros tratamientos

10. Conclusiones

En la producción de *Pleurotus* spp, sobre los diferentes sustratos (bagazo y viruta), se obtuvieron tres cosechas y cuatro oleadas, con tasas de producción de 1.88% y 1.81%, respectivamente.

El periodo comprendido entre el 20 de mayo y 20 de junio afectaron las cosechas y la obtención de hongos setas debido a la ola de calor, la cual alcanzo temperaturas de 32° C dentro del módulo de cultivo.

El micelio se desarrolló adecuadamente en todos los tratamientos y sobre la semilla de sorgo, sin presentar diferencias significativas en tiempo y ritmo de la invasión, hasta llegar al 100% de invasión.

Los resultados de laboratorio de las setas mostraron variaciones en el contenido de carbohidratos, lípidos y fibra.

El bagazo mostro eficiencia biológicas del 134% superior a la obtenida con el tratamiento de viruta (100%).

En esta investigación, los estudios de la influencia de los sustratos sobre el desarrollo del hongo, no revelo información concluyente; sin embargo, se puede considerar que el bagazo 100% es el mejor sustrato para cultivo de hongos setas a nivel comercial.

11. Recomendaciones

- Contar con un lugar con características más adecuadas donde se pueda tener total control de la humedad y temperatura durante toda la producción para evitar variaciones que perjudiquen las cosechas de hongos setas.
- Implementar medidas higiénicas estrictas durante todo el proceso de producción y generación de micelio activado.
- Aumentar el número de muestras experimentales para reducir la variación.

12. Bibliografía

Andrade, M., R., L (1995). Evaluación de sustratos para la producción del hongo comestible Shitake (*Lentinus edoes*) Memorias III Seminario Nacional sobre utilización de encinos. Nuevo León, México. Publicación especial No.15.

Breene, W., M. (1990). Nutritional and Medicinal, Value of specialty mushrooms. University of Minnesota, Sf. Paul, M. N. Journal of Food Protection. (USA), Vol. 53 pp:883-894.

Beltran, V., E., Campos, L., L., E., López, R., B., Oviedo, V., R., Rodríguez, R., J., Tovar, M., G., (1995). Producción Comercial de Setas (*Pleurotus* spp). Manual de setas y champiñones S. A de C. V. México.

Bercian-Moguel, R., S., Salazar-Montoya, A. J., Méndez-Castrejón, P, M., Ramos-Ramírez, G., E (2006). Análisis químicos comparativo de *Pleurotus ostreatus* de invernadero obtenidos en diferentes sustratos. Memoria del IV Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica y XV Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica, 1. Morelia Mich, México.

Chang, S., T., Miles, P., G. (1996). Recent trends in world production of cultivated edible mushrooms. Mushroom Journal.

Chairez-Aquino, J., Enríquez del Valle, J.R., Ruiz-Luna, J., Campos-Ángeles, G., Martínez-García, R (2015). Uso del bagazo de agave spp y hojas de maíz para cultivar el hongo *Pleurotus ostreatus*. Revista Mexicana de Agroecosistemas, pp:23-28.

Escobedo, R. (s-f) Producción de hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). Subsecretaria de Desarrollo Rural., Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural.

FAO (1993). Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. Obtenido de Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos: <http://www.fao.org/docrep/fiel/003/aB489S/AB489S00.htm#TOC>

Gaitán-Hernández, R. Salmones, D., Pérez, M. R., Mata, G (2006). Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. México, Xalapa, Instituto de Ecología, A.C. Disponible [www1.inecol.edu.mx/cv/CV/pdf/libros/Manual PleurotusGaitan](http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV/pdf/libros/Manual_PleurotusGaitan.pdf).

García-Rollán, M. (1982). Cultivo industrial de *Pleurotus ostreatus*. Hojas Divulgadoras Núm. 11/82 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. Pp 16.

García, R., M. (1985). Nuevas técnicas de cultivo del *Pleurotus Ostreatus*. Hojas de Divulgadoras No. 8 Madrid, España.

González, M., S., S. (s-f) Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentación del ganado. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). Subsecretaria de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural.

