BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

CENTRO DE AGROECOLOGIA

MAESTRIA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

MEJORAMIENTO TECNOLÓGICO A TRAVÉS DE FERMENTACIÓN SÓLIDA DEL CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus* EMPLEANDO *Eichhornia crassipes* PARA LA ELABORACIÓN DE VERMICOMPOSTA

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

PRESENTA

Ing. ARIZANDY CRUZ MONTES

DIRECTOR DE TESIS

DR. OMAR ROMERO ARENAS

Puebla, Pue., Octubre 2017.

BUAP

La presente tesis, titulada: **"Mejoramiento tecnológico a través de fermentación sólida del cultivo de *Pleurotus ostreatus* empleando *Eichhornia crassipes* para la elaboración de vermicomposta"** realizada por la alumna **Ing. Arizandy Cruz Montes,** bajo la dirección del Comité Tutoral indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN

MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: _____

Dr. Omar Romero Arenas

ASESOR: _____

Dr. José Antonio Rivera Tapia

ASESOR: _____

Dr. Oscar Agustín Villarreal Espino Barros

ASESOR EXTERNO: _____

Dr. Gerardo Landeta Cortés

REVISOR EXTERNO: _____

M. C. Refugio Armando Tapia Hernández

Puebla, Pue., Octubre de 2017.

Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas
Instituto de Ciencias (ICUAP)
Edificio VAL 1, Km 1.7 carretera a San Baltazar Tetela, C.P. 72960, San Pedro Zacachimalpa, Puebla
01 (222) 229 55 00 Ext. 1302, 7063
masagro@correo.buap.mx

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue realizado dentro del marco de apoyo económico brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), durante el periodo que comprende de agosto de 2015 a julio de 2017.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en el programa de Manejo Sostenible de Agroecosistemas (MASAGRO), perteneciente al Instituto de Ciencias (ICUAP) y al Centro de Agroecología (CENAGRO).

Igualmente, a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP-BUAP) por el apoyo recibido para realizar mi estancia de investigación en la Universidad Nacional de Colombia, así mismo por la facilidad y la gestión para la participación en el VIII Congreso Iberoamericano de Control de Erosión y Sedimentos.

A mi director de tesis: Dr. Omar Romero Arenas por contribuir a mi formación profesional, por su entrega como investigador y como asesor, por apoyarme en cada paso de este trabajo.

A los integrantes del consejo de esta investigación: Dr. Gerardo Landeta Cortés y Dr. José Antonio Rivera Tapia quienes también fueron mis maestros, por su valioso consejo, tiempo y apoyo brindado para mejorar y concluir este trabajo de investigación, además extender un agradecimiento al M.C. Refugio Armando Tapia Hernández quien fungió como revisor externo de esta investigación.

Al Dr. Tomás Enrique León Sicard por recibirme en su instituto y fungir como guía en todas las actividades realizadas en mi estancia, por su apoyo, consejo y enseñanzas y por brindarme una nueva perspectiva de la Agroecología.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mi padre: Roberto Cruz Juárez, por su dedicación, esmero, amor y cuidados, por darme fuerza e inspiración para alcanzar mis metas y sueños, gracias a él aprendí a trabajar duro, aprender de mis tropiezos y jamás rendirme.

Especialmente dedico esto a la que cumplió con su fe mediante el amor, aumentó su esperanza a través del dolor, edificó su dicha con el sacrificio, a la que sigue siendo el firmamento de mis ideas, la oración viviente y el cielo de mi alma, a mi madre Ofelia Montes Sánchez.

A mis ángeles de la guarda: Dulce María, Valdemar, Roberto, Iris, César y José Ángel por ser los mejores hermanos, gracias por apoyarme donde quiera que estén, por sus enseñanzas y complicidad, sin ustedes mi vida no sería tan feliz.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS 2
DEDICATORIA 4
Índice de Figuras III
Índice de Tablas IV
RESUMEN V
1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 4
3. MARCO TEÓRICO 6
3.1 Descripción del sitio 6
3.2 Origen y distribución del lirio 10
3.2.1 Caracterización del lirio acuático, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms 10
3.2.2 Manejo del lirio acuático 14
3.3 Hongo seta (*Pleurotus ostreatus*) 14
3.3.1 Propiedades nutricionales del hongo 17
3.3.2 Importancia económica de *Pleurotus ostreatus* 17
3.3.3 Desarrollo rural sostenible y hongos 18
3.4 Compostaje 19
3.5 Vermicomposta 20
3.5.1 Descripción de la lombriz *Eisenia foetida* 21
3.6 Características generales de los metales pesados y daños en la salud 23
3.7 Marco jurídico 26
4. JUSTIFICACIÓN 31
5. OBJETIVOS 31
5.1 Objetivo general 31
5.2 Objetivos particulares 31
6. HIPÓTESIS 32
7. METODOLOGÍA 32
7.1 Medios de Cultivo 32

7.2 Preparación de semilla madre 33
7.3 Preparación de la semilla secundaria 34
7.4 Preparación de sustratos 35
7.5 Fructificación y cosecha 37
7.6 Análisis estadístico 38
7.7 Tratamiento de residuos post cosecha 38
7.8 Lombricomposteo 39
7.9 Determinación de calidad microbiológica de la vermicomposta 39
7.10 Análisis químicos proximales de *Pleurotus ostreatus*, sustratos postcosecha y lirio (*Eichhornia crassipes*). 41
7.11 Valoración de la lombricomposta por índice de germinación 43
8. RESULTADOS 44
8.1 Evaluación a micro escala en medios de cultivo 44
8.2 Producción 48
8.3 Tasa de Producción 50
8.4 Peso seco 50
8.5 Eficiencia Biológica 51
8.6 Determinación de metales pesados 52
8.7 Análisis bromatológicos de *Pleurotus ostreatus* 56
8.8 Conteo población de *Eissenia Foetida* 57
8.9 Características biológicas del sustrato final 58
8.10 Determinaciones de fertilidad sobre el sustrato final 59
8.11 Pruebas de fitotoxicidad 61
9. CONCLUSIONES 65
LITERATURA CITADA 66

Índice de Figuras

Figura 1. Presa Manuel Ávila Camacho (Fuente: Open Street Maps). 6
Figura 2. Cobertura del lirio acuático en la presa Manuel Ávila Camacho (Fuente: Google Earth). 9
Figura 3. *Eichhornia crassipes* (C. Martius) Solms-Laub. A. aspecto general de la planta; B. flor desprovista de una parte del perianto; C. corte transversal del ovario. Ilustrado por Humberto Sánchez Córdova. 12
Figura 4. Morfología de *Pleurotus ostreatus.* 15
Figura 5. Ciclo reproductivo de *Pleurotus ostreatus.* 16
Figura 6. Ciclo reproductivo de *Eisenia foetida.* 22
Figura 7. Master primario. 34
Figura 8. Semilla secundaria. 34
Figura 9. Esterilización de los sustratos. 35
Figura 10. Preparación de los tratamientos. 36
Figura 11. Medición de peso y medidas de las setas. 38
Figura 12. Monitoreo de la biomasa de lombriz. 39
Figura 13. Soluciones madre en agar nutritivo a partir de los sustratos vermicomposteados. 40
Figura 14. Lector de microplacas. 40
Figura 15. Determinación de peso seco. 42
Figura 16. Morfología de *Lactuca Sativa* L. en crecimiento (Sobrero & Ronco, 2004). . 43
Figura 17. Calidad del micelio en diferentes medios en el día 3. 45
Figura 18. Curvas de crecimiento en placa de *P. ostreatus* en diferentes medios de cultivo. 46
Figura 19. Producción de hongo en gramos de peso fresco por tratamiento. 49
Figura 20. Tasa de producción de los diferentes sustratos empleados. 50
Figura 21. Porcentaje en peso seco de los hongos cultivados de los diferentes tratamientos. 51
Figura 22. Eficiencia biológica del hongo en los diferentes tratamientos. 51
Figura 23. Concentración total de metales pesados en los hongos cultivados de los diferentes tratamientos 54
Figura 24. Residuos de metales pesados en los sustratos (Se excluye Fe, Mn). 55
Figura 25. Concentración de metales pesados sobre el sustrato final (Eje "y" en base logarítmica 10). 55
Figura 26. Conteo en placa de UFC en los tratamientos T y TLR 59
Figura 27. Pruebas de fitotoxicidad en lechuga para *Pleurotus ostreatus* fructificados en diferentes sustratos. 62
Figura 28. Pruebas de fitotoxicidad de los sustratos a) semillas de rábano, b) semillas de lechuga en tratamiento MLA comparado con el testigo. 64

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción taxonómica de *Eichhornia crassipes* (Mart.)Solms. 10
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del lirio acuático (D'Agua, 2015) 13
Tabla 3. Clasificación taxonómica de *Pleurotus ostreatus* (Guzmán, 1980; Herrera y Ulloa, 1990). 14
Tabla 4. Descripción taxonómica de *Eisenia foetida* (Clavería, 2005)..... 21
Tabla 5. Funciones biológicas y fitotoxicidad de los metales pesados en los organismos (Hagedorn, 1996). 24
Tabla 6. Normas Oficiales Mexicanas aplicables al tema..... 29
Tabla 7. Tratamientos a evaluar con su descripción y código. 36
Tabla 8. Análisis a realizar para evaluar la calidad de suelo y lombricomposta. 41
Tabla 9. Tasa de desarrollo de la cepa CP50 en los diferentes medios de cultivo..... 47
Tabla 10. Medidas, Producción, Eficiencia Biológica (EB), Tiempo de Colonización y Tasa de Producción (TP) de CP50 de *Pleurotus ostreatus* en los diferentes tratamientos evaluados. 48
Tabla 11. Determinación de metales en los cuerpos fructíferos en los diferentes tratamientos con Pleurotus ostreatus cultivados en µg/Kg de peso seco..... 53
Tabla 12. Límites Máximos Permisibles* (LMP) en mg/Kg para metales pesados dentro de la norma 004-SEMARNAT-2002. 55
Tabla 13. Determinaciones bromatológicas de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus.* 56
Tabla 14. Conteo de la población de lombriz en los sustratos a los dos y cuatro meses de la inoculación inicial de 25 adultos. 58
Tabla 15. Unidades formadoras de colonias en las compostas..... 59
Tabla 16. Caracterización fisicoquímica de los sustratos finales..... 60
Tabla 17. Estudios de fitotoxicidad en los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus*. . 61
Tabla 18. Pruebas de fitotoxicidad en los sustratos al finalizar la lombricomposta. 63

RESUMEN

Se evaluó la factibilidad de la producción de la cepa CP50 de *Pleurotus ostreatus* en lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en comparación con algunos residuos agrícolas. El lirio acuático fue colectado en la presa Manuel Ávila Camacho en el municipio de San Pedro Zacachimalpa para ser utilizado en la inoculación del hongo. La cepa CP50 tuvo un desarrollo miceliar adecuado tanto en caja petri como en el sustrato de lirio, con un tiempo de colonización de 15 días y una tasa de producción de 1.54. Las mejores Eficiencias Biológicas (EB) fueron para el tratamiento con maíz (136.6%) y el tratamiento MLA (120.6%), La EB más baja fue para el tratamiento LA con 12.3%.

Los análisis bromatológicos demostraron que el lirio acuático puede aumentar el contenido en proteína cruda de los cuerpos fructíferos donde el mayor porcentaje se obtuvo en el tratamiento LA con 32.6%. Adicionalmente, se demostró en las pruebas para metales pesados que el consumo de setas cultivadas en sustratos complementados con lirio acuático no presenta toxicidad alimentaria puesto que cumplen con los parámetros de Codex Alimentarium de la FAO.

Los residuos de la cosecha de *P. ostreatus* fueron precomposteados durante 100 días y mejorar la textura de los sustratos para la posterior inoculación con *Eisenia foetida* en donde se incrementó la biomasa de la lombriz hasta en un 2168 % para el tratamiento T. Las características microbiológicas del sustrato corresponden a las de un suelo sano con $3.23x10^8$ Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por gramo para el tratamiento MLA. Los análisis en metales pesados se encuentran muy por debajo de la norma 004-SEMARNAT-2002, del mismo modo los resultados de fertilidad revelaron que la composta contiene hasta 95% de materia orgánica para el tratamiento M, el tratamiento MLA tuvo mejores características con pH 8.8, Conductividad Eléctrica de 6.4 dS/m, P disponible 2228 ppm, %N 1.73, %K 0.90, %MO 59.5 y una Capacidad de Intercambio Catiónico de 7.7 cmol/Kg.

Se realizaron pruebas de fitotoxicidad en semillas de rábano y lechuga, detectando fitotoxicidad de la lombricomposta para las semillas de rábano, sin embargo, se obtuvieron mejoras en el índice de germinación de la lechuga con 129% en el tratamiento M y 99% en el tratamiento MLA.

Esto representa una oportunidad para desarrollar la producción de hongo seta al aprovechar los residuos agrícolas y al lirio acuático, lo que puede representar un manejo alternativo de éste último pudiendo mejorar las condiciones ambientales y económicas de la zona.

PALABRAS CLAVE *Pleurotus ostreatus*, Eficiencia Biológica, *Eichhornia crassipes*, sustratos, metales pesados, análisis bromatológicos, vermicomposta, fitotoxicidad.

ABSTRACT

The feasibility of production of the *Pleurotus ostreatus* CP50 strain in water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) was evaluated in comparison with some agricultural residues. The water hyacinth was collected at the reservoir Manuel Ávila Camacho in the municipality of San Pedro Zacachimalpa to be used in the inoculation of the fungus. The CP50 strain had a suitable mycelial development in petri dish and the hyacinth substrate, with a colonization time of 15 days and a production rate of 1.54. The best Biological Efficiencies (EB) were for maize treatment (136.6%) and MLA treatment (120.6%). The lowest EB was for LA treatment with 12.3%.

Bromatological analyzes showed that the water hyacinth can increase the crude protein content of the fruit bodies as the highest percentage was obtained in LA treatment with 32.6%. In addition, it was demonstrated in tests for heavy metals that the consumption of mushrooms grown on substrates supplemented with water hyacinth does not present food toxicity since they comply with FAO Codex *Alimentarium* parameters.

Pleurotus ostreatus harvest residues were pre-composted for 100 days to improve the texture of the substrates for the subsequent inoculation with *Eisenia foetida*. Worm biomass was increased by 2168% for treatment T. Microbiological characteristics of the substrate correspond to a healthy soil with $3.23x10^8$ CFU / g for the MLA treatment. Heavy metals levels are below that indicated by the norm 004-SEMARNAT-2002, in the same way the results of fertility revealed that the compound has high levels of organic matter of up to 95% for the treatment M, the MLA treatment had better characteristics with pH 8.8, CE 6.4 dS / m, available P 2228 ppm, % N 1.73, % K 0.90, % MO 59.5 and CIC 7.7 cmol/kg.

Phytotoxicity tests were performed on radish and lettuce seeds, detecting phytotoxicity of vermicompost for radish seeds, but improves seed germination rate of lettuce with 129% in M treatment and 99% in MLA treatment.

This represents an opportunity to develop fungus mushroom production by taking advantage of agricultural residues and water hyacinth, which may represent an alternative management of the hyacinth to improve the environmental and economic conditions of the area.

KEYWORDS Pleurotus ostreatus, Biological Efficiency, Eichhornia crassipes, substrates, heavy metals, bromatological analysis, vermicompost, phytotoxicity.

1. **INTRODUCCIÓN**

China es el principal productor de hongos en el mundo, para el año 2013 se produjo más de 30 millones de toneladas de hongos frescos, representando el 87% de la producción total, el resto de Asia produjo unos 1.3 millones de toneladas, sólo en los Estados Unidos de América, la producción ha aumentado alrededor del 11.7% en los últimos 10 años, generando 0.423 millones de toneladas en 2015 (Wu *et al*., 2013; Cunha y Pardo, 2017).

Los volúmenes en 2011 de hongos comestibles, funcionales y medicinales ascienden alrededor de 62,374 toneladas (Martínez-Carrera *et al.*, 2012), México es el mayor productor de Latinoamérica, generando alrededor del 80.8% de la producción total de la región seguido por Brasil (7.7%) y Colombia (5.2%), ubicándose como el productor número 13 a nivel mundial (Romero-Arenas *et al.*, 2015). La producción en México de hongo seta (*Pleurotus* spp.) corresponde a una proporción de 4.76%, de la producción total (Martínez-Carrera *et al.,* 2016).

Esta producción va en incremento tanto a pequeña escala como a nivel industrial (Martínez-Carrera, 2002) debido a la facilidad del cultivo, a su alto rendimiento, calidad nutricional, potencial económico y a que la producción de hongos está sustentada en la utilización de los residuos agrícolas como una alternativa para producir alimentos y destinar los remanentes post-cosecha a otros usos agropecuarios. Sobre este último punto, se han observado mejoras en el rumen de bovinos cuando son alimentados con estos materiales, puesto que existen mejoras en el valor nutricional del rastrojo una vez procesado por los hongos, también se ha usado como medio para plántulas, lombricultura o abono (Luna *et al.*, 2013; Montañez *et al.,* 2004; WingChing y Alvarado, 2009).

Los desechos agrícolas suponen diferentes problemas ambientales, dado que el manejo adecuado depende directamente de los beneficios económicos que estos puedan aportar. El 85% de los rastrojos de maíz en México se destinan a la alimentación de ganado (Borja *et al.,* 2013), donde se aprovecha mínimamente (Tirado

et al., 2015), de este modo, se ha estudiado ampliamente el uso de estos materiales para la producción de setas, donde el potencial económico es importante para la unidad de producción familiar.

En la estructura de los residuos agrícolas encontramos principalmente celulosa, lignina y hemicelulosa. Adicionalmente se hallan ciertas cantidades de proteína, grasa, fibra, calcio, fósforo, nitrógeno y potasio (Hurtado de Mendoza *et. al* 2015), que son aprovechados por *Pleurotus ostreatus* debido a la baja especificidad por el sustrato de sus enzimas lignolíticas tales como lacasa (Lac), peroxidasa (P), Mnperoxidasa (MnP) y lignina peroxidasa (LiP) (García y Eymar, 2013).

Los beneficios que aporta el género *Pleurotus* spp., además de la degradación de residuos lignocelulósicos, es el hecho de que presenta una buena cantidad de proteína (17-42% en materia seca) y hasta 7 % en aminoácidos esenciales por lo que se considera que contiene proteínas de gran calidad (Deepalakshmi y Mirunalini, 2014), particularmente en el nivel de aminoácidos como la leucina y el triptófano, llegan a niveles de 4.5 a 9.9 g y de 1.1 a 1.3 g respectivamente por cada 100 g de hongo en peso seco (Arriaga y Morales, 2009). Adicional a lo anterior han detectado que tiene propiedades medicinales como antitumorales, antibióticas, antivirales, antimutagénicas, antioxidantes, entre otros beneficios por el contenido en β-D-glucano (Patel *et al*., 2012).

Pleurotus ostreatus tiene la capacidad para degradar residuos lignocelulósicos por lo que se busca implementar una producción con base en lirio acuático y rastrojo producidos en las zonas que rodean la presa Manuel Ávila Camacho.

La zona de la presa Manuel Ávila Camacho es un sitio RAMSAR que se refiera a La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, es un tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. Este sitio, ha sido afectada por varios años por problemas ambientales causadas por las descargas sin tratamiento de la industria (Bonilla *et al.*, 2014). Los daños generados van desde afectaciones a la salud humana como a la producción agropecuaria y al turismo los

cuales han sido valuados en $483,361,423 (Rodriguez-Tapia *et al.,*2012; Rodríguez *et al.*, 2012).

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta invasiva que puede tolerar un amplio rango de condiciones ambientales como: temperatura, humedad, iluminación, pH, salinidad, viento, corrientes y sequías (Hossain *et al.*, 2015), además tiene un rendimiento de 120 ton ha/año de materia seca (D'Agua, 2015). Estos elementos lo convierten en una de las principales plagas del mundo (Bonilla-Barbosa y Santamarina, 2013), para lo cual no se ha encontrado un manejo adecuado (*IMTA*, 1989). Los objetivos en los planes de desarrollo sustentable de las poblaciones aledañas a la presa tienen como prioridad la conservación del patrimonio natural del país, por lo cual, el control de la población del lirio es clave en el mejoramiento de las condiciones ambientales de la zona.

Análisis químicos realizados revelan que *Eichhornia crassipes* contiene 9.3% en materia seca, 10.5% de proteína cruda, 26.9% de fibra cruda y hasta 12.4% en ceniza total, también se detectan altos niveles de celulosa y hemicelulosa (Kimenju *et al*. 2009), que lo hacen un buen elemento como sustrato para setas, de este modo, el objetivo del presente estudio es evaluar la fermentación sólida de *Pleurotus ostreatus* en la producción de alimento de calidad y determinar el uso de los desechos del cultivo para la elaboración de lombricomposta de acuerdo a los parámetros de la NOM-004-SEMARNAT.

2. ANTECEDENTES

La erosión en México representa un problema ambiental crítico, por la amenaza a la sostenibilidad de la producción agrícola, la cual es la principal actividad sobre la que se han constituido las civilizaciones y está sustentada en la fertilidad de los suelos (Cotler *et al*., 2011).

Los datos acerca de la erosión en México son dispersos, uno de los informes (SEMARNAT-Colegio de Posgraduados 2002) mencionan que el 45% del territorio nacional (888,968.75 km^2) muestra un cierto grado de degradación de suelo, principalmente a través de la erosión hídrica y del agotamiento de nutrientes, donde las actividades agrícolas ocasionan el 77% de deterioro. Por otro lado, se menciona que en México, las principales causas de la degradación de los suelos son la deforestación (24%), el cambio de uso del suelo (25%), el sobrepastoreo (25%) y las prácticas agrícolas ineficientes (16%) (Ramírez y Pedroza, 2007).

El crecimiento de las ciudades y el incremento de la población es una de las principales problemáticas en la agricultura. Esta expansión hace necesaria la creación de redes que faciliten el transporte horizontal de abastecimientos y residuos desde las áreas cada vez más alejadas del entorno local e incluso regional de los asentamientos urbanos. De esta manera, los sistemas agrícolas se vuelven ajenos a las posibilidades locales de reposición de nutrientes para apoyarse en el transporte a larga distancia de fertilizantes concentrados. En los estados industrializados, los valores de materia orgánica en el suelo son muy bajos, ya que los residuos de cosecha y materias orgánicas domésticas no se reciclan en el suelo, sino que se pudren en vertederos o se queman (Alberdi, 2005). Esto provoca la creciente escasez y degradación de los recursos agrícolas y del ambiente, relacionada directa o indirectamente con la satisfacción de las necesidades de alimentos e ingresos para una población mundial en aumento (Granados *et al*., 2012).

Altieri (1994), sostiene que la productividad de un agroecosistema se relaciona con la eficiencia del flujo de nutrientes, es decir; busca la conservación de las propiedades del

suelo mediante la preservación de la materia orgánica para promover la actividad biológica y disminuir la erosión hídrica y eólica funcionando como un aditivo que mantiene la estructura del suelo. De este modo se busca la mantención de un nivel de fitomasa residual y total como fuente de carbono que aporte energía y facilite la retención de nutrientes para sostener la vida del suelo.

Las bases agroecológicas promueven el cuidado de diversos componentes ambientales, de los cuales, se busca incidir en la conservación de suelos y agua a través del abonado orgánico y el aprovechamiento óptimo de la energía (Sánchez *et al.*, 2010). Por lo tanto, la búsqueda de prácticas agrícolas que permitan el uso eficiente de los residuos agrícolas se ha vuelto muy importante.

Ya que un manejo adecuado de los residuos post-cosecha depende directamente de los beneficios económicos que puedan aportar, se ha optado por la cosecha de hongos comestibles, dicha producción es mediante técnicas sencillas que permite que los campesinos puedan producir a nivel familiar, en pequeños y medianos grupos. Por un lado se resuelve de manera directa el problema alimenticio y de manera indirecta se obtienen ingresos familiares al vender este producto sin intermediarios.

Dentro de la dinámica del ciclo de nutrientes, los residuos a partir de la degradación de hongos tiene diferentes usos, una recopilación de Rinker en 2002, muestra referencias en el uso de estos residuos en la biorremediación (purificación de aire, agua, suelos y sustratos contaminados con plaguicidas), utilización en otros cultivos tales como flores y hortalizas en invernadero y en campo, uso como enmienda general de suelos, semilleros y paisajismo, alimentación animal y acuicultura, control de plagas y enfermedades y usos tales como combustible, vermicomposta etc., considerando también la reutilización en el cultivo de hongos y la cobertura vegetal.

Así, la fermentación sólida es un proceso que nos permite degradar los compuestos lignocelulósicos que conforman el lirio acuático y los rastrojos para hacerlos disponibles a las plantas y que por otro lado, nos beneficia al poder obtener un alimento (hongo seta) que no requiere de terreno cultivable, aprovechando los residuos agrícolas (Jafarpour y Eghbalsaeed, 2012).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Descripción del sitio

La presa Manuel Ávila Camacho fue construida en los años de 1941 a 1946 por la Comisión Nacional de Irrigación para aprovechar el recurso hídrico de los ríos Atoyac y Alseseca en el riego de zonas agrícolas de 17 municipios ubicados en la zona Tecamachalco-Tehuacán perteneciente al Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, de esta forma se logró irrigar una zona de 33, 820 ha de cultivos (Traversoni *et al.,* 2009; Bonilla, 2007), en la figura 1 se puede ver un mapa general del sitio.

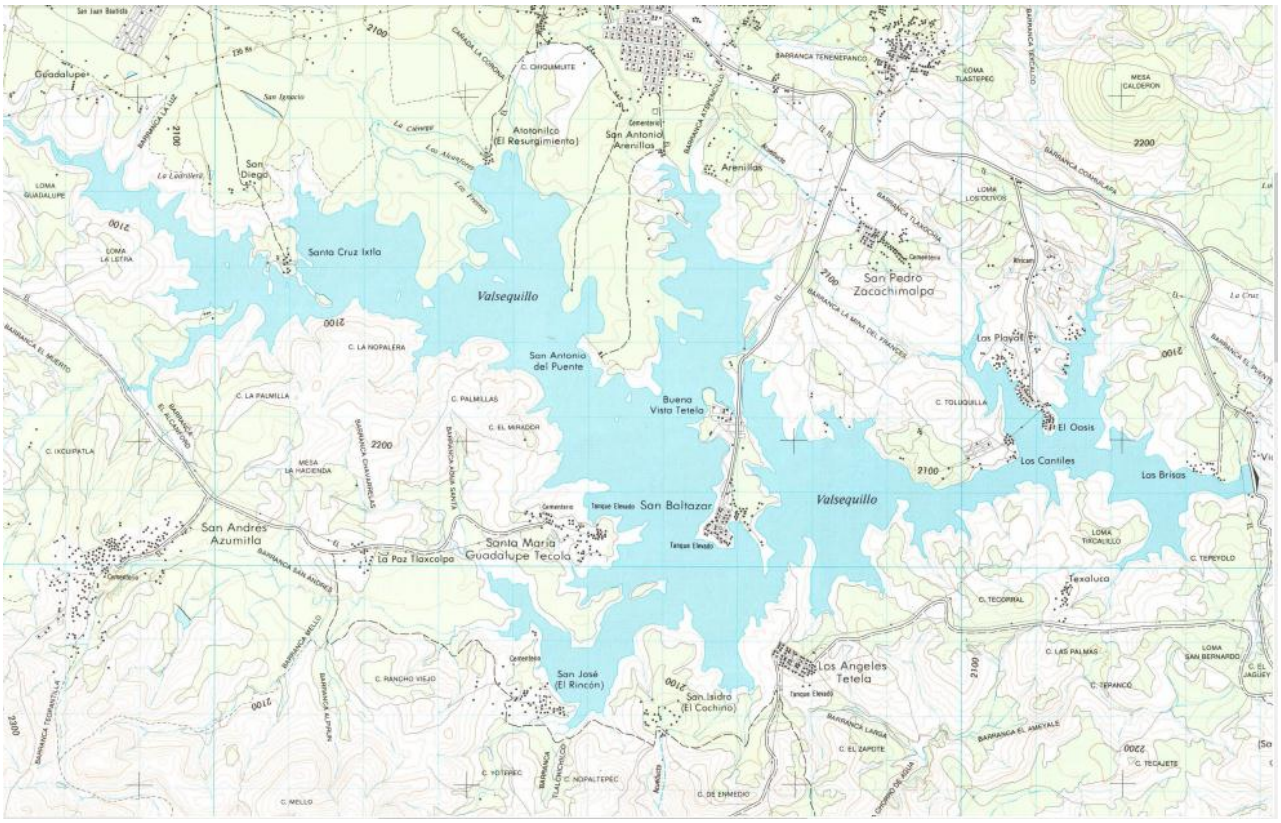


Figura 1. Presa Manuel Ávila Camacho (Fuente: Open Street Maps).

La presa fue construida con una capacidad de 405 hm^3, entre los años 1997 y 2006, el volumen almacenado en la presa varió de 112 hm^3, con el alto volumen de 259.7 hm^3 en 1999 a un bajo volumen de 147.7 hm^3 en 2002, en el presente año agrícola se presentan datos de 170.16 hm^3 de volumen total acumulado (CONAGUA, 2016).

En el área hay cuatro tipos generales del uso de los suelos que son: agropecuario (agricultura y pastizal), urbano, bosque, y bosque/agropecuario (áreas con una mezcla de bosques y usos agropecuarios). De los 20,789 ha de área terrestre del sitio, 62% (13,000 ha) es agropecuario, 19% (3,890 ha) es bosque, 17% (3,600 ha) es para usos urbanos, y 1% (217 ha) es una mezcla de bosque y usos agropecuarios. El otro 1% incluye un zoológico (Africam Safari) y áreas sin uso o cobertura vegetal. La mayoría de usos urbanos están en la parte norte del sitio y la mayoría de los bosques están en la parte sur del sitio (Rose, 2012)

Este humedal fue declarado sitio RAMSAR el 12 de febrero de 2012, la visión para estos sitios es "crear y mantener una red internacional de humedales que revistan importancia para la conservación de la diversidad biológica mundial y para el sustento de la vida humana a través del mantenimiento de los componentes, procesos y beneficios / servicios de sus ecosistemas".

Los denominados sitios RAMSAR son designados por cumplir con los criterios para la identificación de humedales de importancia internacional. El primer criterio se refiere a los sitios de importancia internacional para la conservación de la diversidad biológica. Estos criterios hacen énfasis en la importancia al mantenimiento de la biodiversidad.

Esta presa sustenta especies de flora y fauna importantes, provee servicios ecológicos, y su historia cultural es una parte importante del patrimonio de la humanidad y también alberga una cantidad y diversidad de vida silvestre de tipo migratorio y endémica, que es por lo cual se le ha denominado sitio RAMSAR.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM 059 SEMARNAT 2010, de las 231 especies de aves en el sitio, 16 (en ocho órdenes y ocho familias) tienen estatus de protección: 12 de protección especial y cuatro tienen estatus de especie amenazada. Las especies con protección especial incluyen: *Tachybaptus dominicus, Accipiter cooperii, Accipiter striatus, Buteo lineatus, Buteo platypterus, Buteo regalis, Ictinia mississippiensis, Leucopternis albicollis, Parabuteo unicinctus, Falco peregrinus, Cyrtonyx montezumae,* y *Athene cunicularia*. Las especies con estatus amenazada

incluyen: *Anas platyrhynchos diazi, Botaurus lentiginosus, Amazilia viridifrons,* y *Oporornis tolmiei*. Hay registros de anidación de *Anas platyrhynchos diazi* en el sitio.

Aunque hay un solo registro de una especie de ave con estatus de protección según UICN-Birdlife (*Calcarius ornatus*, casi amenazada), hay registros de cinco especies más con estatus de casi amenazada en los montes boscosos alrededor la presa y su zona de Influencia*: Philortyx fasciatus, Contopus cooperi, Xenotriccus mexicanus, Peucaea sumichrasti,* y *Passerina ciris.*

Incluso si los registros de los otros tipos de fauna son incompletos, el sitio sustenta al menos 9 especies de reptiles y dos especies de mamíferos con estatus de protección. La lista de reptiles con estatus de protección incluye: *Barisia imbricata* (protección especial), *Gerrhonotus liocephalus* (protección especial), *Sceloporus megalepidurus megalepidurus* (protección especial), *Anolis forbesi* (amenazada), *Lampropeltis triangulum* (amenazada), *Pituophis deppei* (amenazada), *Salvadora bairdi* (protección especial), *Crotalus ravus* (amenazada), y *Kinosternon integrum* (protección especial). La lista de mamíferos con estatus de protección incluye: *Bassariscus astutus* (amenazada), y *Choeronycteris mexicana* (amenazada).

A pesar de lo anterior, este sitio, al igual que muchos otros humedales del país presenta diferentes problemas ambientales que afectan a la biodiversidad, la calidad del agua y por lo tanto a la calidad de vida de las personas que viven en las zonas cercanas al sitio.

Alguno de los factores que afectan el sitio son la erosión y el mal manejo de los desechos que es un problema generalizado en las comunidades aledañas tal y como lo marca el Programa Estratégico para el Desarrollo Sustentable de Valsequillo. Lo cual provoca la contaminación y cambios en las funciones ecológicas de los humedales. Debido a la deforestación y el sobrepastoreo, hay lugares en el sitio con muy altos niveles de erosión. La erosión de suelos ha incrementado la sedimentación en los afluentes de la Presa y ha resultado en un decrecimiento de capacidad en la Presa, aproximadamente de 400 hm^3 originalmente a 303.7 hm^3 en 2013. La intensificación agrícola en el sitio, aparte del aumento en la deforestación, puede tener el efecto de

contaminar el suelo fértil y el agua por desechos de la mala gestión ganadera y por el uso descontrolado de abonos, fertilizantes y plaguicidas. Además, el crecimiento de desarrollo urbano resultará en un aumento en la contaminación del agua porque las localidades no tienen tratamiento de aguas residuales adecuado.

Otro de los factores de estrés en la presa es el manejo no sustentable de los lirios acuáticos cuyo efecto es la pérdida de hábitat y la vida silvestre de la presa. La introducción de los lirios acuáticos tiene ciertas ventajas puesto que los lirios son un biofiltro natural y proveen hábitat para aves, sin embargo, uno de los factores negativos de los lirios es que son invasivos y crecen rápidamente. Cuando los lirios mueren, el proceso de descomposición reduce la cantidad de oxígeno en el agua, lo que resulta en la pérdida de vida acuática. En la figura 2 se puede observar el área superficial del cuerpo de agua que se ha cubierto por el lirio.

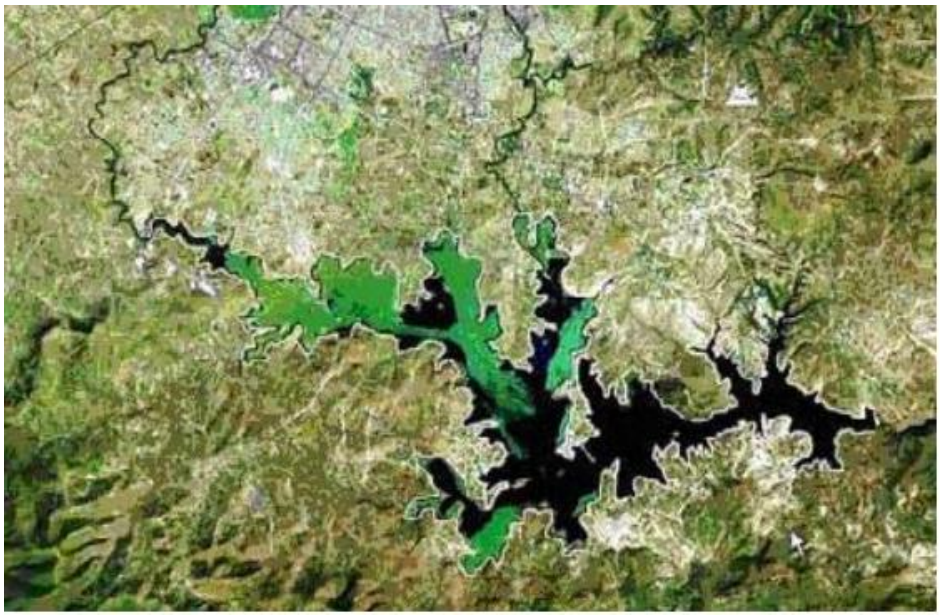


Figura 2. Cobertura del lirio acuático en la presa Manuel Ávila Camacho (Fuente: Google Earth).

3.2 Origen y distribución del lirio

Dada la abundancia de *Eichhornia crassipes* en México se podría pensar que es una planta nativa, pero no es así, en las revisiones históricas realizadas por Miranda y Lot en 1999 sobre plantas que existían en los lagos, indican que el lirio no es nativo de México, entre las obras revisadas por los autores está “La Historia de las cosas de la Nueva España” escrita por Fray Bernardino de Sahagún en 1550 de la misma forma “La Historia natural de la Nueva España”, publicada en 1557. En el Códice Badiano, escrito en 1552 los autores reconocen íconos de macrófitas acuáticas, pero el lirio acuático tampoco aparece. Los estudios realizados indican que el lirio acuático ingresó hasta mucho después de 1882, esto se deduce puesto que en el Calendario botánico del valle de México tampoco se menciona y no es sino hasta 1903 cuando se encuentra el primer registro en una obra de Manuel Urbina.

La distribución en México es tan amplia que los únicos estados en los que no se ha registrado su presencia son: Baja California Sur, Chihuahua, Zacatecas, Tlaxcala y Yucatán.

3.2.1 Caracterización del lirio acuático, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

La página de la especie en el ITIS (Sistema Integrado de Información Taxonómica) de CONABIO determina la clasificación taxonómica presentada en la siguiente tabla:

Tabla 1. Descripción taxonómica de *Eichhornia crassipes* (Mart.)Solms.

Reino	*Plantae*
Subreino	*Viridiplantae*
Infrareino	*Streptophyta*
Superdivisión	*Embryophyta*
División	*Tracheophyta*
Subdivisión	*Spermatophytina*
Clase	*Magnoliopsida*
Superorden	*Lilianae*
Orden	*Commelinales*
Familia	*Pontederiaceae*
Genero	*Eichhornia*
Especie	*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

Una descripción realizada por Novelo y Ramos en 1998 detalla al lirio como una planta comúnmente perenne, libremente flotante (ver figura 3); tallos rizomatosos, estoloníferos; hojas arrosetadas, peciolos de 3 a 60 cm de largo, muy variables en tamaño dependiendo del hábitat donde se encuentren, inflados y cortos o bien definidos y alargados, todas las hojas emergidas, láminas oblatas a elípticas, de 2.5 a 16 cm de largo y de 3 a 12 cm de ancho, ápice truncado, redondeado a ligeramente obtuso, base truncada a algo cordada; inflorescencia espiciforme, con 4 a 16 flores, éstas solitarias y alternas a lo largo del pedúnculo, sésiles, pedúnculo de 6 a 33 cm de largo, grueso, glabro a ligeramente pubescente, entrenudo entre las espatas nulo, espata inferior de 2.5 a 10 cm de largo, envolvente, abierta en la mitad superior, lámina de la espata inferior de 1.2 a 4.5 cm de largo y de 0.9 a 3.5 cm de ancho, orbicular a oblata, ápice obtuso, base cordada, mucho más pequeña que la lámina de las hojas no floríferas, espata superior de 3 a 13 cm de largo, abierta en el tercio o en la mitad superior, ápice mucronado, mucrón de 0.2 a 1 cm de largo; flores de ca. 5 cm de largo, perianto de color lila, externamente glandular-piloso, lóbulos externos de ca. 3 cm de largo, margen entero, lóbulos internos de ca. 3 cm de largo, margen entero; filamentos de los estambres largos de 2.5 a 3.6 cm de largo, de los cortos de 1.7 a 2 cm de largo, glandularpilosos a todo lo largo o los cortos algunas veces glabros, anteras de los filamentos largos de 1.6 a 2.2 mm de largo, de los cortos de 1.8 a 2.3 mm de largo; pistilo de 2.4 a 3.6 cm de largo, heterostilo, estilo glandular-piloso, estigma trilobado-fimbriado; cápsulas de ca. 1.5 cm de largo; semillas de ca. 1.5 mm de largo.

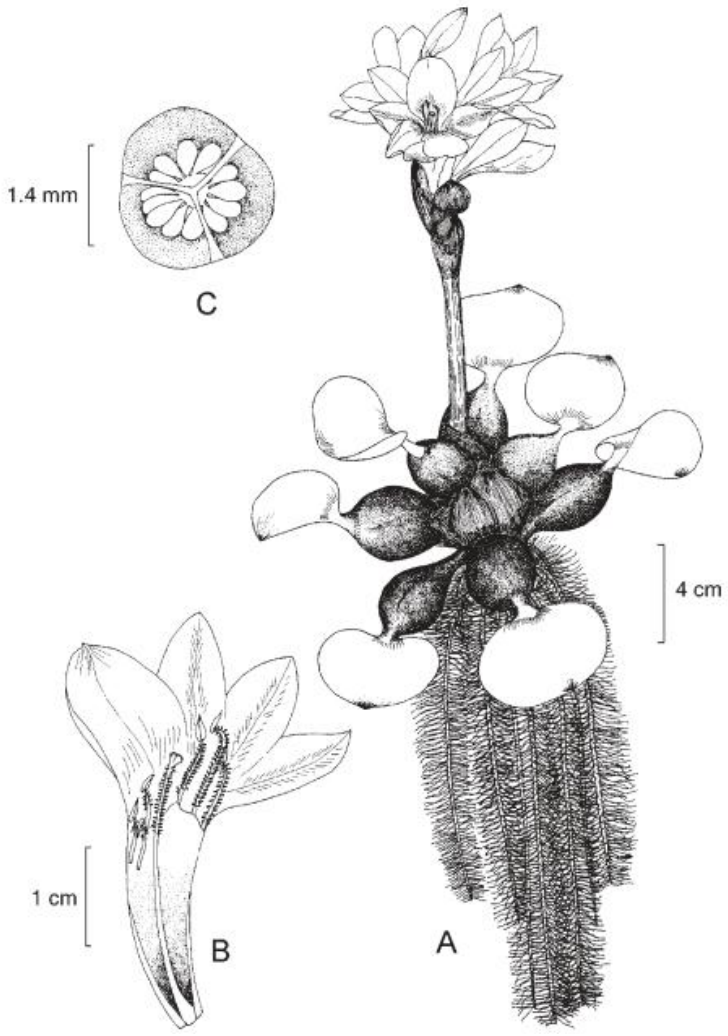


Figura 3. *Eichhornia crassipes* (C. Martius) Solms-Laub. A. aspecto general de la planta; B. flor desprovista de una parte del perianto; C. corte transversal del ovario. Ilustrado por Humberto Sánchez Córdova.

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta invasiva que puede tolerar un amplio rango de condiciones ambientales tales como la temperatura, humedad, iluminación, pH, salinidad, viento, corrientes y sequías (Hossain *et al.*, 2015). Es una de las plantas con mejor reproducción y tasa de crecimiento (Saavedra y Quintana, 2014), por lo cual se extiende rápidamente y forma tapetes o esteras que constriñen a las plantas nativas sumergidas y flotantes del cuerpo de agua (Carrión *et al*., 2012). Evita la entrada de luz y merma el oxígeno disuelto, también puede incrementar la tasa de pérdida de agua debido a la evapotranspiración, estas características lo han convertido en una de las principales plagas del planeta

Sin embargo a *Eichhornia crassipes* también se le atribuyen ciertos atributos positivos por su alta eficiencia en la remoción de nitrógeno, potasio, fósforo, cloro, sólidos totales, sales inorgánicas y metales pesados en los cuerpos de agua donde se encuentra, por lo que se utiliza en embalses artificiales en el tratamiento de aguas residuales (Alomía *et al*., 2011).