Gurrola-Armendáriz D.L., (2016). Aprovechamiento integral del bagazo de agave mezcalero cocido para su uso en la agricultura y ganadería. Tesis de maestría en Ciencias en Gestion Ambiental. Centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional Unidad Durango. Consultado en RepositorioidigitaldelIPN Disponible en: <https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/24053/1/Tesis%20bagazo.pdf> fecha de consulta 4 de febrero de 2019.

Guzmán, G. D. Salmones, C. Soto Velázco, L. Guzmán Dávalos (1993). El cultivo de los hongos comestibles. Instituto Politécnico Nacional. Mexico, D.F. pp: 42-121.

Lara, M., Arias, L Villaseñor (2002). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *P. pulmonarius* on spent brewer's grain and tequila maguey bagasse. Biology and Mushroom Products In: Proceed, IV International Conference on Mushroom, Cuernavaca, México. pp: 323-330.

López, A., Palacios, H., G., Sánchez, J., E. (1996). Contamination encountered during various phases of cultivation of *Pleurotus ostreatus* in tropical Mexico. Conf. on Mushroom Biology and Mushroom Products. D. Royse (ed) Pen.St.Univ.USA. pp: 495-502.

Martínez, C.J. (2012). Cultivo de *Pleurotus ostreatus* en el valle del fuerte, Sinaloa: Una alternativa de aprovechamiento de esquilmos agrícolas. Tesis de doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales. Universidad Autónoma Indígena de México, Mochicahui, Sin, México pp: 3-4.

- Martínez-Carrera, D., Larque-Saavedra, A., Morales, P., Sobal, M., Martínez, W., Aguilar, A. (1993). Los hongos comestibles en México: Biotecnología de su producción. Ciencia y Desarrollo. Vol. 01-02, pp:41-49.
- Martínez-Carrera, D., Aguilar, A., Martínez, W., Morales, M., Sobal, M., Bonilla, M., Larqué-Saavedra. (1999). A sustainable model for rural production of edible mushrooms in México. Micol. Neotrop. Apl. Vol.11, pp76-96.
- Martínez-Carrera, D., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., Martínez., W (2007). MÉXICO ANTE LA GLOBALIZACIÓN EN EL SIGLO XXI: EL SISTEMA DE PRODUCCION-CONSUMO DE LOS HONGOS COMESTIBLES. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Puebla, Biotecnología de Hongos Comestibles, Puebla, México.
- Martínez-Carrera, D., Larqué-Saavedra, A., Aliphath, M., Aguilar, A., Bonilla, M., y Martínez, W (2000). La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México. II Foro Nacional sobre Seguridad y Soberanía Alimentaria. Academia de Ciencias-CONACYT, México, D. F., pp: 193-207. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Campus Puebla, Biotecnología de Hongos Comestibles, Puebla, México.
- Mandeel, Q.A., Al-laith, A.A. and Mohamed S. A. (2005). Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) on various lignocellulosic wastes. World J. Microbiol and Biotechnol. Vol. 21. Pp: 601-607.
- Mata G., Pérez, M. R. (2005). Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción. Rev. Mex. Micol. Vol. 20, Sociedad Mexicana de Micología Xalapa, México. pp: 53-59.
- Narh D. L., Obodai, M., Baka, D., and Dzomeku, M. (2011). The efficacy of sorghum and millet grains in spawn production and carpophore formation of *Pleurotus ostreatus*. International Food Research Journal 18(3): pp 1143-1148.
- Romero, J., M., A., Rodríguez, G., S. A., Pérez, M. R (2000). *Pleurotus ostreatus*. Importancia y tecnología del cultivo. Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Cuatro caminos, Ciudad de Cienfuegos., pp: 155.
- Rueda L. R., Marín, C. A. M., Valera, P. A. M., (2014). Guías Técnicas Agrícolas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas. Dirección de Fomento Editorial, Puebla, México, pp: 29-42.

Sánchez, E., J., Royse, D (2001). La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México: ECOSUR.

Salas, T. N., (2004). Estudio del valor nutricional y propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de *Pleurotus ostreatus*. Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 7 No. 2.

Silva, S. L., Caballero, C. M., Diego, N. F. (2003). Diseño de un equipo de molienda y desgarre del agave mezcalero para el proceso de fabricación del mezcal en el estado de Oaxaca. En: Foro Regional para el Aprovechamiento y mejoramiento del agave del mezcal. CIIIDIR-IPN-OAXACA.