Se han realizado estudios acerca del contenido elemental del lirio acuático (tabla 2), así como de su rendimiento, encontrando que se pueden obtener 120 ton ha/año de materia seca (D'Agua, 2015). Análisis químicos realizados revelan que contiene 9.3% en materia seca, 10.5% de proteína cruda, 26.9% de fibra cruda y hasta 12.4% en ceniza total, también se detectan altos niveles de celulosa y hemicelulosa (Kimenju *et al.,* 2009*).*

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del lirio acuático (D'Agua, 2015)

Análisis elemental	**Lirio acuático (%)**
C	39.39
N	1.01
H	5.93
O	44.61
S	0.45
Cen.*	10.76

*Cenizas

Con base en los datos acerca de los niveles de proteína cruda disponibles en el lirio acuático, puede ser considerado una buena opción para la alimentación de rumiantes, también puede ser usado como suplemento para residuos de cosecha de baja calidad en la producción de hongos y de alimento para animales, así mismo tiene otros usos para la producción de biogás, elaboración de abonos, purificación de agua e incluso para el consumo humano.

3.2.2 Manejo del lirio acuático

Se ha realizado el control químico con herbicidas como Ametrina (0.4 Kg/ha), Paraquat 2,4 D (0.5 Kg/ha), Diquat-2-4-D (0.5-2 Kg/ha) y 2,4-D (2.9 Kg/ha), también existen propuestas de manejo con glifosato.

El control mecánico se ha tomado como una de las alternativas más usadas, sin embargo, es costoso y no se ha encontrado un aprovechamiento adecuado del lirio extraído.

El control biológico del lirio ha considerado el uso de los escarabajos *Neochetina elchhorniae* y *N. bruchi*, el ácaro *Orthogalumna terebrantis,* el manatí *Trichechus manatus*, un caracol *Marisa cornarientis* y la carpa herbívora *Ctenopharyngodon idelia*, todas las anteriores sin resultados satisfactorios (IMTA, 1989).

3.3 Hongo seta (*Pleurotus ostreatus*)

En la actualidad tenemos una clasificación de cinco reinos: Mónera, Protozoa, Fungi, Vegetal y Animal donde *Pleurotus ostreatus* pertenece al reino Fungi (Unión Europea, 2003). En la tabla 3 se puede consultar la clasificación taxonómica.

Tabla 3. Clasificación taxonómica de *Pleurotus ostreatus* (Guzmán, 1980; Herrera y Ulloa, 1990).

Reino	*Fungi*
División	*Eumycota*
Subdivisión	*Basidiomycotina*
Clase	*Holobasidimycetes*
Subclase	*Hymenomycetidae*
Orden	*Agaricales*
Familia	*Tricholomataceae*
Género	*Pleurotus*
Especie	*ostreatus*

Morfológicamente (ver figura 4) *Pleurotus ostreatus* está conformado por el pileo o sombrero en forma de oreja u ostra el cual posee himenio con láminas o pliegues donde se producen las esporas, estas láminas están dispuestas radialmente y van desde el pie hasta el borde del sombrero y el pie es blanco, algo peludo en la base, es corto, oblicuo y ligeramente duro por ser la parte que sostiene al hongo (Carvajal 2010; Pérez 2002).

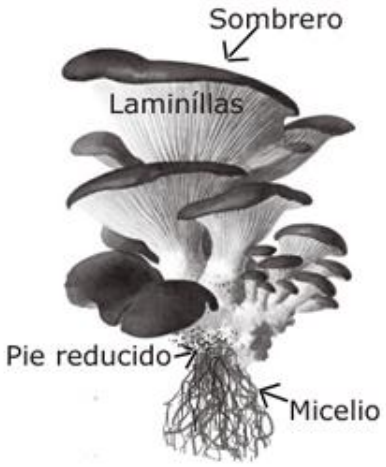


Figura 4. Morfología de *Pleurotus ostreatus.*

El ciclo reproductivo del hongo mostrado en la figura 5, inicia cuando las esporas son liberadas al abrirse el pileo, por el tamaño microscópico de estas (7.5 a 11.5 x 3 a 5.6 micras) se dispersan en el aire formando un polvillo arenoso de color blanco o lila grisáceo llamado esporada (García-Rollada, 1985) que cuando encuentra un medio que sea favorable, las esporas germinan y desarrollan hifas. La hifa crece a partir de su extremo permitiéndole deslizarse hacia adelante (Hernández y López 2005). El ciclo reproductivo finaliza cuando el fruto madura nuevamente las esporas e inicia su descomposición. El periodo de duración del ciclo se extiende entre 7 y 8 semanas en condiciones óptimas (Alder y Zubillaga, 2014).

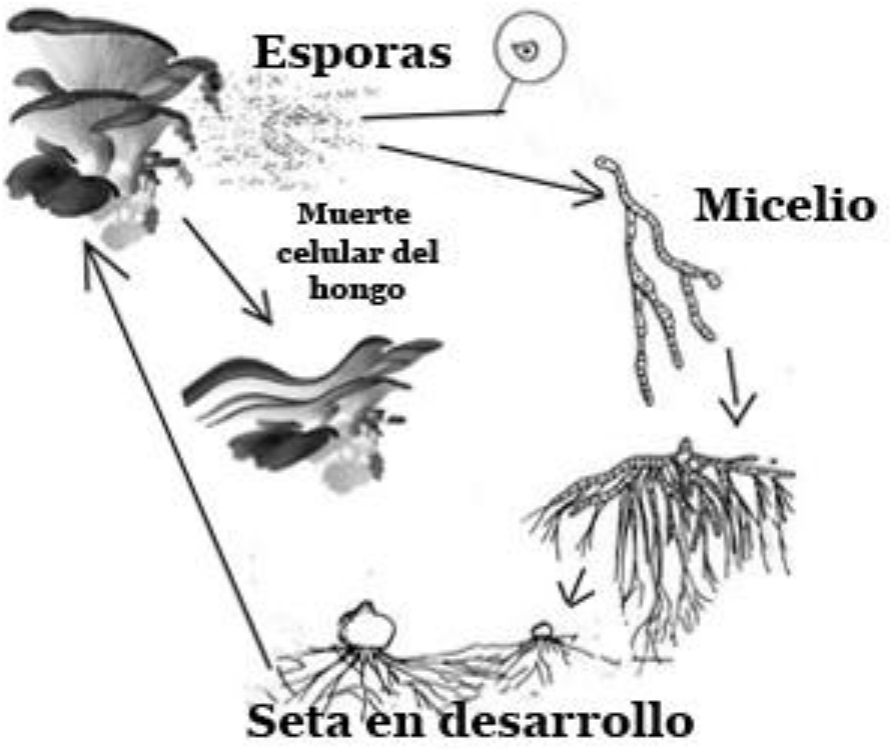


Figura 5. Ciclo reproductivo de *Pleurotus ostreatus.*

Pleurotus ostreatus pertenece al grupo de hongos de podredumbre blanca. Este grupo se caracteriza por su capacidad de degradar lignina mediante la segregación de enzimas extracelulares denominadas ligninolíticas. Estas enzimas son: lacasa (Lac), peroxidasa (P), Mnperoxidasa (MnP) y lignina peroxidasa (LiP). Todas ellas se caracterizan por su alta capacidad oxidativa debido a sus elevados potenciales de ionización y a su baja especificidad por el sustrato, siendo capaces de oxidar tanto compuestos fenólicos como no fenólicos mediante la generación de radicales catiónicos (García y Eymar, 2013).

Estudios previos indican que *Pleurotus ostreatus* puede aprovechar de manera eficiente el lirio acuático para su crecimiento obteniendo rendimientos de hasta 1,107.2 g y en combinación como complemento del rastrojo de arroz para la producción de hongo seta, Bandophyay en 2013 menciona que existe un mejor rendimiento en combinación ya que el lirio proporciona una mejor aireación y capacidad de retención de agua, condiciones que son necesarias en la fermentación sólida.

Debido a la baja especificidad por el sustrato del hongo se han realizado diversas pruebas para el aprovechamiento de residuos agroindustriales tales como la pulpa del café, residuos de la fabricación de leche de soja, cáñamo, lino, residuales de extractos de hierbas como ginseg, etc., estos han sido suplementados con extractos de levadura, fitohormonas obtenidas de *Rizobium sp.* cal, caliza molida, KH_2PO_4, $MgSO_4$- $7H_2O$, $Ca(NO_3)_2$- $4H_2O$, $CaCO_3$ (2%), etc.

3.3.1 Propiedades nutricionales del hongo

Algunos beneficios que aportan los hongos setas, aparte de la degradación de residuos lignocelulósicos, es el hecho de que presenta una buena cantidad de proteína (20 a 30% en materia seca), lo cual lo hace un buen sustituto de carne (Pineda-Insuasti *et al*., 2014), particularmente en el nivel de aminoácidos, tales como la leucina y el triptófano, llegan a niveles de 4.5 a 9.9 g y de 1.1 a 1.3 g respectivamente por cada 100 g de hongo en peso seco (Arriaga y Morales, 2009). El contenido de fibra es de 11.9 % mientras que las grasas se encuentran entre 0.9 y 1.8 %. Gaitán y colaboradores en 2006 reportan también un contenido en carbohidratos que oscila entre 57 a 61 %, adicionalmente han detectado que tiene propiedades medicinales como antitumorales, antibióticas, antivirales, antimutagénicas, antioxidantes, entre otros beneficios por el contenido en β-D-glucano (Yashvant *et al*., 2012).

3.3.2 Importancia económica de *Pleurotus ostreatus*

En 1974 por primera vez en México, se cultivó en Cuajimalpa una especie de hongo comestible diferente al champiñón, cuyo nombre científico corresponde a la especie *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) Kumm. al importar de Europa pacas de trigo previamente inoculadas con micelio de esta especie. La venta de este hongo era bastante difícil puesto que poca gente lo conocía. Sin embargo, en la actualidad su distribución en el mercado es bastante amplia y se le comercializa con el nombre de setas (Martínez-Carrera *et al.,* 1991).

Los hongos comestibles en México han presentado un importante desarrollo desde pequeña a gran escala, exhibiendo una producción comercial estimada en 62,374 ton anuales, superando los 200 millones de dólares al año, además de generar alrededor de 25,000 empleos (Martínez-Carrera, 2007). El mercado de las setas es muy bueno, México es pionero en el cultivo de setas en América Latina ya que dicha actividad inició en los años 70, desde entonces, el interés por su propagación y consumo ha ido en aumento. Debido a la relativa facilidad del cultivo de las setas, en la última década los niveles de producción aumentaron alrededor de 400 % (Gaitán *et al.*, 2006).

3.3.3 Desarrollo rural sostenible y hongos

La base, tanto para el desarrollo rural sustentable como para la agricultura sustentable, reside en el uso de los recursos naturales conforme a su aptitud. Por ejemplo, la práctica de agricultura intensiva en sectores donde ya se presenta la erosión eólica o hídrica podría resultar en una degradación acelerada de los recursos naturales, suelo y agua. La consecuencia de esta práctica es el empobrecimiento de los agricultores debido a la caída de la capacidad productiva de los suelos. La solución para ese problema sería la de utilizar el recurso natural de acuerdo a su vocación, lo que muchas veces no es del todo factible, puesto que los sistemas posibles para utilizarse de acuerdo a la vocación de los recursos naturales no son económicamente viables para sustentar a los agricultores. Siendo así, quedarían dos alternativas: ubicar los agricultores en sectores adecuados para la práctica de la agricultura, o dejar disponible a los agricultores alternativas tecnológicas capaces de minimizar los problemas relacionados al uso conflictivo del suelo. Dentro de este último contexto se adhiere la agricultura sustentable (Merten y Riquelme, 2000).

En este sentido, la producción de hongos comestibles constituye una alternativa que puede contribuir a manejar dicho conflicto, aprovechando su gran capacidad para la degradación eficiente de lignina y celulosa que conforman los residuos agrícolas. Se trata de una biotecnología compatible con el medio físico, económico y social, si se aplica apropiadamente. Permite un aumento en el rendimiento económico por unidad de área, sin aumentar la presión sobre los recursos naturales disponibles y costos de

conservación a largo plazo, cada vez que se recicla el subproducto degradado por acción del hongo (Martínez-Carrera *et al.*, 1993).

Dentro de la cadena productiva de los hongos, ya sea a pequeña o gran escala, se puede obtener un excedente en el ingreso económico de la unidad familiar, además de producir alimento humano de buena calidad nutricional y con propiedades medicinales que tiene potencial de ser distribuido como extracto y diferentes productos nutraceuticos. Mora y Martínez-Carrera en 2006 mencionan que los subproductos del proceso pueden ser usados en diferentes procesos de biorremediación ya que el sustrato parciamente degradado contiene una gran variedad de enzimas extracelulares y sustancias nutritivas, que al ser aplicadas permiten la degradación de compuestos contaminantes y favorecen el desarrollo de otros microorganismos.

No cabe duda que la producción de hongos no solo trae beneficios ambientales al permitirnos utilizar de manera eficiente los recursos naturales, sino que pueden significar un aumento en los ingresos de la unidad familiar, aumentando también la rentabilidad de los cultivos agrícolas, así mismo, permite la obtención de un alimento al que se le han comprobado excelentes propiedades nutrimentales y medicinales. Así, esta actividad contribuye a generar empleo, a disminuir la emigración desde el campo, a incorporar a la mujer a la actividad económica familiar y a impulsar sistemas de organización entre productores, como lo demuestran diversas experiencias de agrupaciones femeninas y mixtas, promovidas desde los sectores gubernamental y no gubernamental, para cultivar setas (Sántiz, 2007). Todos los factores anteriores nos dirigen a la sostenibilidad agrícola.

3.4 Compostaje

Está probado que el uso de compostas puede incrementar en el suelo la capacidad de retención de agua y las características físicas, químicas y biológicas. Las funciones de las compostas son bastante amplias: enmienda de suelo, control y prevención de contaminación, control para la erosión, remediación de suelos contaminados con metales pesados etc. Además de tener el potencial de incrementar la producción

agrícola, las compostas proveen al suelo de microorganismos benéficos, los cuales tienen un papel importante para el control de microorganismos patógenos y para la mineralización de residuos orgánicos.

El proceso de composteo depende en gran manera de la textura del material usado, la actividad microbiológica, parámetros de control como el pH, temperatura, la relación C:N y humedad (Alananbeh *et al.*, 2014).

En un proceso de compostaje, la relación carbono-nitrógeno (C:N) es uno de los parámetros de mayor relevancia**.** Por esta razón es necesario añadir organismos que aceleren la mineralización del sustrato. El uso específico de *Trichoderma* sp*.,* tiene varios beneficios, este hongo es bien conocido por sus propiedades antagonistas a varios patógenos del suelo, incluyendo algunos hongos, invertebrados y bacterias, actúa como promotor del desarrollo de la planta y agente de biocontrol, esto evita en parte el uso de insumos químicos (Shafawati y Sinddiquee, 2013).

3.5 Vermicomposta

La vermicomposta es un producto de una degradación no termofílica de materiales a través de la interacción de lombrices y microorganismos con el sustrato, que puede ser implementada en un amplio rango de residuos sólidos, provee al suelo de fertilidad mediante el aporte de elementos minerales en formas que están disponibles para la planta. Está constituida principalmente por C, H y O, además de contener nutrientes tales como el NO_3, PO_4, Ca, K, Mg y micronutrientes que proporcionan a la planta efectos similares a los fertilizantes inorgánicos, con la diferencia de que una vermicomposta provee al suelo de una mejor estructura, incrementa la capacidad de intercambio catiónico, proporciona una mejor tasa de ácidos húmicos y hormonas de crecimiento en la planta. Estudios han mostrado que la vermicomposta juega un papel importante en el aumento de rendimientos para cultivos incluidos vegetales, flores y cultivos frutales como ejemplo, Theunissen *et al.,* (2010) menciona que la aplicación de vermicomposta en frijol mung proporciona una mejor germinación (93%), crecimiento y rendimiento del cultivo (84%) comparado con el grupo control.

3.5.1 Descripción de la lombriz *Eisenia foetida*

Existen en el mundo más de 4,400 especies de lombrices terrestres identificadas, solamente algunas de ellas reúnen las características para una transformación rápida de materia orgánica (Saavedra, 2007), *Eisenia foetida* ha demostrado ser una especie cuyas características la hacen una de las más usadas en la lombricultura y reproducidas en cautiverio para ser vendida con estos fines.

Eisenia foetida es un gusano verdadero (en la tabla 4 se describe su clasificación taxonómica), no posee dientes por lo que usa mucus para humedecer y ablandar su alimento, su color va desde rojo con tonalidades oscuras hasta claras, en estado adulto mide entre 7 y 10 cm, con un diámetro de 3 a 5 mm, su cuerpo es cilíndrico, constituido por numerosos segmentos llamados también metámetros, anillos o somitos (hasta 250) los cuales le permiten desplazarse, en estado adulto pesa entre 1 y 1.4 g, come diariamente casi lo mismo que su peso y excreta un 60% de lo que come en forma de abono (Campos y Guzmán, 2014; Arango y Díaz, 2010).

Tabla 4. Descripción taxonómica de *Eisenia foetida* (Clavería, 2005).

Reino	*Animalia*
Filium	*Anélida*
Clase	*Clitellata*
Subclase	*Oligochaeta*
Familia	*Lumbricidae*
Género	*Eisenia*
Especie	*Eisenia foetida*

El sistema digestivo está compuesto de boca, faringe mucosa, una molleja única, esófago, glándulas calcíferas e intestino que abre en la región posterior en el pigidium. El sistema circulatorio está compuesto por 5 pares de corazones, un vaso medio dorsal y otros longitudinales de menor calibre. No presenta órganos especializados para respirar por lo cual el sustrato debe estar húmedo para facilitar este proceso ya que los gases deben disolverse en la superficie de la epidermis. El sistema nervioso está constituido por un ganglio cerebral que se extiende hacia la región posterior como un

nervio ventral que corre por debajo del canal alimentario. Además, presentan órganos de los sentidos, quimio-receptores y foto receptores (Mayorga y Urey, 2015).

Las lombrices son hermafroditas, presentan ambos sexos en un mismo individuo; sin embargo, no son capaces de auto fecundarse por lo que deben acoplarse para intercambiar esperma y fecundar los óvulos. Posterior a este proceso, se liberan los cocones o capullos que contienen los huevecillos fecundados; estos tardan en madurar y eclosionar entre tres y cinco semanas, siempre y cuando tengan las condiciones adecuadas, las lombrices tardan alrededor de 90 días en llegar a su estado adulto y es cuando inician su ciclo reproductivo, descrito en la figura 6 (Martínez, 1999).

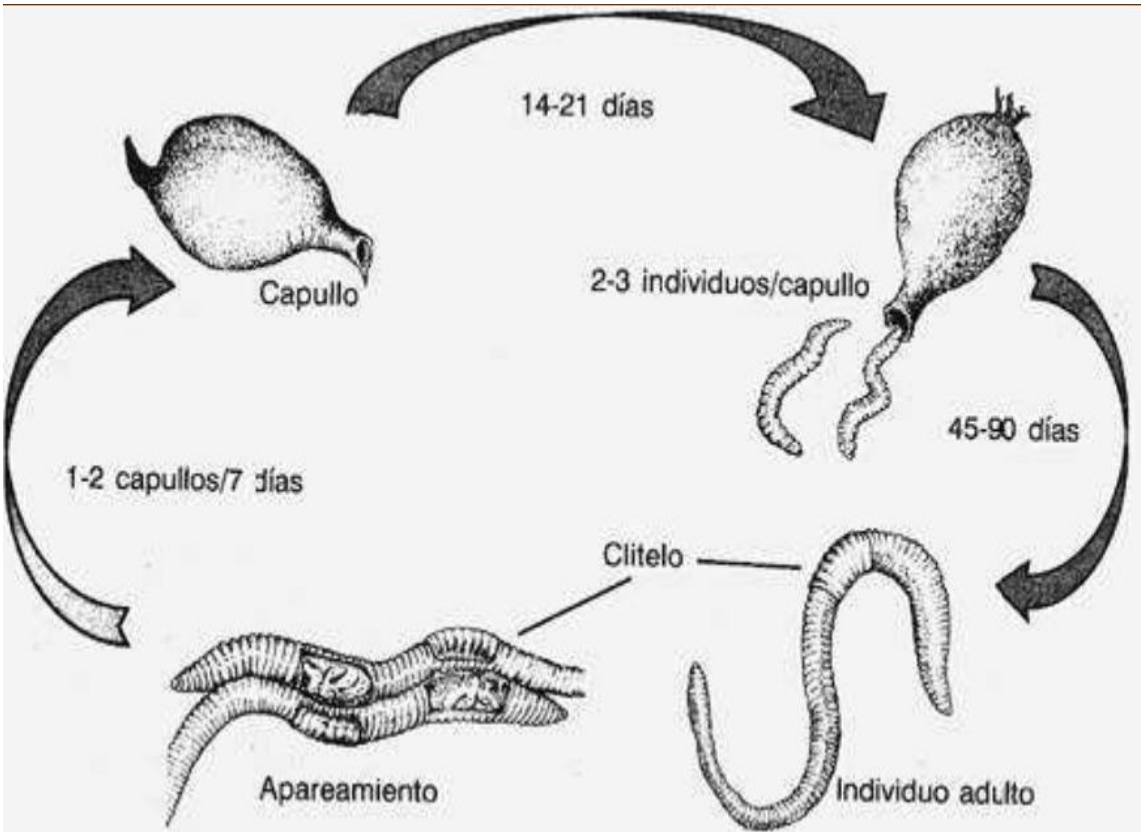


Figura 6. Ciclo reproductivo de *Eisenia foetida.*

Las condiciones para el desarrollo de *Eisenia foetida* exigen ambientes con una humedad del 70 %, esto facilita el desplazamiento, la respiración y la alimentación de la

lombriz, por lo cual un exceso o falta de humedad podría llevarla a la muerte (Sánchez, 2003; Mosquera, 2010). La temperatura, es un factor que determina principalmente la reproducción de la lombriz, esta debe oscilar entre 12 y 15 °C para la formación de cocones, teniendo una tolerancia hasta 30°C, siendo la temperatura ideal entre 20 y 25°C (Ferruzzi, 1994; Barbado, 2004).

El pH en donde el género *Eisenia* es tolerante oscila entre 4.2 y 8, uno de los beneficios de su proceso digestivo consiste en equilibrar el pH. Otro factor que debe cuidarse es la cantidad de luz, ya que son muy sensibles a los rayos ultravioleta, de este modo la luz no debe incidir directamente y el sitio debe estar correctamente ventilado, evitar apelmazamientos y exceso de humedad para evitar condiciones anaerobias que terminarán por matar a las lombrices (Serrano, 2004).

3.6 Características generales de los metales pesados y daños en la salud

Según la tabla periódica, es un elemento químico con alta densidad (mayor a 4 g/cm^3), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn) (Lodoño-Franco *et al.,* 2016) incluyendo al aluminio (Al) y arsénico (As).

En general se considera, que los metales son perjudiciales, pero muchos resultan esenciales en nuestra dieta (Ver tabla 5) y en algunos casos, su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. Otros en cambio no cumplen una función fisiológica conocida, alteran la salud y es mejor evitarlos siempre (Concon, 2009).

Tabla 5. Funciones biológicas y fitotoxicidad de los metales pesados en los organismos (Hagedorn, 1996).

Elemento	Función biológica	Fitotoxicidad (mg/Kg)	Efectos de toxicidad	Toxicidad en mamíferos	Niveles en el suelo (mg/Kg)
Al	Activa la deshidrogenasa	Moderado (50-200)	No esencial, las concentraciones naturales en el suelo son muy altas que las del agua residual: la toxicidad ocurre solo en suelos ácidos. La acumulación de este metal es a nivel de las raíces que se pudren o presentan plasmólisis. Este no se acumula en las hojas.	Bajo	10,000 a 300,000
As	Ninguno en animales: es un fosfolípido en algas y hongos	Moderado a alto (5-20)	Elemento no esencial, el contenido en plantas cultivadas varia ampliamente con las concentraciones naturales del arsénico en el suelo y crecimiento en las plantas se ve afectado por las altas concentraciones de As.	Alto	3.6 a 8.8
Cd	Ninguno conocido	Moderado a alto (5-30)	No esencial, las plantas presentan una amplia gama de tolerancia a las concentraciones del suelo; en plantas cultivadas aumenta su concentración y se vuelven inseguras para el consumo en humanos y animales.	Alto	0.06 a 1.1
Cr	Metaboliza el azúcar de la sangre en los mamíferos	Moderado a alto (5-30)	No esencial, las plantas presentan una amplia gama de tolerancia a las concentraciones del suelo; en plantas cultivadas aumenta su concentración y se vuelven inseguras para el consumo en humanos y animales.	Alto	0ñ.06 a 1,1
Cu	Esencial para todos los organismos, actúa sobre las enzimas redox y el transporte de oxigeno	Moderado a alto (20-100)	Elemento esencial pero tóxico, particularmente en suelos ácidos, cuando existen altas concentraciones puede existir la deficiencia de hierro y fósforo. Se cumulan en las plantas pero no a nivel de las hojas aunque aún con ello son inseguras para el consumo.	Moderado	14 a 29
Fe	Esencial para	Bajo (>1000)	Elemento esencial; las	Bajo	50 a

Continúa Tabla 5

	todos los organismos. Es un cofactor en muchas enzimas y varias proteínas		concentraciones naturales en el suelo, varían mucho al aplicarse agua residual en el riego. No se considera tóxico en especies cultivadas aunque la presencia de formas amorfas contribuye a la deficiencia de fosforo y molibdeno.		1000
Hg	Ninguna conocida	Alta (1-3)	No esencial, la magnitud de absorción por plantas terrestres es muy baja al igual que su toxicidad pero si es alta en animales y el hombre. Se pierde del suelo por volatización.	Alto	0.04 a 0.28
Mn	Esencial para todos los organismos además de participar en la fotosíntesis	Bajo a moderado (300-500)	Esencial, las concentraciones naturales en el suelo son usualmente más altas que las contenidas en el agua residual. Se restringe su toxicidad en los suelos ácidos y los síntomas en las plantas son una clorosis y rozamiento en los márgenes de las hojas.	Moderado	260 a 840
Mo	Esencial en casi todos los organismos, es un cofactor en la fijación del nitrógeno	Moderado (10-50)	Esencial. Presenta baja toxicidad en algunas plantas, cuando existen altas concentraciones en el suelo, el molibdeno puede acumularse en el forraje; la solubilidad del molibdeno en el suelo incrementa cuando el nivel de pH es bajo.	Moderado	0.35 a 5.8
Ni	Esencial para las plantas	Moderado a alto (10-100)	No es esencial para las plantas. Relativamente existe una baja fitotoxicidad en plantas que crecen en suelo ácidos. No se absorbe de manera natural a concentraciones consideradas de riesgo para el hombre o los animales.	Moderado	13 a 30
Pb	Ninguno conocido	Moderado (10-100)	No es esencial, no es tan toxico cuando es absorbido por plantas cultivadas, pero cuando se ingiere directamente por animales o humanos se presenta un alto nivel de toxicidad.	Alto	17 a 26
Se	Esencial para los	Moderado a	No es esencial para las	Alto	0.019 a

Continúa Tabla 5

	mamíferos y algunas plantas	alto (5-30)	plantas. Hay una baja toxicidad excepto cuando hay niveles altos en el suelo y solo así es absorbido por las plantas. El selenio en el forraje puede ser dañino para los animales. Es disponible para las plantas cuando la acides del suelo es baja.		1.05
Zn	Esencial en todos los mamíferos	Bajo a moderado (100-400)	Elemento esencial; se acumula en los cultivos pero en niveles considerando normales para el consumo del hombre y los animales; la fitotoxicidad es más prevalerte y aguda en suelos ácidos.	Bajo a moderado	34 a 84

3.7 Marco jurídico

Es imprescindible guiarnos de las leyes que rigen en nuestro país ya que nos fijan acciones y parámetros a seguir para el manejo de recursos.

Se observan cuatro elementos a considerar en cuanto a leyes, reglamentos y normas, estos son: agua, suelo, vida silvestre y gestión integral de residuos.

La constitución es el documento con mayor jerarquía a tomar en cuenta, seguido de las leyes, reglamentos, normas oficiales mexicanas (NOM), acuerdos y protocolos nacionales e internacionales seguido de las normas mexicanas (NMX) que reglamentan acerca de procedimientos de análisis cuantitativos y cualitativos de muestras.

Debido a lo anterior se hace mención de las partes más importantes de cada documento en cuanto a los elementos a reglamentar.

<u>Normas constitucionales en la materia</u>

Artículo 4º. "*Toda persona tiene derecho a la alimentación nutritiva, suficiente y de calidad. El estado lo garantizará… Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar*"

Artículo 27 fracción XX. "*El estado promoverá las condiciones para el desarrollo rural integral, con el propósito de generar empleo y garantizar a la población campesina el bienestar y su participación e incorporación en el desarrollo nacional, y fomentará la actividad agropecuaria y forestal para el óptimo uso de la tierra, con obras de infraestructura, insumos, créditos, servicios de capacitación y asistencia técnica. Asimismo, expedirá la legislación reglamentaria para planear y organizar la producción agropecuaria, su industrialización y comercialización, considerándolas de interés público."*

LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

TÍTULO SEGUNDO: BIODIVERSIDAD

CAPÍTULO I: Áreas naturales protegidas. SECCIÓN 1: Disposiciones generales.

Artículo 45 fracción II. "*Salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres de las que depende la continuidad evolutiva; así como asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional…"*

CAPÍTULO III: Flora y fauna silvestre.

Artículo 80 fracción IV. "*La protección y conservación de la flora y fauna del territorio nacional, contra la acción perjudicial de especies exóticas invasoras, plagas y enfermedades, o la contaminación que pueda derivarse de actividades fitopecuarias."*

TÍTULO TERCERO: APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LOS ELEMENTOS NATURALES.

CAPÍTULO I: APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DEL AGUA Y LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS.

CAPÍTULO II: PRESERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DEL SUELO Y SUS RECURSOS.

TÍTULO CUARTO: PROTECCIÓN AL AMBIENTE

CAPÍTULO III: PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y DE LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS.

CAPÍTULO IV: PREVENCIÓNY CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO.

LEY GENERAL DE VIDA SILVESTRE

TÍTULO VI: CONSERVACIÓN DE LA VIDA SILVESTRE.

CAPÍTULO VI: EJEMPLARES Y POBLACIONES QUE SE TORNEN PERJUDICIALES.

Artículo 72. *"La Secretaría podrá dictar y autorizar, conforme a las disposiciones aplicables, medidas de control que se adopten dentro de unidades de manejo de vida silvestre para lo cual los interesados deberán proporcionar la información correspondiente, conforme a lo que establezca el reglamento respectivo… Los medios y técnicas deberán ser los adecuados para no afectar a otros ejemplares, a las poblaciones, especies y sus hábitats."*

CAPÍTULO VIII: CONSERVACIÓN DE LAS ESPECIES MIGRATORIAS.

Artículo 76. *"La conservación de las especies migratorias se llevará a cabo mediante la protección y mantenimiento de sus hábitats, el muestreo y seguimiento de sus poblaciones, así como el fortalecimiento y desarrollo de la cooperación internacional; de acuerdo con las disposiciones de esta Ley, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de las que de ellas se deriven…"*

LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS

TITULO TERCERO: CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.

CAPÍTULO ÚNICO: FINES CRITERIOS Y BASES GENERALES.

Artículo 19. Residuos de manejo especial. Fracción III: *"Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en estas actividades"*

TITULO CUARTO: INSTRUMENTOS DE LA POLÍTICA DE PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS.

CAPÍTULO II: PLANES DE MANEJO

Artículo 30. *"La determinación de residuos que podrán sujetarse a planes de manejo se llevará a cabo con base en los criterios siguientes: I. Que los materiales que lo componen tienen un alto valor económico. II. Que se trate de residuos de alto volumen de generación, producidos por un número reducido de generadores. III que se trate de residuos que contengan sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables y IV. Que se trate de residuos que representen un alto riesgo a la población, al ambiente o a los recursos naturales."*

NORMATIVIDAD

En la tabla 6 se describe brevemente las normas oficiales mexicanas que aplican al tema de metales pesados en los diferentes estratos ambientales.

Tabla 6. Normas Oficiales Mexicanas aplicables al tema.

Área de atención	Norma	Contenido	Aplicación	A quien aplica
Agua residual	NOM-001-SEMARNAT-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	General	Todos aquellos que descarguen aguas residuales en aguas y bienes nacionales como lagos, lagunas, ríos, arroyos, cuencas, presas, océanos, mares, mantos freáticos, etc.
Lodos y biosólidos	NOM-004-SEMARNAT-2002	Protección ambiental –lodos y biosólidos- especificaciones y límites máximos permisibles (metales pesados) de contaminantes para su aprovechamiento y disposición.	General	Plantas de tratamiento de aguas y empresas que generen lodos y biosólidos.
Suelo	NOM-021-SEMARNAT-2000	Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	Específica	Empresas dedicadas a la investigación y clasificación de suelos.
Suelo	NOM-147-SEMARNAT/SSA1-	Criterios para determinar las	Especifica	Personas físicas y morales que deban

Continúa Tabla 6

	2004	concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.		determinar la contaminación de un suelo con materiales o residuos que contengan arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
Alimentos	NOM-130-SSA-1995	Alimentos envasados en recipientes de cierre hermético y sometidos a tratamiento térmico. Disposiciones y especificaciones sanitarias. (Límites máximos permisibles para metales pesados)	Específica	Empresas dedicadas al procesamiento o importación de alimentos.
Alimentos	NOM-117-SSA1-1994	Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.	Específica	Empresas que realicen análisis de metales pesados en alimentos y agua para consumo humano.
Recursos naturales (Flora y Fauna)	NOM-059-SEMARNAT-2010	Protección ambiental –especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio (lista de especies en riesgo).	General	Todas las personas relacionadas con las especies nacionales de cualquier forma.
Lombricompostas	NMX-FF-109-SCFI-2007	Establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz que se produce o se comercializa en territorio nacional. Se excluye el humus de lombriz en presentación líquida.	Específica	Todas las personas que realicen o comercien con lombricompostas.

NORMAS INTERNACIONALES

“CODEX ALIMENTARIUS”: Norma internacional de los alimentos que es promovida por la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, así como de la Organización Mundial de la Salud en donde se especifica los límites máximos permisibles para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos.

4. JUSTIFICACIÓN

La disponibilidad de tierras arables para la producción de alimentos se ha visto reducida por la continua extensión de las ciudades y por la pérdida de suelo debido a la intensificación de los cultivos con la consecuente erosión hídrica y eólica. Es por ello que se busca dar un valor a los residuos agrícolas y al lirio acuático más allá de su uso básico en la alimentación animal y como cobertura para la protección del suelo, destacando su valor en la implementación de prácticas culturales para la producción de alimentos, compatibles con los principios de la agricultura de conservación, de esta manera, se pretende aportar un alimento de alto valor nutritivo que a la vez permita restaurar el ciclo de nutrientes en el suelo al regresar materia orgánica, macroelementos y microelementos, esenciales en el crecimiento y desarrollo vegetal.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la fermentación sólida del residuo del cultivo de *Pleurotus ostreatus* para la elaboración de lombricomposta de acuerdo a los parámetros de la NOM-004-SEMARNAT.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar la cantidad de metales pesados en los sustratos para la elaboración de composta.

- Evaluar la eficiencia biológica del sustrato con lirio acuático y la calidad nutrimental del hongo seta.
- Determinar la calidad alimentaria de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus.*
- Caracterizar de forma física, química y microbiológica el sustrato al final de los tratamientos.

6. HIPÓTESIS

La producción de *Pleurotus ostreatus* será viable utilizando como sustrato al lirio acuático *Eichhornia crassipes*, además de aplicar los remanentes para la elaboración de lombricomposta, con parámetros de metales pesados que se encuentren dentro de los límites máximos permisibles de las normas nacionales e internacionales.

7. METODOLOGÍA

El experimento se desarrolló en el laboratorio de Micología del Centro de Agroecología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

7.1 Medios de Cultivo

La cepa CP-50 de *P. ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kumm*.,* empleada en el estudio proviene del Centro de Recursos Genéticos de Hongos Comestibles (CREGENHC) del Colegio de Postgraduados y está depositada en el Cepario de Hongos Comestibles del Campus Puebla-México y fue desarrollada en diferentes medios de cultivo que le proporcionan al hongo los nutrientes adecuados, se inoculó por quintuplicado en cajas petri con los siguientes medios:

- Agar papa dextrosa.
- Agar papa dextrosa enriquecido con fibra de trigo (All Bran®) 0.5%.
- Agar con fibra de trigo (All Bran®) 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 4%.

- Agar con extracto de malta.
- Agar lirio al 0.5%, 0.6%,1%, 1.25%, 2%,3%, 4%.
- Lirio picado.

La preparación de los medios de cultivo se realiza por esterilización húmeda en autoclave a 121 ºC y 15 lb, posteriormente, se vierten 20 mL del medio en cajas petri, una vez gelificado y pasado el tiempo de verificación de esterilidad, se inocula en condiciones de asepsia en una cámara de flujo laminar tomando un grano de trigo previamente colonizado de un master con la cepa CP-50 de *Pleurotus ostreatus*.

Se realizó una caracterización *in vitro* de la tasa de desarrollo (TD= VC inicial-VC final/número de días) (Romero-Arenas *et al*., 2012), para ello se traza un eje sobre las cajas petri tomando como referencia el centro del implante y se mide diariamente con una regla. (Carreño *et al*., 2013).

7.2 Preparación de semilla madre

Los masters (figura 7) son el inóculo primario, es decir, la propagación del micelio en semillas a partir de una cepa crecida en medio de cultivo (Gaitán *et al.*, 2006).

Se utilizaron granos de trigo para la propagación primaria, las semillas se ponen a hervir durante 10 minutos en agua, se dejan en reposo durante 12 min, se eliminan las impurezas y se depositan en charolas para escurrir. Se envasaron las semillas en frascos de vidrio que se esterilizaron vía húmeda en autoclave a 121º y 15 lb durante 80 min, se verifica la esterilidad después de 24 horas y se inoculó con el micelio de las cajas petri para posteriormente iniciar el periodo de incubación de 20 días (Romero-Arenas *et al*., 2010).

Figura 7. Master primario.

7.3 Preparación de la semilla secundaria

La inoculación secundaria (figura 8) es la multiplicación del micelio para disponer de una mayor cantidad para su siembra en el substrato (lirio y rastrojo de maíz, cebada y trigo) y la producción de hongos. Se preparan bolsas con 450 g de semilla de trigo con el método para los masters, se inoculó bajo condiciones de esterilidad en una campana de flujo laminar, se intercala semilla colonizada de los masters y semilla estéril para ir a un peso total de 5 kg, las bolsas se sellan con calor y se llevan a incubar por 20 días.

Figura 8. Semilla secundaria.

7.4 Preparación de sustratos

Es importante preparar las áreas de incubación e inoculación, esto se realizó a través de la desinfección química con cloro, jabón y alcohol de las superficies e instrumentos a utilizar.

Para la siembra de la cepa CP-50 de *Pleurotus ostreatus* se utilizaron diversos esquilmos agrícolas los cuales fueron: paja de trigo (*Triticum aestivum* L.), paja de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) que se adquirieron en la región de Tetela de Ocampo, adicional, se colectó lirio acuático de la presa Manuel Ávila Camacho durante la temporada de lluvias, en las coordenadas: 18°56’24” N y 98°11’20.29” O cerca del municipio de San Pedro Zacachimalpa. Las plantas fueron totalmente secadas por medio de la exposición al sol (Das y Mukherjee 2007). Por otro lado, es necesario realizar un tratamiento que permita eliminar los microorganismos competidores. El tratamiento que resulta viable en lugar de la esterilización en autoclave, es la pasteurización por inmersión en agua caliente o hirviendo (figura 9) durante una hora. Se utilizaron concentraciones de cal (2 kg) complementando con yeso comercial (4 kg) (Romero-Arenas *et al.*, 2015). El carbonato de calcio sirve de fuente de calcio, para el control del pH, para retener la humedad y para evitar la compactación del sustrato húmedo, aspectos que son clave para el desarrollo de las hifas y el cuerpo fructífero.

Figura 9. Esterilización de los sustratos.

La siembra se realizó mezclando 500 g de inóculo en las mezclas del sustrato ya preparado. El diseño de mezclas se muestra en la tabla 7, que se realizó en bloques totalmente al azar (ver figura 10).

Figura 10. Preparación de los tratamientos.

Tabla 7. Tratamientos a evaluar con su descripción y código.

TRATAMIENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
T1	M (rastrojo de maíz)	Grupo testigo (5 kg) de sustrato.
	LA (lirio parte aérea)	
	T (paja de trigo)	
	LR (lirio con raíz)	
	C (cebada)	
T2	MLA	Rastrojo de maíz complementado con lirio parte aérea.
	TLR	Paja de trigo complementado de lirio con raíz.
	CLR	Paja de cebada complementada de lirio con raíz.

Las bolsas se colocaron en anaqueles previamente desinfectados, la temperatura requerida en la etapa de colonización es de 25 a 30 ºC y una humedad entre 60 a 90% Cruz *et al*., 2010) con luminosidad mínima y buena ventilación para una buena actividad

enzimática puesto que la degradación de lignina es un proceso oxidativo (Wan y Li, 2012).

7.5 Fructificación y cosecha

Una vez colonizado el medio, se realizaron varios cortes a la bolsa, con una cuchilla limpia, estos cortes cumplen con la función de dar espacio a las setas y para obtener el 90% de oxígeno que necesitan para fructificar. La temperatura promedio para esta etapa es de 22 a 25 ºC y una humedad aproximada de 70 a 90%. Esto último se consigue mediante riego moderado con hidrolavadora y con atomizador.

Los primordios requieren en promedio una semana para llegar a ser hongos adultos, estarán listos para cosecharse cuando el sombrero se observe compacto, turgente, no flácido y antes de que sus orillas se enrollen hacia arriba. Para la fase de cultivo se utilizó un cuchillo desinfectado, realizando el corte en la base del hongo procurando ser lo más próximo al sustrato. Se estima que se pueden obtener de 2 a 4 cortes, sin embargo, los más importantes son los primeros dos.

Se desinfectó continuamente para mantener las condiciones de asepsia en el cuarto de incubación, las plagas más frecuentes en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* son los dípteros y colémbolos, para el control de estos, se hace uso de un insecticida orgánico comercial. Para evitar la propagación de enfermedades que pueden estar causadas por hongos patógenos o competidores (*Trichoderma* sp), bacterias y virus, se descartaron las bolsas contaminadas (Zanon *et al.*, 2005).

Se pesaron y midieron las setas para obtener la producción total (figura 11). Se determina la eficiencia biológica para evaluar el potencial biológico del sustrato para la producción del hongo. (EB= gramos de hongos frescos*100 gramos de sustrato seco) (Díaz y Carvajal, 2014)**.**

Figura 11. Medición de peso y medidas de las setas.

Como indicador de productividad también se determina la tasa de producción, esta se obtendrá a través de la fórmula (TP= EB/días de cultivo) de cada tratamiento (Salmones *et al.*, 2012).

7.6 Análisis estadístico

Se utilizó el paquete estadístico SPSS Statistics versión 17 (Statistical Package for the Social Sciences), los datos obtenidos fueron procesados con el análisis de varianza (ANOVA) y se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (α=0,5) para determinar las diferencias de tratamientos.

7.7 Tratamiento de residuos post cosecha

Para poder hacer uso de los residuos como abono se realizó un composteo el cual consistió en hacer camas para cada uno de los tratamientos, se inocula con *Trichoderma viride* adicionado con levadura comercial. Se madura por un tiempo de 3 meses. Este proceso cumple con la función de terminar la degradación de ligninas y

proporcionar al suelo un antagonista para los microorganismos patógenos. Se mantuvo la humedad de 40-70% a temperatura ambiente.

7.8 Lombricomposteo

Se inoculó con lombriz californiana 25 lombrices por cada cama y se calculó el incremento en la biomasa (Figura 12).

Figura 12. Monitoreo de la biomasa de lombriz.

Este paso es de importancia para la captación de metales pesados que pudieran estar de manera residual ya que la actividad microbiológica de la vermicomposta los remueve (Manyuchi *et al.*, 2013).

7.9 Determinación de calidad microbiológica de la vermicomposta

Se realizó un conteo de las Unidades Formadoras de Colonias, para ello, se hicieron diluciones seriadas a partir de la solución madre (Figura 13). Los tubos se incubaron por 24 horas a 25 °C.