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural., Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural.

Talledo, G. (2003). Cultivo de hongos comestibles. Tesis de doctorado en Agricultura Sustentable. Universidad Agraria La Molina, Lima, Peru.

United Nations (2008). Training Manual on Mushroom Cultivation Tecnology. China: Asian and Pacific Centre for Agricultura Engiering. Disponible en: www.unapcaem.org/publication/TM-Mushroom.pdf

Villaseñor, J., L. (1997). Hongos comestibles que podemos cultivar. Sección Universitaria.

13. Anexos

Preparación de la semilla de sorgo (*Sorghum vulgare*) para generar el micelio activado

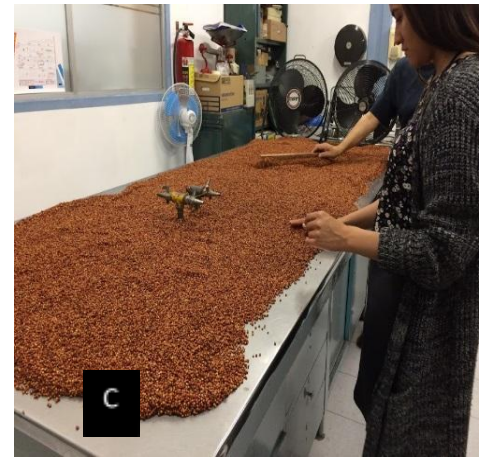
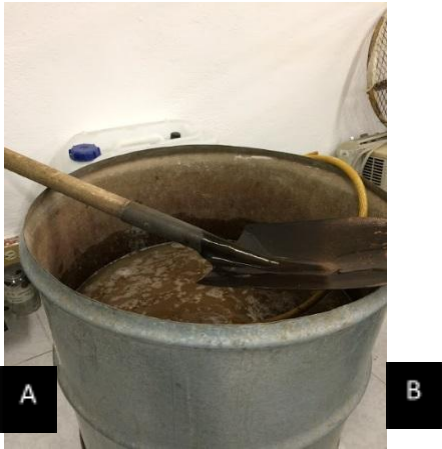


Figura 4. Proceso de la generación de micelio activado en la semilla de sorgo A) humectación de la semilla por medio de remojo; B) Secado y escurrimiento de la semilla para obtener un 80% humedad aproximado; C) Tratamiento de la semilla con una mezcla de cal y yeso; D) Pesado y envasado de semilla para su esterilización; E) Semilla inoculada con micelio y en periodo de incubación; F) Obtención de micelio activado pasado el tiempo de incubación.

Acondicionamiento de los residuos, realización de mezclas, esterilización e inoculación de sustratos



A

B



C



Figura 5. Pesado y realización de las mezclas de tratamientos una vez ya humectados y troceado de bagazo
A) Pesado y empaquetado de residuos; B) esterilización de los tratamientos; C) Enfriamiento y preparación de los tratamientos para inoculación con semilla de micelio activado.

Incubación del micelio en las mezclas de residuos



B



C





Figura 6. Proceso de crecimiento o invasión del micelio en los tratamientos realizados, monitoreo y calculo. A) 48 horas posterior a la inoculación; B) Medición del porcentaje de invasión mediante una cuadrícula en tratamiento BM 100%; C) Medición del porcentaje de invasión mediante una cuadrícula en tratamiento VM 100% ; D) Medición del porcentaje de invasión mediante una cuadrícula en tratamiento BM/VM $70\%/30\%$; E) Medición del porcentaje de invasión mediante una cuadrícula en tratamiento BM/VM

50%/50% ; F) Invasión del micelio en un 80% al tratamiento BM 100% G) Estado de invasión del micelio sobre los tratamientos en 384 horas ; H) representación de un tratamiento con 100% de invasión por el micelio; I) inicios de la generación de primordios en un tratamiento 100% invadido.

Generación de primordios y Producción de hongo seta





E



Figura 8. Etapa de cosecha y corte de hongo seta A) Crecimiento de primordios B) Desarrollo de los primordios; C) irrigación de primordios y setas por medio de atomizador; D) Obtención de hongos setas previos al corte; E) Primer corte de setas maduras; F) Hongo seta.