Pasado el tiempo de incubación de los tubos inoculados, se trasladaron 10 µL de cada tubo en placas de agar y se sembró de forma estriada. Las placas inoculadas se incubaron durante 24 horas a 25 °C.

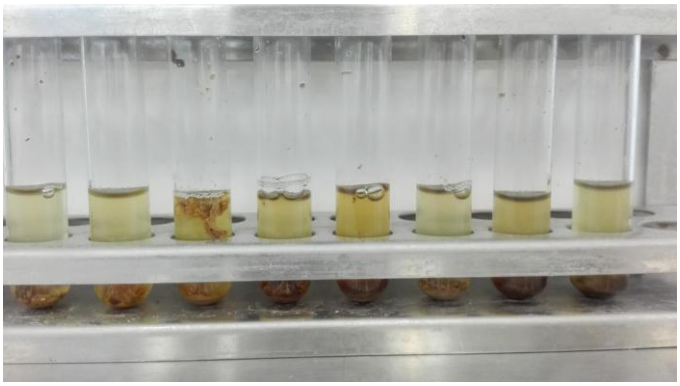


Figura 13. Soluciones madre en agar nutritivo a partir de los sustratos vermicomposteados.

Se contaron las unidades formadoras de colonias en cada placa en el caso de detectar crecimiento y se calcularon las UFC para cada gramo de muestra.

En un lector de microplacas (Figura 14) se realiza la medición de la absorbancia a 492 nm, para ello se colocan en cada pozo 200 µL de caldo nutritivo previamente inoculado con 4 repeticiones y dos blancos.

Figura 14. Lector de microplacas.

7.10 Análisis químicos proximales de *Pleurotus ostreatus*, sustratos postcosecha y lirio (*Eichhornia crassipes*).

Se realizaron los análisis fisicoquímicos del sustrato post cosecha del hongo al finalizar el lombricomposteo, ver tabla 8.

Tabla 8. Análisis a realizar para evaluar la calidad de suelo y lombricomposta.

Parámetros	Método
Nitrógeno (%N)	Kjhendal
Fósforo (ppm)	Olsen
Potasio (%K)	Espectrofotometría de emisión de flama
CIC	Saturación con acetato de amonio o tiourea de plata
pH	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	Walkley Black
Conductividad	Conductímetro

Se realizaron los análisis de metales pesados para el lirio, las setas y la vermicomposta. Se hizo una digestión de las muestras en horno microondas, se pesaron 0.5 g de muestra pulverizada (con una precisión de ± 0.001 g) en vasos de tetrafluorometoxilo (TFM). A cada uno de los vasos se le añadieron 9 mL de HNO_3 65 % (v/v) y 3 mL de HCl (1:1), cerrando adecuadamente los vasos según las instrucciones de seguridad. Las preparaciones se sitúan en el interior del horno microondas, en un rotor introduciendo la sonda de temperatura en el vaso control. Los vasos se calentaron durante 5 minutos con una potencia de 700 W hasta alcanzar una temperatura de 180 ºC, y se mantuvieron a la misma temperatura durante 10 minutos con una potencia de 500 W. Una vez finalizada la digestión se dejaron enfriar los vasos durante el tiempo necesario y la solución resultante se filtró para separar las posibles partículas residuales. Finalmente, el sobrenadante se transvasó a un matraz y se aforó a 25 mL con agua desionizada (Sacristán, 2015).

La solución resultante se conservó en botes de plástico, previamente lavados con agua desionizada, y se almacenó a 4 ºC hasta su determinación por espectrometría de emisión óptica (ICP-OES). Como referencia, los resultados obtenidos de los análisis

para el hongo seta se contrastaron los resultados con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO) con valores de ISTP (Ingesta Semanal Tolerable Provisional) (Alonso *et al.,* 2014). Por otra parte, los resultados en contenido de metales pesados para suelo y composta se compararon con la NOM-004-SEMARNAT-2002 y la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Se midió el contenido de proteína cruda en las setas a partir de los valores de nitrógeno total, determinados por el método microkjeldhal, empleando 0.1 gramos de muestra del hongo previamente seco y molido. Para el pre tratamiento, se lleva a peso constante una muestra de hongo en un horno de secado a 60 ºC, de esta forma se obtiene la materia seca MS (figura 15).

Figura 15. Determinación de peso seco.

Se determina el porcentaje en cenizas de acuerdo a la norma NMX-F-066-S-1978, este procedimiento consiste en calentar la muestra en parrilla hasta que no presenten humos, posteriormente, se coloca en una mufla a 500 °C.

La proteína cruda se determina a partir de la norma NMX-F-090-S-1978. Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda.

El valor energético fue calculado con los siguientes factores: Kcal/100 g = proteína x 2.62 + fibra cruda x 8.37 + carbohidratos x 3.48 (Mattila *et al*., 2002).

7.11 Valoración de la lombricomposta por índice de germinación

Para determinar la fitotoxicidad de los sustratos finales se prosiguió conforme a la metodología propuesta por Zuccini en 1981, para lo cual se utilizaron 20 semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) y 20 semillas de rábano (*Rhaphanus sativus*), en un papel filtro sobre una caja petri se humedeció con 10 mL de una solución 1:5 de los sustratos, se colocaron en una incubadora a 25°C por 120 horas. Se contaron las semillas que germinaron y se midió la elongación de tallo y raíz para calcular posteriormente el porcentaje de germinación (PG), el crecimiento de la radícula relativo (CRR) y el Índice de germinación (IG) (Varnero *et al.,* 2007; Huerta-Muñoz *et al.,* 2015; Rodríguez-Romero *et al.,* 2014).

$$PG = \frac{No.Semilas\ germinadas\ en\ extracto}{No.Semillas\ germinadas\ en\ testigo} x100$$

$$CRR = \frac{Elongación\ de\ radículas\ en\ el\ extracto}{Elongación\ de\ radículas\ en\ el\ testigo} x100$$

$$IG = \frac{PGxCRR}{100}$$

La medición de la elongación de las radículas se realiza como muestra la figura 16:

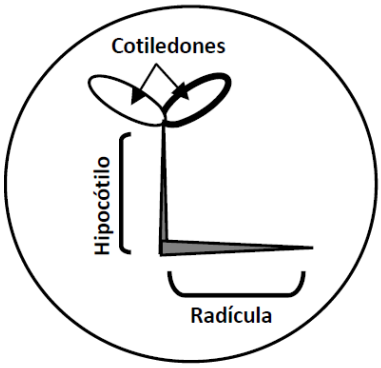


Figura 16. Morfología de *Lactuca Sativa* L. en crecimiento (Sobrero & Ronco, 2004).

Zucconi *et al.* en 1981 establece en los criterios de interpretación del índice de germinación valores de IG≥80% indicarían que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración, si el IG≤50% indicaría que hay una fuerte presencia de

sustancias fitotóxicas y si se obtiene un valor entre 50% y 80% se interpreta como la presencia moderada de estas sustancias.

8. RESULTADOS

8.1 Evaluación a micro escala en medios de cultivo

Esta prueba tiene gran importancia dentro de la innovación de la biotecnología para lograr un incremento en la eficiencia de la utilización de la biomasa que juega un papel fundamental en la producción de alimentos y energía, para este caso las pruebas *in vitro* nos permiten determinar si el hongo puede crecer en el sustrato y su velocidad, es decir que nos puede verificar la adaptabilidad de una cepa en determinado medio de cultivo.

En las figuras 17 y 18 se muestra el crecimiento de *Pleurotus ostreatus* CP50 evaluado para 6 días. Se observa que el cultivo en el cual se obtuvo un mayor crecimiento radial es en el medio preparado con agar y lirio molido a una concentración del 1% con un crecimiento diario de 0.65 cm en radio y 1.3 de diámetro, por otro lado, el medio en el cual se detecta un menor crecimiento es en PDA con un crecimiento de 0.05 cm al día. Esta prueba *in vitro* muestra crecimiento más acelerado que en otros estudios donde a *Pleurotus ostreatus* le toma 10 días lograr cubrir el medio (Suárez y Holguín, 2010; Martínez *et al.*, 2015).

El tiempo en colonización de las bolsas de sustrato fue entre 15 y 21 días, en donde se observaron mejoras significativas en el tiempo de llenado de los sustratos complementados con lirio, puesto que los tiempos de invasión del micelio en otros estudios son entre 36 y 56 días (Mkhize *et al.,*2016; Jafarpour y Eghbalsaeed, 2012; Oseni *et al.,* 2012).

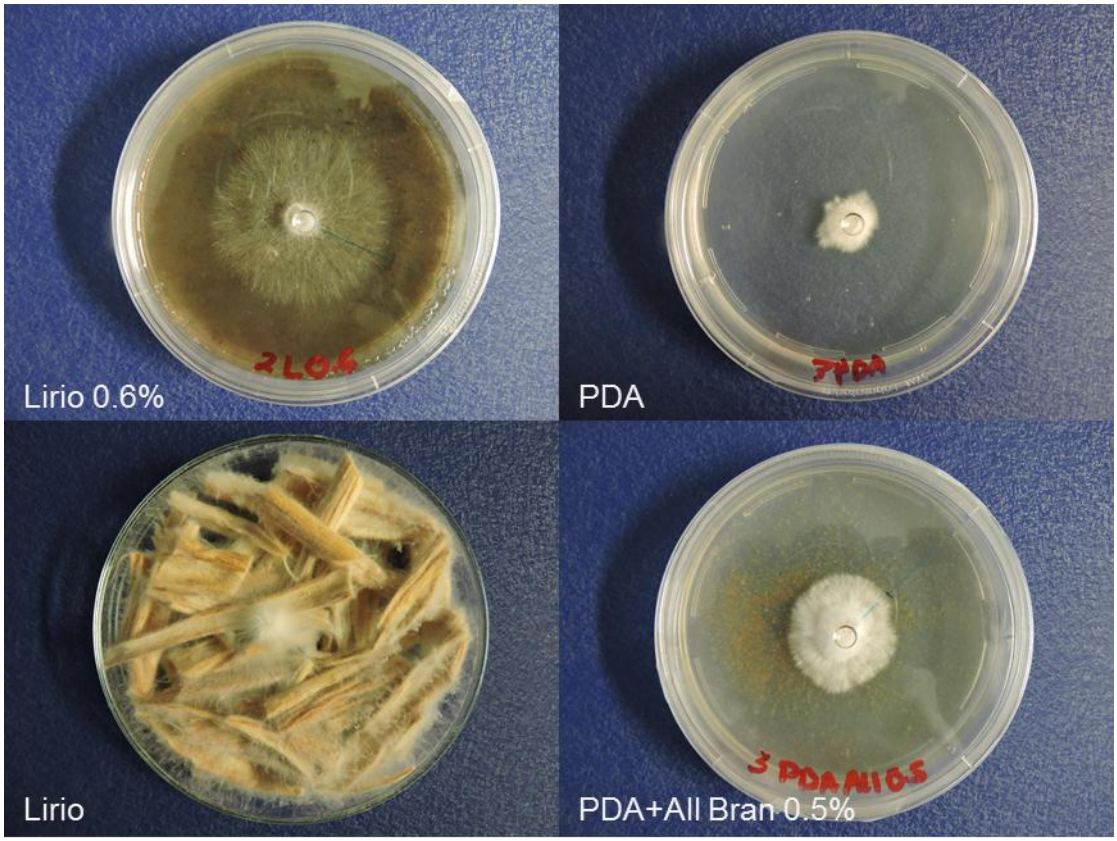
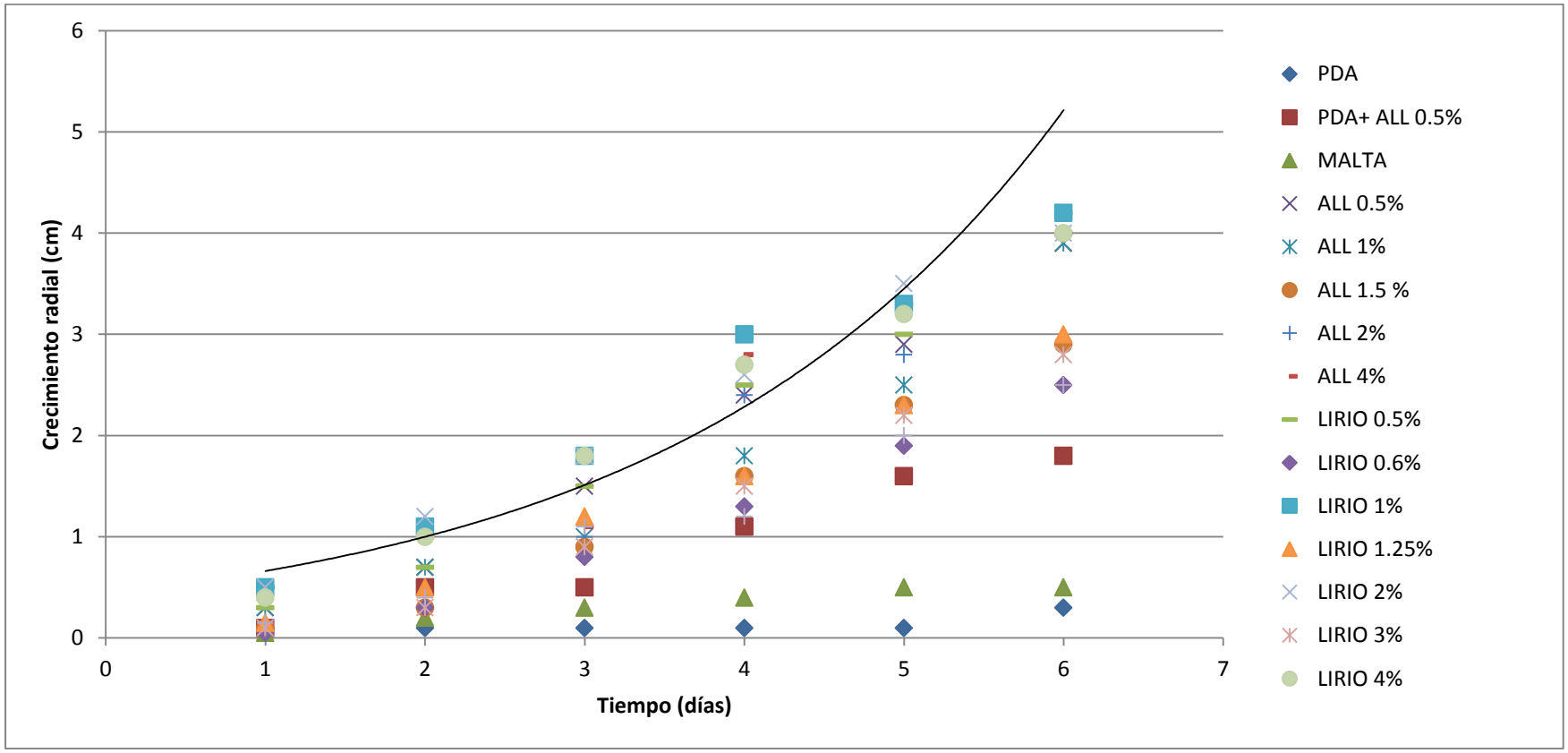


Figura 17. Calidad del micelio en diferentes medios en el día 3.

Se calculó la tasa de desarrollo de lo cual se obtuvieron los datos presentados en la tabla 9, al realizar la prueba estadística Tukey α=0,5.

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.

Figura 18. Curvas de crecimiento en placa de *P. ostreatus* en diferentes medios de cultivo.



De este modo se corrobora que el mejor crecimiento radial es en el medio de cultivo que contiene lirio, en este caso se encuentran medios más eficientes cuando son preparados con agar y lirio al 0.5% y agar con All Bran®1% al no presentar diferencias significativas con los medios agar-liro al 1% y agar All Bran®4% quienes presentaron las mejores tasas de desarrollo (Tabla 9).

Tabla 9. Tasa de desarrollo de la cepa CP50 en los diferentes medios de cultivo.

MEDIOS	N	Subconjunto para alfa = 0.5			
		D	**c**	**b**	**a**
MALTA	4	.756250			
PDA	4	.918750			
LIRIO	4		2.070833		
PDA + ALL BRAN® 0.5 %	4		2.327083	2.327083	
AGAR + LIRIO 0.6%	4		2.400000	2.400000	
AGAR + ALL BRAN® 1.5%	4		2.547917	2.547917	
AGAR + LIRIO 3%	4			2.950000	
AGAR + LIRIO 1.25%	4			2.970833	
AGAR + ALL BRAN® 5%	4				3.637500
AGAR + ALL BRAN® 4%	4				3.745833
AGAR + ALL BRAN® 1%	4				3.775000
AGAR + LIRIO 4%	4				3.891667
AGAR+ ALL BRAN® 2%	4				3.891667
AGAR + LIRIO 1%	4				3.908333
AGAR + LIRIO 2%	4				3.908333
AGAR + LIRIO 0.5%	4				3.937500
Sig.		1.000	.908	.545	.999

Es de importancia mencionar que, aunque los medios constituidos por lirio obtuvieron un mayor crecimiento radial, no se observa la mejor calidad en el micelio, ya que no es tan algodonoso como cuando crece en medios como PDA y malta. En la figura 17 se presentan diferentes medios en el mismo tiempo de la etapa de crecimiento.

8.2 Producción

Se registró en la tabla 10 la producción de hongo setas en gramos, se analizó estadísticamente para ver las diferencias entre tratamientos.

Tabla 10. Medidas, Producción, Eficiencia Biológica (EB), Tiempo de Colonización y Tasa de Producción (TP) de CP50 de *Pleurotus ostreatus* en los diferentes tratamientos evaluados.

Tratamiento	1 Corte (g)	2 Corte (g)	Producción total (g)	Eficiencia Biológica –EB (%)	Tiempo de colonización (días)	Tasa de Prod. (TP)
C	1048.4	477.6	1526.0^{a*}	98.8^{bc*}	21^{d*}	1.65^{c*}
M	938.8	354.4	1293.2^{a}	136.2^{a}	16^{ab}	2.57^{a}
T	823	431.6	1254.6^{a}	91.1^{bc}	18^{c}	1.45^{c}
CLR	860.6	473.4	1334^{a}	115.1^{abc}	16^{ab}	1.89^{bc}
MLA	1015	352.8	1367.8^{a}	120.6^{ab}	15^{a}	2.32^{ab}
TLR	708.4	503.4	1355.1^{a}	81.8^{c}	17^{b}	1.39^{c}
LR	403.6	0	403.7^{b}	18.4^{d}	15^{a}	0.20^{d}
LA	648	0	457.6^{b}	12.3^{d}	15^{a}	1.54^{c}

* Medias con letras diferentes indican diferencias significativas con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$)

La producción que se registra es para dos cortes, de los cuales se obtuvo un máximo para el tratamiento MLA con un rendimiento total de 1367.8 g y rendimiento mínimo de 403.7 g del tratamiento LR, debido a que éste último no tuvo la capacidad de dar un segundo ciclo de hongos. No existen diferencias significativas entre tratamientos que contienen cebada, maíz y trigo solos o en combinación con lirio. Los medios LR y LA tuvieron un rendimiento significativamente menor.

Los sustratos en combinación con lirio dan excelentes resultados (ver figura 19), debido al que el lirio provee de una capacidad de retención de humedad, para los tratamientos que contienen trigo y maíz se obtuvieron mejores rendimientos cuando contenían lirio. Bandopadhyay en 2013 evalúa P. *florida, P. citrinopileatus y P. pulmonarius* utilizando el lirio en combinación con rastrojo de arroz (1:1), de este modo obtiene rendimientos máximos con *P. citrinopileatus* de 1598.48 g en dos cortes y un total de 2220.92 g en tres cortes, en cuanto al cultivo en lirio sin suplemento reportan un rendimiento de

1110.4 g en dos cortes y un total de 1447.4 g, cuya diferencia es significativa con respecto al presente estudio. Esto último puede deberse a la afinidad de *P. citrinopileatus* a los sustratos empleados.

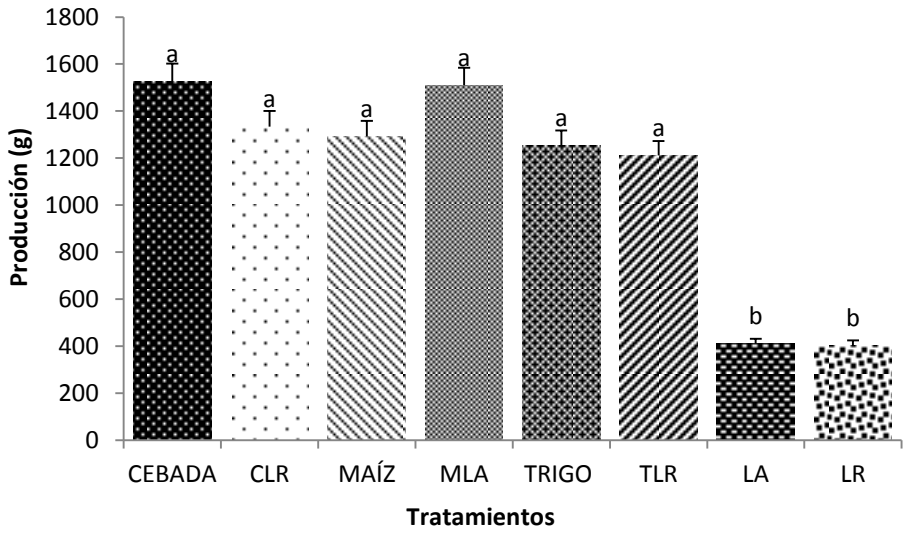


Figura 19. Producción de hongo en gramos de peso fresco por tratamiento.

Autores como Garzón y Cuervo en 2008 muestran rendimientos máximos para dos cortes en café y aserrín de 409 g, dato que se asemeja a los tratamientos LR y LA, Kimenju y colaboradores en 2009 comprobaron rendimientos de 54.8 g para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en lirio, valores mucho menores de los que se obtuvieron en el presente estudio cuyos resultados fueron de 197.2 g para los dos cortes.

En cuanto a los tratamientos M y MLA muestran rendimientos similares obtenidos por Gaitán-Hernández y Huerta en 2016 quienes reportaron rendimientos de 1410 g totales para dos cortes.

Para los cultivos de cebada y trigo se obtuvieron rendimientos un poco menores de los reportados por Romero-Arenas y colaboradores en 2013 quienes registran para la paja de trigo un rendimiento de 1902.08 para dos cortes contrastado con 1254.6 g de este estudio y 1705.59 g en dos cortes contrastado con 1526 g obtenidos en el sustrato de cebada.

8.3 Tasa de Producción

La mayor tasa de producción fue para el tratamiento M con 2.57, seguida del tratamiento MLA con 2.32, la menor TP fue para el tratamiento LR con 0.20. Se observa en la figura 20 diferencias significativas en los tratamientos C (1.65) y CLR (1.89). Los resultados anteriores son similares a los obtenidos por Gamarra y colaboradores en 2012 y con los reportados por (Fracchia *et al.*, 2009) quien evalúa *Simmondsia chinensis* y *Jatropha macrocarpa* obteniendo datos de TP (1.74). No obstante, se han registrado datos mucho mayores sobre bagazo de caña con una TP de 3.12 y 3.24 (Ríos *et al.*, 2010).

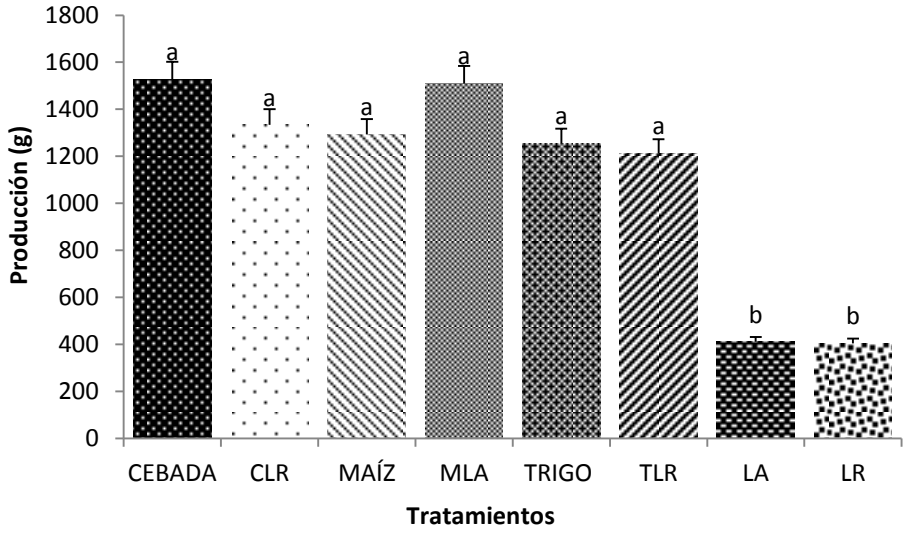


Figura 20. Tasa de producción de los diferentes sustratos empleados.

8.4 Peso seco

Se tomaron tres muestras de cada tratamiento, se registró el peso fresco de los hongos y se envolvieron en papel, se introdujeron al horno a una temperatura de 60°C y de 24 a 36 horas para determinar el peso seco, se presentan los resultados en la figura 21. Se observa que los tratamientos de maíz, trigo, maíz con lirio y lirio con raíz contienen un mayor porcentaje de materia seca, de modo contrario, la cebada es el tratamiento con el que se produce menor materia seca.

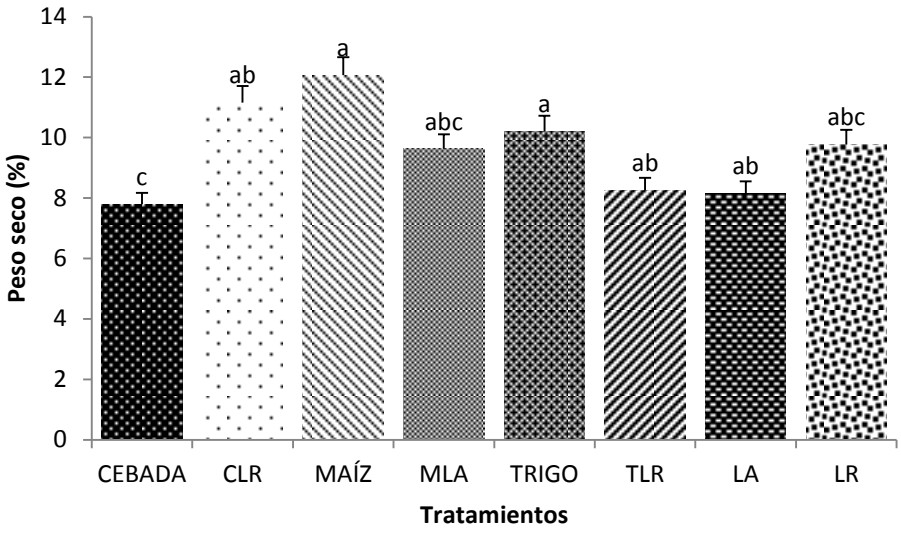


Figura 21. Porcentaje en peso seco de los hongos cultivados de los diferentes tratamientos.

8.5 Eficiencia Biológica

Se determinó y analizó la eficiencia biológica por tratamiento visualizada en la figura 22

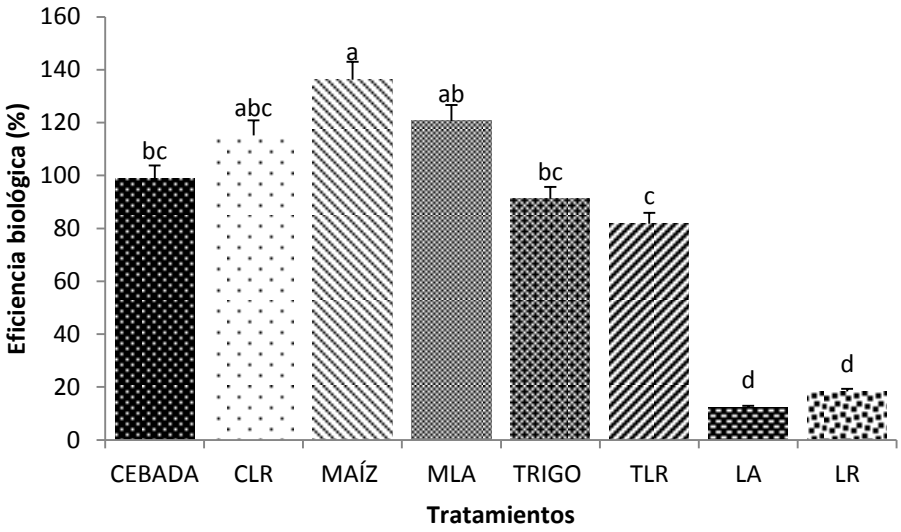


Figura 22. Eficiencia biológica del hongo en los diferentes tratamientos.

Los tratamientos M y MLA reportaron las mejores eficiencias biológicas con 133.2% y 120.3% respectivamente, estos datos son mejores que algunos reportados para

diferentes residuos madereros donde se obtuvo una eficiencia biológica de 123.13% (Sales-Campos *et al,* 2010) o con residuos de cacao con una EB de 31.22% (Hurtado de Mendoza, 2016). Esto se confirma con un estudio realizado por Cabrera-Mora en 2014 quien obtuvo una EB de 64.68% en maíz y 59.95% en cebada, en contraste con el presente estudio en donde la cebada tiene una EB de 86%.

La EB del lirio acuático es la más baja LA (11.26%) y LR (18.38%) junto con el tratamiento TLR (81.8%), resultando muy similares a los obtenidos por Das y Mukherjee en 2006 usando arvenses donde la EB es de 22.9% y de 139% con suplemento de paja de arroz, así también un estudio realizado por Chen y colaboradores en 2010 reportan una EB de 70.22 % para lirio suplementado. Lo anterior nos indica que podemos mejorar los rendimientos y la eficiencia biológica del lirio al complementarlo de manera adecuada.

8.6 Determinación de metales pesados

En la tabla 11 se enlistan las concentraciones de metales en microgramos por Kilogramo de peso seco del hongo, es importante resaltar que estas concentraciones disminuyen hasta en un 90% si hablamos del peso en fresco del hongo ya que estos contienen un peso seco entre 7 y 12%.

Los elementos que se detectaron en mayor concentración fueron el zinc y hierro, los cuales son elementos esenciales para el funcionamiento correcto del organismo (Ver figura 23). Para los metales pesados críticos As, Cd, Pb, se observan concentraciones mayores para el tratamiento de Maíz (M), sin embargo, estas no rebasan las concentraciones máximas permitidas.

En otro estudio muestran valores mayores en mg/Kg para Fe (174), Zn (52.3), Cu (10.5), Pb (2.3), Cd (0.95) y As (0.7) (Bandopadhyay, 2014). En 2014 Alonso y colaboradores reportan concentraciones de 0.39 mg/Kg en Arsénico para los países de Ghana, Hungría y Turquía que son mayores a las de este estudio y en donde concluyen que no existe riesgo toxicológico alimentario, del mismo modo se observan concentraciones de cadmio y plomo mucho menores para el presente estudio que los

analizados por Nwoko *et al.* 2017 los cuales fueron de 0.08 mg/Kg de Cd y 0.06 mg/Kg de Pb.

Tabla 11. Determinación de metales en los cuerpos fructíferos en los diferentes tratamientos con Pleurotus ostreatus cultivados en µg/Kg de peso seco.

Trat.	Cr	Cd	As	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Zn
LMP*		25	100	5000	15000					10				5000
C	1.9	0.2	1.4	15.3	46.0	1.1	4.4	0.2	1.1	0.2	12.0	0.5	0.7	34.7
CLR	2.3	0.1	0.3	19.5	54.9	0.4	7.0	0.2	1.0	0.9	3.9	1.3	0.1	46.9
ELA°	3.8	0.1	0.7	2.8	104830	2.1	5489	0.9	3.7	1.7	174.6	62.3	3.5	26.3
ELR°	11.1	0.1	1.5	8.6	114890	3.5	5984	1.8	12.0	4.1	97.2	211.2	16.8	41.6
LA	2.0	0.0	0.3	10.3	77.9	0.3	7.5	0.3	1.2	0.5	4.2	0.5	0.1	70.4
LR	2.0	0.0	0.3	10.0	58.9	0.3	5.9	0.2	0.9	0.3	2.6	0.3	0.1	55.6
M	1.9	0.2	0.7	12.7	60.2	1.0	4.6	0.2	1.3	0.4	11.1	0.7	0.6	50.1
MLA	2.1	0.1	0.2	15.8	56.5	0.4	6.7	0.2	0.9	0.3	5.7	0.4	0.2	52.1
T	2.1	0.2	0.9	13.1	61.3	1.5	5.0	0.2	1.0	0.2	11.3	1.7	0.4	48.4
TLR	2.2	0.2	0.4	16.4	65.7	1.6	6.8	0.3	1.2	1.6	10.6	1.1	0.4	52.1

*LMP (Límites máximos permisibles establecidos en el Codex alimentario FAO)
°ELA Lirio parte aérea sin tratar con *Pleurotus ostreatus.*
°ELR Lirio con raíz sin tratar con *Pleurotus ostreatus*.

Normalmente la biodisponibilidad de un agente contaminante es bastante baja ya que depende de varios factores tales como el pH, la forma química y física en la que se encuentre y la capacidad de los organismos para ingerirlo o absorberlo (Galán y Romero, 2008). Se sabe que el lirio tiene buen potencial para absorber metales pesados, sin embargo, su eficiencia depende de pH ácidos ya que el mercurio y el cromo comienzan a precipitarse a pH>7 (Poma y Valderrama, 2014), por lo que la absorción de metales es restringida, tal como se muestra en las concentraciones mostradas en la figura 23, donde no se grafica el contenido de Fe y Mn en el lirio por ser mucho más altos que en los hongos.

Se compararon los resultados con los Límites Máximos Permitidos del Códex Alimentario de la FAO y se observó que en ninguno de los casos se exceden estos parámetros, por lo que se considera que el consumo de setas es seguro.

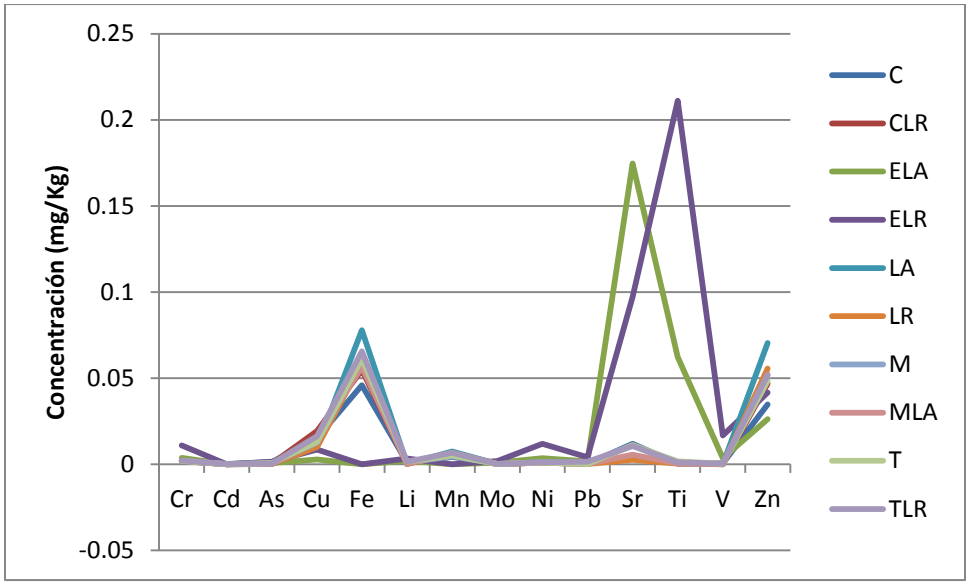


Figura 23. Concentración total de metales pesados en los hongos cultivados de los diferentes tratamientos

En los medios que se usaron como blancos existe la presencia de metales pesados como se ve en la figura 24 y 25, esto puede ser por diferentes factores, Acosta-Álvarez en 2007 menciona las diferentes fuentes de metales en suelo, la primera y más importante a mencionar es el intemperismo de la roca madre del suelo y las aguas de riego contaminadas. En cuanto a las fuentes de metales pesados en agua, Bonilla y colaboradores en 2014 analizan fuentes puntuales en dos parques industriales, de lo cual se observó que para la mayoría de metales se exceden los niveles máximos permisibles (NMP) establecidos en la normatividad mexicana e internacional encontrando concentraciones promedio de 4.40 mg/L de Cd, 2.5 mg/L de Cr, 7.10 mg/L de Fe, 2.82 mg/L de Ni, 1.12 mg/L de Pb y 1.17 mg/L de Zn, cuando la norma regula concentraciones máximas de 0.20 mg/L de Cd, 1 mg/L de Cr, 2 mg/L de Ni, 0.50 mg /L de Pb y 10 mg/L de Zn. Sin embargo, mencionaron que en cuerpos de agua en los cuales incluyeron al rio Atoyac, el contendido de metales pesados en los ríos embalses y manantiales de Puebla y Veracruz está por debajo de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y que con base en sus resultados se recomienda su uso sin restricciones para riego agrícola y uso urbano.

Tabla 12. Límites Máximos Permisibles* (LMP) en mg/Kg para metales pesados dentro de la norma 004-SEMARNAT-2002.

NOM-004-SEMARNAT-2002									
	As	Be	Cd	Cr	Ni	Pb	Se	Tl	V
LMP*(mg/Kg)	22	150	37	280	1600	400	390	5.2	78

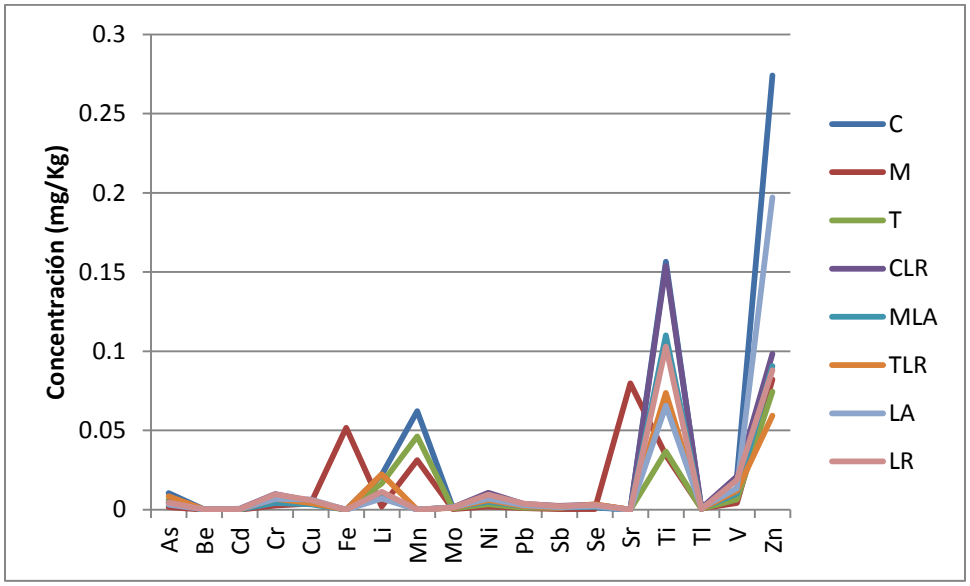


Figura 24. Residuos de metales pesados en los sustratos (Se excluye Fe, Mn).

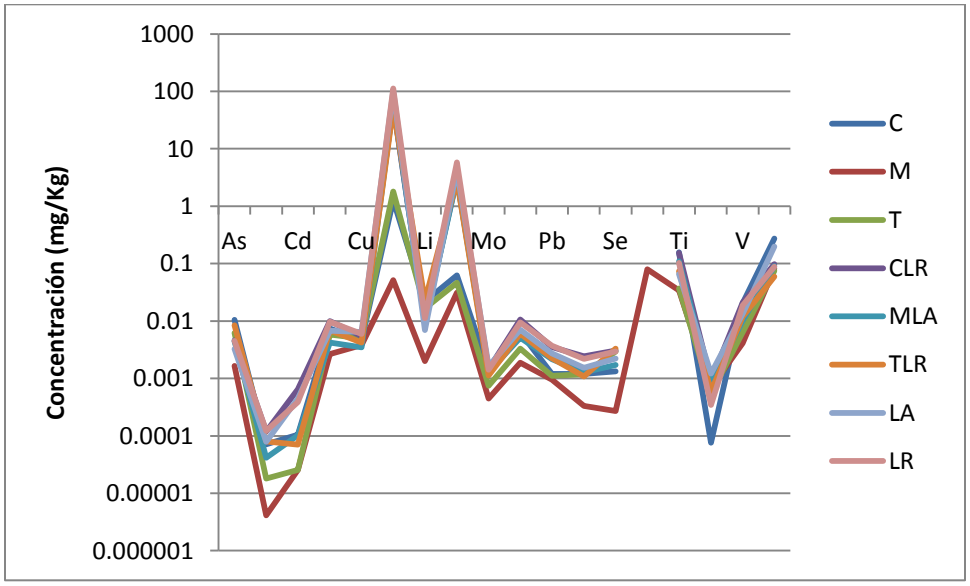


Figura 25. Concentración de metales pesados sobre el sustrato final (Eje "y" en base logarítmica 10).

Dentro de los análisis mostrados en la figura 24 y 25, se observa que la composta es apta para usarse como abono ya que los niveles de metales están dentro de los

parámetros establecido dentro de la norma 004-SEMARNAT-2002, puesto que las concentraciones encontradas se encuentran muy por debajo de la norma y son incluso menores que en otras enmiendas donde reportan hasta 54 mg/Kg de plomo y 25 mg /Kg de níquel (Serrano- García *et al.* 2017).

8.7 Análisis bromatológicos de *Pleurotus ostreatus*

Se detectaron mayores niveles de proteína cruda en el tratamiento LA con 32.6% (Tabla 13) y un contenido mínimo para los hongos cultivados en cebada con 14.12 %, estos valores son mayores que los reportados por Bandopadhyay 2013 para *Pleurotus* spp. cultivado en lirio acuático, cuyo valor es de 24 % y 22.2 % de PC con un tratamiento de lirio y rastrojo de arroz, cuando en este estudio se obtuvo un 28 % de PC en el tratamiento TLR.

Este mismo autor reporta un contenido en fibra cruda de 9.3 % y 19.3 % de cenizas para el tratamiento de lirio y de 9.4% FC y 18.4 % de cenizas cuando está en combinación de otros esquilmos, en el presente estudio se reportan mejores resultados para el porcentaje de fibra cruda, donde el mejor resultado es en cebada (12.02%). Sin embargo, el contenido en cenizas es menor ya que el mejor resultado es en el tratamiento LA (10.74%). En este sentido se observa un aumento en el porcentaje de cenizas para los tratamientos que contienen lirio con excepción del tratamiento MLA, esto es de gran importancia ya que este parámetro representa el contenido de minerales totales.

Tabla 13. Determinaciones bromatológicas de los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus.*

TRATAMIENTO	CENIZAS (%)	GRASAS (%)	FIBRA CRUDA (%)	PROTEINA (%)	Kcal/ 100 g
LA	10.74	1.17	10.76	32.60	289.23
LR	10.46	1.12	11.37	31.25	267.20
CLR	8.13	1.00	11.92	21.90	306.40
MLA	10.30	1.12	10.11	24.53	261.46
TLR	10.52	1.20	12	28.44	320.54
C	7.86	1.07	12.07	14.12	286.76
T	5.67	1.08	10.27	24.66	291.74
M	10.55	1.00	11.62	21.38	299.86

El mayor contenido de calorías fue registrado en los cuerpos fructíferos producidos sobre cebada con 320.54 Kcal/ 100 g de hongos secos y un menor contenido de calorías en el tratamiento LR, datos que son similares a lo reportado en literatura donde los hongos contienen un valor energético entre 250 y 350 Kcal (Sánchez, 2010; Mendieta y Medina, 1995) y se compara el contenido calórico en peso fresco con el de otros alimentos los hongos contienen alrededor de 39 Kcal/ 100 g se comprueba que es similar al de una manzana (31 Kcal /100 g) y mayor que el de un plátano (109 Kcal/ 100 g) (Lelley, 2007). El contenido en grasas es similar en todos los tratamientos y son menores que otros alimentos tales como la soja, carne y alfalfa (Cardona *et al.* 2002).

8.8 Conteo población de *Eissenia Foetida*

En la tabla 14 se presentan los conteos de la población de lombriz roja californiana después de dos meses de haber inoculado una población de 25 adultos, se puede ver que el sustrato en el que hubo mejor reproducción es en el de maíz con 230 individuos a los 60 días y 645 al final del experimento, se observa que no hubo un incremento importante de la población en los sustratos en los que está adicionado el lirio y que en los sustratos que estaban compuestos únicamente por lirio la población inicial no pudo prevalecer, esto último es debido a que estas compostas tenían saturación de agua y los procesos de fermentación no habían terminado, así, los gases que se produjeron en el proceso de putrefacción inhibieron a las lombrices.

Se descarta la mortandad de las lombrices por concentración de metales pesados puesto que en estudios realizados en suelos contaminados con arsénico en concentraciones de 35 mg/Kg no se observa mortalidad sino hasta 50 mg/Kg (Ávila *et al.* 2007; Soto-Vidal, 2014) cuyas concentraciones rebasan por mucho a las de este estudio.

Tabla 14. Conteo de la población de lombriz en los sustratos a los dos y cuatro meses de la inoculación inicial de 25 adultos.

	60 días				120 días				
Tratamiento	**Adultos**	**Crías**	**Total**	**Peso**	**Adultos**	**Crías**	**Total**	**Peso**	**Incremento peso (%)**
C	32	101	133[b]	25.5	108	191	299[c]	87.6	243
CLR	45	23	68[d]	18.25	98	13	111[d]	69.6	281
M	26	204	230[a]	17.29	375	270	645[a]	237	1270
MLA	28	1	29[f]	19.97	30	3	33[f]	26.4	32
T	22	100	122[c]	9.66	442	78	520[b]	222	2198
TLR	29	1	30[e]	14.71	35	7	42[e]	52.5	256
LA	0	0	0[g]	0	0	0	0[g]	0	0
LR	0	0	0[g]	0	0	0	0[g]	0	0

En estudios similares en donde se usó residuos de sustrato de cebada con *Pleurotus ostreatus*, muestran incrementos en la biomasa que van de -19.45 a 660.59 (%) (Aragón-Cuacos, 2017), en este sentido, en otros estudios sobre residuos lignocelulósicos como el bagazo de caña se han observado incrementos en biomasa de 136%(Babael *et al.,* 2016), también se han reportado incrementos mayores que en los estudios realizados por Acosta y colaboradores en 2013 quienes indican datos entre 11.42 y 35.29 (%).

8.9 Características biológicas del sustrato final

En la tabla 15 se presentan los resultados de la actividad microbiológica de los sustratos, de los cuales se demuestra que el medio conformado por lirio parte aérea y lirio con raíz tienen mayor cantidad de microorganismos, lo que indica que no hay inhibición microbiológica ni contaminantes de importancia biológica y los conteos concuerdan con lo recomendado por la literatura para suelos sanos (10^7 y 10^9 UFC/g).

Se presentan diferencias significativas entre los tratamientos que contienen lirio y los que no (ver figura 26), dando mejores resultados en el tratamiento MLA, evidenciando el incremento de la población de microorganismos debido al lirio acuático, mejorando la calidad del sustrato.

Tabla 15. Unidades formadoras de colonias en las compostas.

Sustrato	Absorbancia Promedio	UFC	BCO	BCO
Cebada	0.277^{d}	$1.01x10^{8}$	0.061	0.066
Maíz	0.30675^{d}	$1.07 x10^{8}$	0.065	0.066
Trigo	0.373^{c}	$1.73 x10^{8}$	0.065	0.064
CLR	0.39375^{c}	$1.94 x10^{8}$	0.065	0.065
MLA	0.52325^{a}	$3.23 x10^{8}$	0.066	0.068
TLR	0.33975^{d}	$1.40 x10^{8}$	0.061	0.061
LA	0.4695^{b}	$2.70 x10^{8}$	0.07	0.068
LR	0.44325^{b}	$2.43 x10^{8}$	0.079	0.067

Dentro de otros estudios similares realizados a vermicomposta como biorremediación se encuentran datos que son inferiores que van de $33x10^{6}$ a $70x10^{5}$ (Dey *et al.,* 2017; Goswami *et al.* 2014), del mismo modo Polo y colaboradores en 2012 reportan $4.6x10^{5}$ UFC. Sin embargo, se reporta un conteo de hasta $1.75x\ 10^{11}$ por Zapata y colaboradores en 2017 donde estudian el efecto de *Essenia foetida* en metales pesados.

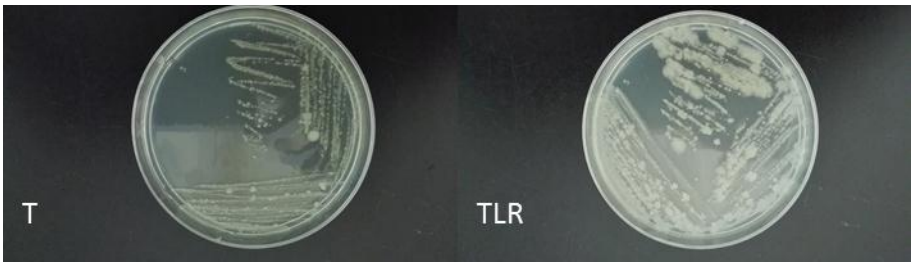


Figura 26. Conteo en placa de UFC en los tratamientos T y TLR

8.10 Determinaciones de fertilidad sobre el sustrato final

En la tabla 16 se puede apreciar la caracterización de la composta realizada a partir de los rastrojos procesados por *Pleurotus ostreatus*, el pH fue el factor que mayor variación tuvo, de acuerdo de la norma NMX-FF-SCFI- 2007* para humus de lombriz este parámetro está fuera de los rangos establecidos por lo que debe ajustarse. En algunos residuos lignocelulósicos se han registrado valores similares de pH para el tratamiento

MLR con 7.8 antes de la vermicomposta y 9.3 al finalizar el tratamiento y valores similares para N, P y K (Fernández-Gómez *et al.,* 2015).

Tabla 16. Caracterización fisicoquímica de los sustratos finales.

Parámetro	NMX*	Sustratos finales			
		M	MLR	CLR	TLR
pH	5.5-8.54	3.5	8.8	5.2	2.4
C.E. dS/m	≤4	1.0	6.4	2.8	1.6
P disponible ppm		243	2228	1286	222
% N	1-4	1.13	1.73	1.32	1.17
% K		0.31	0.90	0.26	0.16
% M.O.	20-50	95	59.5	84.5	97
CIC cmol/Kg	>40	37	7.7	16.3	41

Los tratamientos con mejor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) son los TLR y M, sin embargo, los otros tratamientos se encuentran muy por debajo de lo establecido, se han encontrado humus de lombriz con una CIC de 370 cmol/Kg (Ullé *et al.,* 2009). En cuanto a la Conductividad Eléctrica (CE) el tratamiento MLR tiene un valor mayor a lo establecido. De acuerdo a la norma sobre humus de lombriz y de acuerdo a la NOM-021-RECNAT el contenido de Materia Orgánica (M.O.) es bastante alto, lo mismo que el fósforo disponible y el potasio.

En un estudio de lombricomposta realizado por Eulloque Guerrero en 2013 reporta 0.8% de N, 72.3 ppm de P y 0.0115 % de K, valores que son superados por los de este estudio, sin embargo se han registrado porcentajes mayores de nitrógeno (2.45%) no así para M. O., fósforo y potasio (Mamani-Mamani *et al.*, 2012) siendo mayores los registrados aquí, dado que la M.O. es bastante alta para la mayoría de los sustratos, es importante señalar que el tratamiento que mejor cumple con la relación C/N es el MLA (34.39), por lo que un tratamiento de 120 días de vermicomposta no es suficiente para estabilizar los sustratos e indica que se debería dejar más tiempo, un estudio de García-Sánchez y colaboradores en 2017 muestra que un tiempo de 240 días es suficiente para un sustrato químicamente estable y mejorar la relación C/N.

Se han reportado resultados más altos para fósforo con 15280 mg/Kg, 2.3 % de N y menor cantidad de materia orgánica con 28% de MO, 0.2% de K y 18.8 en CIC (Braga

et al., 2017). En rastrojo de arroz y palma de aceite que son similares en composición de lignina, celulosa y hemicelulosa al ser vermicomposteados se registran 0.25% de K, 3500 ppm de P, cuyos niveles son menores a los aquí reportados (Su Li y Ta Yeong, 2016).

8.11 Pruebas de fitotoxicidad

Los cuerpos fructíferos secos de *Pleurotus ostreatus* cultivados en los sustratos que contenían lirio no tuvieron porcentaje de germinación y sólo los hongos provenientes de la cebada obtuvieron un porcentaje aceptable de germinación en las semillas de rábano, dónde se percibe una presencia moderada de sustancias fitotóxicas, mientras que los hongos provenientes de los tratamientos trigo y maíz se identifica la fuerte presencia de sustancias fitotóxicas (Tabla 17).

Tabla 17. Estudios de fitotoxicidad en los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus*.

Tratamiento	Porcentaje de Germinación (%)		Crecimiento Radicular (%)		Índice de Germinación (%)	
	Lechuga	Rábano	Lechuga	Rábano	Lechuga	Rábano
LA	0	0	0	0	0	0
LR	0	0	0	0	0	0
CLR	0	0	0	0	0	0
MLA	0	0	0	0	0	0
TLR	0	0	0	0	0	0
C	0	80.95	0	76.31	0	61.77
T	0	47.62	0	22.42	0	10.67
M	0	49.21	0	30.96	0	15.23

Estos datos no son concluyentes con respecto a la toxicidad de los hongos (ver figura 27), debido a que hay múltiples factores no relacionados con los contaminantes del embalse o del lirio que pueden interferir en la germinación de las semillas, Pita y Pérez (1989) mencionan que existe una hormona que es la principal causante de la inhibición de la germinación llamada ácido abscísico, el cual impide, en un gran número de especies, la germinación tanto de semillas como de embriones aislados. En las semillas

de algunas variedades de trigo, la germinación no tiene lugar hasta que se produce una disminución de concentración de esta hormona en los tejidos de sus semillas.

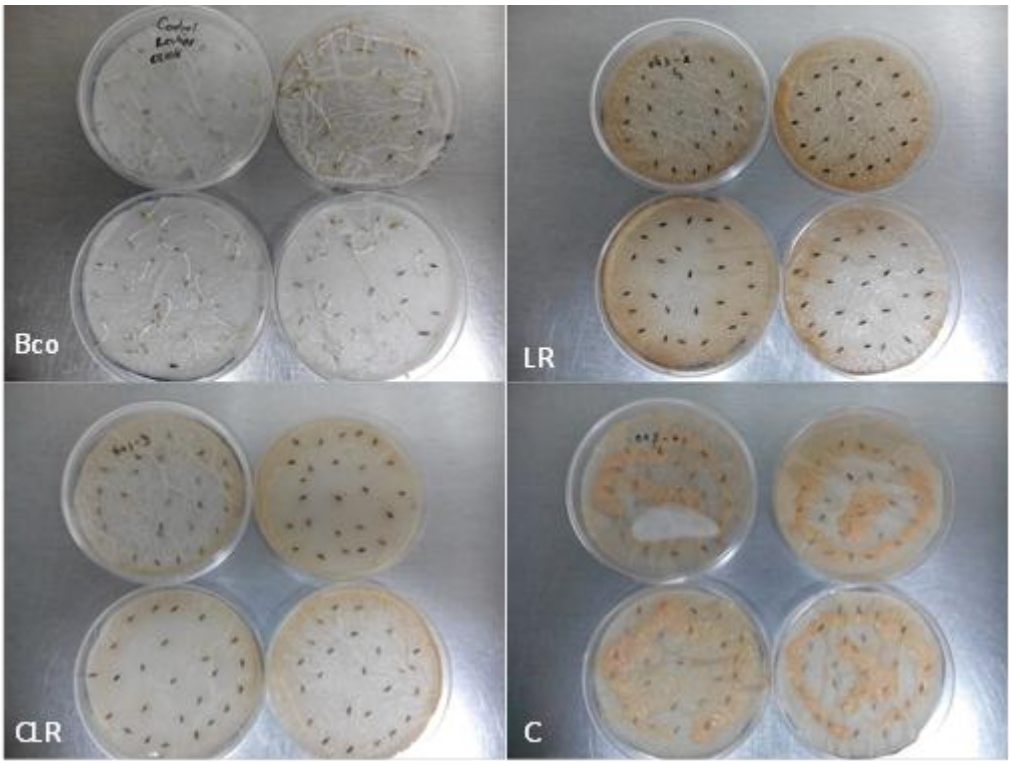


Figura 27. Pruebas de fitotoxicidad en lechuga para *Pleurotus ostreatus* fructificados en diferentes sustratos.

Es importante saber que los efectos tóxicos de los metales resultan de la interacción entre el ion metálico libre y el blanco. La relación de toxicidad para algunos metales con condiciones *in vitro* se correlaciona con la fuerza para unirse en grupos funcionales correspondientes a los Tioles (-SH) (García y Abad, 2015). Esto último indica que para que el hongo pueda absorber los metales estos deben encontrarse en forma de iones disponibles, en estudios realizados para determinación de fitotoxicidad, no se presentaron amplias diferencias en la germinación del testigo y de las semillas expuestas a concentraciones entre 50 y 300 mg/Kg de metales pesados, teniendo un porcentaje de germinación entre el 75 y 97 % (González *et al.*, 2015; Gualli y Mena, 2017; Gonzáles-Alejandre *et al.,* 2017; Arias y De la Rosa, 2015) aunque si afecta en la elongación de tallo y raíz se puede observar este efecto entre los tratamientos M y MLA.

Teniendo en cuenta que el porcentaje de germinación en este estudio no se relaciona directamente con el contenido de metales, se determina que la inhibición de germinación que se observa es principalmente debido a los altos contenidos de nitrógeno mostrados en la tabla 13, esto se respalda al observar que en donde hubo mejor germinación fue sobre los hongos provenientes de la cebada, donde estos tuvieron la menor cantidad de proteína cruda.

Tabla 18. Pruebas de fitotoxicidad en los sustratos al finalizar la lombricomposta.

Tratamiento	Porcentaje de germinación (%)		Crecimiento Radicular (%)		Índice de Germinación (%)	
	Lechuga	Rábano	Lechuga	Rábano	Lechuga	Rábano
M	148.39	78.43	87.40	63.07	129.69	61.51
MLA	118.28	64.05	83.74	54.96	99.05	35.20
CLR	109.68	88.24	74.79	57.73	82.03	50.94
TLR	96.77	25.49	89.04	44.07	86.17	11.23

En la tabla 18 y en la figura 28 se aprecia que no existe fitotoxicidad para las semillas de lechuga, sin embargo, el tratamiento CLR presenta toxicidad moderada en semillas de rábano y los tratamientos MLA y TLR presentan fitotoxicidad alta, estos resultados son similares a estudios sobre abonos donde reportan un índice de germinación entre 18.6 y 58 % (Quiñones-Ramírez *et al.* 2017).

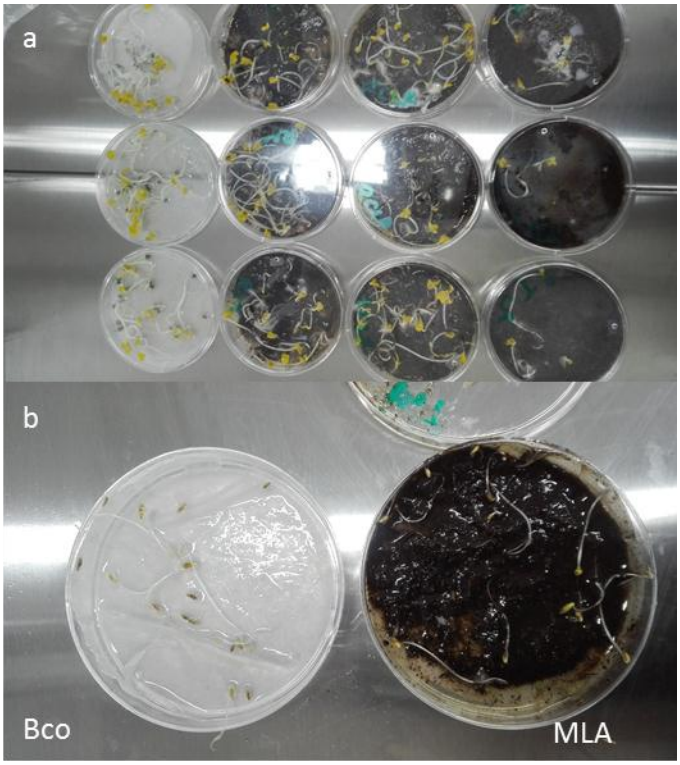


Figura 28. Pruebas de fitotoxicidad de los sustratos a) semillas de rábano, b) semillas de lechuga en tratamiento MLA comparado con el testigo.

Puesto que los resultados obtenidos no presentaron toxicidad para la lechuga, la cual es una especie sensible a los metales y dado que los análisis químicos demostraron que la composta se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, la inhibición del rábano se atribuye a el aumento de P y K que se da por el proceso de composteo y vermicomposteo, así como al pH fuera de rango para el que las semillas no presentaron mayor reacción, por lo tanto es posible el uso de este sustrato para el abonado del suelo de las comunidades aledañas a la presa Manuel Ávila Camacho.

9. CONCLUSIONES

Se observó una disminución importante en el tiempo de incubación y de crecimiento en placa del hongo (*Pleurotus* ostreatus) cuando se complementa el sustrato base con lirio (*Eichhornia crassipes*), lo cual puede representar una importante mejora en la producción de hongos comestibles.

El lirio tuvo excelentes rendimientos de hongo seta, al ser combinado con residuos agrícolas por lo que representa una excelente opción para la producción de alimentos de alta calidad proteica y para un manejo más adecuado de lirio dentro de la presa Manuel Ávila Camacho.

Los indicadores de Eficiencia Biológica y Tasa de Producción nos dicen que la producción de *Pleurotus ostreatus* complementado con lirio es viable, ya que no presentan diferencias significativas con otros sustratos.

El sustrato acompañado de lirio contiene mayor proteína cruda y contenido en cenizas que los sustratos convencionales, los análisis de metales pesados realizados en los cuerpos fructíferos confirman que el consumo de éstos es seguro.

El uso de lombricomposta a partir de residuos de la cosecha de *Pleurotus ostreatus* resulta viable y aporta un buen contenido de hierro, manganeso, fósforo y potasio además de cantidades importantes de materia orgánica, siendo el mejor tratamiento el maíz complementado con lirio.

Los sustratos de lombricomposta evaluados no presentan toxicidad para las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) ya que los niveles de metales pesados se encuentran dentro de las normas mexicanas establecidas por lo que se concluye que puede ser usada como abono para los campos de cultivo de las zonas aledañas a la presa.

LITERATURA CITADA

Acosta-Álvarez, M.M. (2007). Tesis de licenciatura: Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del valle del mezquital, Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo. 91 p.

Acosta-Durán, C.M.; Solís-Pérez, O.; Villegas-Torres, O.G.; Cardoso-Vigueros, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*. 37 (1): 127-139.

Alananbeh, K.; Bouqellah, N.; Al Kaff, N. (2014). Cultivation of oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* on date-palm leaves mixed with other agro-wastes in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences.* 21: 616-625.

Alberdi, M. (2005). Características y efectos de la agricultura industrial capitalista. En: Contra el desmantelamiento del mundo rural en Asturias. *Cambalache ecología.* pp. 47-58.

Alder, M. y M. Zubillaga (2014). Una alternativa de diversificación productiva para los valles Patagónicos. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Buenos Aires, Argentina. pp. 13-14.

Alomía, Y.; Peña, E.; Bolaños, A.; Pedraza, G. (2011). Efecto de la actividad del hongo *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. en la calidad de compost elaborado a partir de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach y estiércol bovino. *Livestock Research Rural Development.* 23 (6): 3.

Alonso, J.; García, M.; Corral, M.; Melgar, M. (2014). Presencia de arsénico en hongos comestibles, complementos alimenticios de ellos y sustratos de crecimiento en Galicia. Repercusiones alimentarias. *Revista Salud Ambiental.* 14 (2): 114-121.

Altieri, M.A. (1994). Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura técnica (Chile).* 54 (4): 371-386.

Aragón-Cuacos, A. (2017). Tesis de Licenciatura: Vermicompostaje de paja y paja peletizada con cascarilla de arroz: Proceso y caracterización de productos. Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 43 p.

Arango, J. y M. Díaz (2010). Evaluación de la reproducción y desarrollo de la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) y componentes físico-químicos del lombricompost con la utilización de tres tipos de sustratos. *Instituto técnico agrícola*. Guadalajara de Buga, Colombia. pp. 3-6.

Arias, F.I. y M.G. De la Rosa (2015). Toxicidad de nanopartículas metálicas en maíz y girasol, especies de interés económico y alimentario de la región del bajío. *Revista de divulgación científica Jóvenes en la Ciencia.* 1 (2): 424-428.

Arriaga-Cerda, J. y J. Morales-Aguilar, (2009). Tesis de licenciatura: Producción de cuatro variedades de *Pleurotus ostreatus* (Jac. Ex Fr) Kum en paja de trigo. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 43 p.

Ávila, G.; Gaete, H.; Morales, M.; Neaman, A. (2007). Reproducción de *Eisenia foetida* en suelos agrícolas de áreas mineras contaminadas por cobre y arsénico. *Pesq. Agropec. Bras.* 42 (3): 435-441.

Babael, A.A.; Goudarzi, G.; Nelsi, A.; Ebrahiml, Z.; Alavi, N. (2016). Vermicosposting of cow dung, kitchen waste and sewage sludge with bagasse using *Eisenia fetida*. *Journal of Advances in Envionmental Health Research.* 4 (2): 88-94.

Bandopadhyay, S. (2013). Effect of supplementing rice Straw with water hyacinth on the yield and nutritional qualities of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.). *Micología Aplicada Internacional.* 24 (2): 15-21.

Bandopadhyay, S. (2014). Esential mineral and toxic elements in oyster mushroom (*Pleurotus florida*) cultivated on water hyacinth and rice straw. *Asian Journal of Agriculture and Biology*. 2 (3): 202-208.

Barbado, J. (2004). Cría de lombrices. Lombricultura. Ed. Albatros Saci. Buenos Aires, Argentina. 84 p.

Beltrán, Y.; Morris, H.J.; Reynaldo, E.; Quevedo, Y.; Bermúdez, R.C. (2013). Contenido de fenoles totales en extractos de *Pleurotus* obtenidos con solventes de diferente polaridad. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas.* 32(2): 121-129.

Bonilla-Barbosa, J.R., y B. Santamaría (2013). Plantas acuáticas exóticas y traslocadas invasoras, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 223-247.

Bonilla, M.; Silva, S.; Toxtle, J.; Santamaría, J. (2014). Concentraciones de metales pesados totales en aguas residuales vertidas a ecosistemas acuáticos por dos parques industriales en Puebla, México. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa.* 2: 1-26.

Braga, F.M.; Cardoso, P.H.; Barbosa, M.H., Rodrigues, M.; Sampaio, R.; Fernandes, L.A. (2017). Chemical characterization of vermicompost of sewage sludge with different proportions of diatomaceous material. *Revista Brasilera de Engenharia Agrícola e Ambiental.* 21(8): 519-523.

Cabrera-Mora, J. (2014). Tesis de licenciatura: Evaluación de carrizo deshidratado (*Arundo* spp.) como sustrato alternativo en la producción de *Pleurotus ostreatus*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. 73 p.

Campos-Solano, G. y G. Guzmán Días (2014). Producción de abono orgánico en pequeña escala con lombriz californiana (*Eisenia foetida*). *Ministerio de agricultura y ganadería.* Costa Rica. 52 p.

Cardona, M.G.; Sorza, J.D.; Posada, S.L.; Carmona, J.C.; Ayala, S.A.; Alvarez, O.L. (2002). Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de alimentos para animales. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*. 15 (2): 240-246.

Carreño, S.; Capello, S.; Gaitán, R.; Cifuentes, J.; Rosique, J. (2013). Caracterización del crecimiento miceliar *in* vitro de *Pleurotus albidus* Pegler 1983 y *Pleurotus* djamor Boedijn 1959, en Tabasco, México .*Kuxulkab´ revista de divulgación: División*

Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 19 (37): 37-45.

Carrión, C.; Ponce de León, C.; Cram, S.; Sommer, I.; Hernández, M.; Vanegas, C. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*. 46*:* 609-620.

Carvajal-Tocagón, G. (2010). Tesis: Evaluación de la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre cinco tipos de sustratos (tamo de trigo, tamo de cebada, tamo de vicia, tamo de avena y paja de páramo); enriquecidos con tuza molida, afrecho de cebada y carbonato de calcio. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. 100 p.

Cunha, Z. D., G. A. Pardo. 2017. Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications. Ed. John Wiley & Sons Ltd. U.S.A. 592 p.

Chen, X.; Jiang, Z.; Chen, X.; Lei, J.; Weng, B.; Huang, Q. (2010). Use of biogas fluid-soaked water hyacinth for cultivating *Pleurotus geesteranus*. *Bioresource Technology* 101: 2397-2400

Clavería C. (2005). Tesis de licenciatura: Estudio de factibilidad para producir harina a partir de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para ser utilizada en la elaboración de concentrados para animales en Guatemala. Universidad de San Carlos. Guatemala.130 p.

CONAGUA (2016). Monitoreo Manuel Ávila Camacho, consultado el 16 de noviembre de 2016: http://201.159.23.56/presas/presas.php?sitio=15&tabla=Valsequillo

Concon, J. (2009). Heavy metals in food. *Food Toxicology, Part B: Contaminents and Additives.* 3 (4):1043-1045.

Cotler, H.; López, C.; Martínez, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de los suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de los suelos agrícolas en México. *Investigación ambiental.* 3 (2): 31-43.

Cruz, D.; López de León, E.; Pascual, L.; Battaglia, M. (2010). Guía técnica de producción de hongos comestibles de la especie *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Agriculture and Environment for International Development.* 104 (3-4): 139-154.

D'Agua, J.; Pereira, R.; Marinho, F. (2015). Preparación y Caracterización Física del Biocombustible Sólido del Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*). *Información Tecnológica*. 26 (3): 53-62.

Das, N. y M. Mukherjee (2007). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* on weed plants. *Bioresource Technology* 98: 2723-2726.

Dey, M.D.; Das, S.; Kumar, R.; Doley, R.; Bhattacharya, S.S.; Mukhopadhyay, R. (2017). Vermiremoval of methylene blue using *Eisenia fetida*: A potential strategy for bioremediation of synthetic dye-containing effluents. *Ecological Engineering*. 106: 200-208.

Díaz, C. y E. Carvajal (2014). Eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en fibra de palma de aceite. *Limetech ciencia y tecnología alimetaria*. 12 (1): 63-70.

Eulloque-Guerrero, J. (2013). Tesis de maestría: Caracterización física, química, biológica y valoración agronómica del vermicompost de *Eisenia foetida* obtenido del contenido ruminal de bovino. Instituto Politécnico Nacional. Michoacán México. 93 p.

Fernández-Gómez, M.J.; Nogales, R.; Plante, A.; Plaza, C.; Fernández, J.M. (2015). Aplication of a set of complementary techniques to understand how varying the proportion of two wastes affects humic acids produced by vermicomposting. *Waste Management.* 35: 81-88.

Ferruzzi, C. (1994). Manual de lombricultura. 3ª Reimpresión. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 135 p.

Fracchia, S.; Aranda, A.; Terrizzano, E. (2009). Cultivo de una cepa comercial de *Pleurotus ostreatus* en desechos de *Simmondsia chinensis* y *Jatropha macrocarpa*. *Revista Mexicana de Micología*. 29: 37-42.

Gaitán, R.; Salmones, D.; Pérez, R.; Mata, G. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: Aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología A. C. Veracruz. 56 p.

Gaitán-Hernández, R. y A. Silva-Huerta. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas locales para la producción de *Pleurotus* spp., en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Micología*. 43:43-47.

Galán, E. y A. Romero (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla: Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*. 10: 48-60.

Gamarra, O. A.; Yalta, J. R.; Pérez, R. J.; Vera, J. M. (2013). Cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (jacq. Ex fr.) Kumm empleando pulpa de café como sustrato. *Revista Pakamuros*. 1 (1) 38-43.

García, N. y M. Abad (2015). Análisis preliminar de la fitotoxicidad del material particulado sedimentable de la zona urbana de Cuenca. *MASKANA*. 6 (1): 95-105.

García, C. y Eymar, E. (2013). Selección de residuos de la producción de setas comestibles para biodegradación de contaminantes orgánicos persistentes. Conference paper: Universidad Autónoma de Madrid. 7 p.

García-Rincón, P.; Rodríguez, W.; Chalarca, E.; Andrade, A. (2014). Estudio microbiológico y fisicoquímico de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius*) frescos y deshidratados. *Ingenierías y Amazonia*. 7(1): 41-47.

García-Rollan, M. (1985). Hojas divulgadoras: Nuevas técnicas del cultivo de *Pleurotus ostreatus*. *Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Publicaciones de extensión agraria*. 8 (85): 3-4.

García-Sánchez, M.; Taušnerová, H.; Hanč, A.; Tlustoš, P. (2017). Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous- feeding system: Changes in chemical and biological parameters. *Waste Management*. 62: 33-42.

Garzón-Gómez, J. y Cuervo-Andrade, J. (2008). Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente precedencia. *NOVA-Publicación científica en ciencias biomédicas*. 10 (6): 101-236.

González, Y.; Rodríguez, E.; Fernández, I.; Argota, G. (2015). Evaluación ecotoxicológica de las aguas del refugio de la fauna “San Miguel de Parada” mediante los biomodelos *Lactuca sativa L.* y *Artemia* sp. en Santiago de Cuba, Cuba. *Cátedra Villareal.* 3 (2): 133-142.

Gonzáles-Alejandre, M.; Carreón-Abud, Y.; Martínez- Trujillo, M. (2016). Efecto del Cromo en el crecimiento *in vitro* de dos variedades híbridas de maíz (*Zea mays*). *Biológicas*. 18 (2): 23-28.

Goswami, L.; Mukherjee, S.; Das, S.; Barman, S.; Raul, P.; Bhattacharyya, P.; Mandal, N.C.; Bhattacharya, S.; Bhattacharya, S.S. (2014). Vermicomposting of Tea Factory Coal Ash: Metal accumulation and metallothionein response in *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresurce Technology.* 166: 96-102.

Gualli, C.O. y A.E. Mena (2017). Tesis de Licenciatura: Evaluación de los efectos ecotoxicológicos del cromo hexavalente, mediante bioensayos en *Zantedeschia aethiopica* y *Helianthus annuus*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 178 p.

Granados, D.; Hernández, M.; Vázquez, A.; Ruíz, P. (2012). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*: 45-66.

Guzmán, G. (1980). Identificación de hongos. Ed. Limusa, México. D.F. 452 p.

Hernández, R. y C. López (2014). Tesis de licenciatura: Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. pp. 7-9.

Herrera, T. y M. Ulloa (1990). El reino de los hongos. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, D.F. 552 p.

Hossain, E.; Sikder, H.; Kabir, H.; Sarma, S. (2015). Nutritive value of water hyacinth (Eichhornia crassipes). *Online Journal of animal and Feed Research.* 5 (1): 40-44.

Huerta-Muñoz, E.; Cruz-Hernández, J.; Aguirre-Álvarez, L.; Caballero- Mata, R.; Pérez Hidalgo, L.F. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación en lechuga. *Terra Latinoamericana*. 33 (2): 179-185.

Hurtado de Mendoza, K.; Humán, M.; Bravo, N.; Silva, A.; Silva, R. (2016) Evaluación del cultivo de *Pleurotus ostreatus* en mazorcas de cacao (*teobroma cacao L.*). *Revista Peruana Química Ingeniería Química.* 1 (19): 63-75.

IMTA (1989). Control y aprovechamiento del lirio acuático en México. Comisión Nacional del Agua. México. 149 p.

ITIS (Sistema Integrado de Información Taxonómica) de CONABIO. Consultado 17 de noviembre de 2016: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=42623#null

Jafarpour, M. y S. Eghbalsaeed (2012). High protein complementation with high fiber substrates for oyster mushroom cultures. *African Journal of Biotechnology.* 11 (14): 3284-3289.

Kimenju, J.; Odero, G.; Mutitu P.; Wachira, R.; Narla, R. (2009). Suitability of Locally Available Substrates for Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Cultivation in Kenya. *Asian Journal of Plant Sciences.* 8 (7): 510-514.

Lelley, J. (2007). Aspectos saludables al consumir hongos. En: Sánchez, J.E.; Royse, D.J.; Leal, H. (eds.) Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus biosporus.* Editorial ECOSUR. Tapachula, Chiapas, México, pp.113-120.

Li, Y. 2012. Present, development situation and tendency of edible mushroom industry in China. In: Zhang, J., H. Wang, M. Chen, (eds.), Mushroom Science 18, China Agriculture Press, pp. 3-9.

Lodoño-Franco, L.; Lodoño-Muñoz, P.; Muñoz-García, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 14 (2): 145-153.

Luna, J.; Córdoba, L.; Gil, K.; Romero, I. (2013). Efecto de residuos agroforestales parcialmente biodegradados *por Pleurotus ostreatus (pleurotaceae)* sobre el desarrollo de plántulas de tomate. *Acta biológica Colombia*, *18* (2):365-374.

Mamani-Mamani, G.; Mamani-Pati, F.; Sainz-Mendoza, H.; Villca-Huanaco, R. (2012). Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Journal of the Selva Andina Research Society.* 3 (1): 44-54.

Manyuchi, M.; Kadzungura, L.; Boka, S. (2013). Pilot Scale Studies for Vermifiltration of 1000m^3/day of Sewage Wastewater. *Asian Journal of Engineering and Technology.* 1 (1): 13-19.

Manyuchi. M. M y Phiri. A. (2013). Vermicomposting in solid waste Management: A Review. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*. *2* (12):1234-1242.

Martínez, D.A.; Buglione, M.B.; Filippi, M.V.; Reynoso, L. C.; Rodríguez, G. E.; Agüero, M. S. (2015). Evaluación del crecimiento micelial de *Pleurotus ostreatus* y *Agrocybe aegerita* sobre orujos de pera. *Anales de Biología*. 37: 1-10.

Martínez-Carrera, D., Larqué-Saavedra, A.; Tovar-Palacio, A.; Torres, N.; Meneses, M.E.; Sobal-Cruz, M.; Morales-Almora, P.; Bonilla-Quintero, M.; Escudero Uribe, H.; Tello-Salgado, I.; Bernabé-González, T.; Martínez-Sánchez, W.; Mayett, Y. (2016). Contribución de los hongos comestibles funcionales y medicinales a la construcción de un paradigma sobre la producción, la dieta, la salud y la cultura en el sistema agroalimentario de México. In: Martínez-Carrera D., J. Ramírez Juárez (eds.), Ciencia, tecnología e innovación en el sistema agroalimentario de México. Editorial del Colegio de Posgraduados-AMC-CONACYT-UPAEP-IMINAP, San Luis Huexotla, Texcoco, México, pp. 581-640.

Martínez-Carrera, D.; Curvetto, N.; Sobal, M.; Morales, P.; Mora, V.M. (2010). Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el siglo XXI. *Micología Aplicada internacional*. 22 (2): 79.

Martínez-Carrera, D.; Morales, P.; Sobal, M.; Bonilla, M.; Martínez, W.; Mayett, Y. (2012). Los hongos comestibles, funcionales y medicinales: su contribución al desarrollo de las cadenas agroalimentarias y la seguridad alimentaria en México. Pp. 449-474. In: Memorias Reunión General de la Academia Mexicana de Ciencias: Ciencia y Humanismo (Agrociencias). Academia Mexicana de Ciencias, México, D.F. 750 p.

Martínez-Carrera, D. (2002). Current development of biotechnology in Latin Mushroom America. *Micología Aplicada Internacional.* 14(2):61-74.

Martínez-Carrera, D.; Morales, P.; Sobal, M.; Bonilla, M.; Martínez, W. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles. Capítulo 6.1 En: *El Cultivo de Setas* Pleurotus spp. en México. J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata & H. Leal (Eds.). ECOSUR-CONACYT, México, D.F. 20 p.

Martínez-Carrera, D.; Leben, R.; Morales, P.; Sobal, M.; Larque-Saavedra, A. (1991). Historia del cultivo comercial de hongos comestibles en México. *Ciencia y Desarrollo*. 96: 33-43.

Martínez-Carrera, D.; Larque-Saavedra, A.; Morales, P.; Sobal, M.; Martínez, W.; Aguilar, A. (1993). Los hongos comestibles. en México: Biotecnología de su reproducción. *Ciencia y Desarrollo*. 108:41-49.

Martínez-Cerdas, C. (1999). Lombricultura técnica mexicana. *SAGARPA*. Estado de México. México. 8 p.

Mattila P.; Lampi A.M.; Ronkainen R.; Toivo J.; Piironen V. (2002). Sterol and vitamin D2 contents in some wild and cultivated mushrooms. *Food Chemistry.* 76: 293-298.

Mayorga, K. y D. Urey (2015). Tesis de licenciatura: Evaluación de la producción de lombrices de tierra Roja Californiana (*Eisenia foetida*), Roja Cubana (*Eudrillus sp*) y características químicas del lombriabono con diferentes residuos orgánicos, CNRA, Campus Agropecuario, UNAN-León de Marzo-Mayo 2014. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua. pp. 14-18.

Miranda, M.G., y A. Lot. (1999). El lirio acuático ¿una planta nativa de México? *Revista Ciencias.* 53:50-54.

Mkhize, S.S.; Cloete, J.; Basson, A. K.; Zharare, G. E. (2016). Performance of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on maize stalk residues supplemented with various levels of maize flour and wheat bran. *Food Science and Technology.* 36 (4): 598-605.

Mendieta, O.; Mediana, M. (1995). Secado natural y solar de hongos comestibles silvestres de la región San Martín. *Folia Amazonica*. 7 (1): 97-111.

Montañez, O.D.; Ortega, M.E.; Cobos, M.A.; Larqué, A; García, J.E. (2004). Efecto de la alimentación con paja de trigo tratada con *Pleurotus florida* en la flora ruminal de ovinos*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 38 (3): 249-257.

Mora, V. y D. Martínez-Carrera (2006). Investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas sobre cultivo de setas *Pleurotus* spp. en México. En: El cultivo de *Pleurotus* en México. ECOSUR-IE-UNAM-COLPOS. D.F., México.

Moreno, M. (2008). Tesis de licenciatura: Producción de setas de *Pleurotus eryngii* (DC.:Fr) Quel. en paja de trigo y posterior evaluación del sustrato bioaumentado incorporado a un suelo Hapludand. Universidad Austral de Chile. Chile. 75 p.

Mosquera, B. (2010). Manual Técnico: Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Fondo para la protección del agua (FONAG), y USAID.

Novelo, A. y L. Ramos (1998). *Pontederiaceae*. *Flora del bajío y de regiones adyacentes*. Fascículo 63. 19 p.

Nwoko, M. C.; Onyeizu, U. R.; Achfusi, J. N. (2017). Productivity, vitamins and heavy metals analysis of *Pleurotus ostreatus* (Jacq: Fr) Kumm. Fruit bodies cultivated on wood longs. *Jorunal of Environmental and Analytical Toxicology*. 7 (2): 446-450.

Oseni, T.O.; Dlamini, S.O.; Earnshaw, D.M.; Masarirambi, M.T. (2012). Effect of Substrate Pre-treatment Methods on Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus)* Production. *International Journal of Agriculture and Biology*. 14 (2): 251-255.

Patel, Y.; Naraian, R.; Singh, V. K. (2012). Medicinal properties of Pleurotus Species (Oyster Mushroom): A Review. *World Journal of Fungal and Plant Biology*. 3 (1): 1-12.

Patil, S.S.; Ahmed, S.A., Telang, S. M.; Baig, M.M. (2010). The nutritional value of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm cultivated on different lignocellulosic agrowastes. *Innovative Romanian Food Biotechnology.* 7: 66-76.

Pérez-Merlo, T. (2002). Tesis: Selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* (Jacq:Fr.) P. Kumm. y *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Singer, a partir del crecimiento micelial en viruta de pino y obtención de nuevas cepas por entrecruzamiento: comparación de la producción de carpóforos. Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 64 p.

Pineda-Insuasti, J.A.; Ramos-Sánchez, L.B.; Soto-Arroyave, C.P. (2014). Producción de *Pleurotus ostreatus* por fermentación en estado sólido: una revisión. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.* 48 (2): 13-23.

Pita, J.M. y F. Pérez (1989). Germinación de semillas. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. 20 p.

Polo, A.M.; Marcano, L.; Martínez, R. (2012). Evaluación de la calidad del humus producido por *Eisenia andrei* a partir de tres sustratos orgánicos. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas.* 46 (3): 263- 282.

Poma, V.R. y A. C. Valderrama (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua). *Revista Sociedad Química Perú*. 80 (3): 164-173.

Quiñones-Ramírez, H.; Trejo-Cadillo, W.; Juscamita-Morales, J. (2016). Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada.* 15 (2): 133-142.

Ramírez-Carballo, H. y A. Pedroza-Sandoval (2007). Evaluación participativa de la degradación del suelo en la reserva de la biosfera de Mapimi, Durango, México. *Rev. Chapingo serie Zonas Áridas 6*: 247-254.

Rinker, D.L. (2002). Handling and using “spent” mushroom substrate around the world. pp. 43-60 En: Mushroom Biology and Mushroom (*Pleurotus sajor-caju*). *Mushroom News*. 41 (2): 14-20.

Ríos, M. P.; Hoyos, J.L.; Mosquera, S. A. (2010). Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Facultad de Ciencias Agropecuarias.* 8 (2): 86-94.

Rodríguez, L.; Morales, J.; Zavala, P. (2012). Evaluación socioeconómica de daños ambientales por contaminación del río Atoyac en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 3*:* 143-151.

Rodríguez-Tapia, L.; Morales, J.; Zavala, P. (2012). Evaluación socioeconómica de daños ambientales por contaminación del río Atoyac en México. *Tecnología y Ciencias del Agua.* 3: 143-151.

Rodríguez-Romero, A.J.; Robles- Salazar, C.A.; Ruíz- Picos, R.A.; López- López, E.; Sedeño- Díaz, J.; Rodríguez- Dorantes, A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad de agua del rio chalma. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30 (3): 307-316.

Romero-Arenas, O.; Huerta, M.; Damián, M.; Macías, A.; Tapia, A.; Parraguirre, J.; Juárez, J. (2010). Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L., CV.Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos agrícolas. *Agronomía Costarricense*. *34* (1): 53-63.

Romero-Arenas, O.; Martínez, M.; Damián, M.; Ramírez, B.; López, J. (2015). Producción del hongo Shiitake (*Lentinula edodes* Pegler) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6 (6): 1229-1238.

Romero-Arenas, O.; Hernández, I.; Parraguirre, C.; Márquez, M.; Amaro, J. (2013). Evaluación de bagazo de café (*Coffea arabica*) como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Sexta Época*. 33: 472-481.

Romero-Arenas, O.; Damián, M.; Hernández, I.; Parraguirre, J.; Aragón, A.; Victoria, A. (2012). Effect of pH on growth of the mycelium of *Trichoderma viride* and *Pleurotus ostreatus* in solid cultivation mediums. *African Journal of Agficultural Research*. 7 (34): 4724-4730.

Rose, J. (2012). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)- versión 2009-2012. SEMARNAT. Méxco. 34 p.

Saavedra, A.; Quintana, E. (2014). Aislamiento de Hongos Endófitos de *Eichhornia crassipes* Proveniente de la región del río Lerma cercano a la refinería de Salamanca, Guanajuato. *Revista de divulgación científica: Jóvenes en la ciencia.* 1 (3): 188-192.

Saavedra-González, M. (2007). Tesis doctoral: Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia foetida*. Instituto de biotecnología de la Universidad de Granada. Granada, España. pp. 45-48.

Sacristán, M. (2015). Tesis doctoral: Evaluación de la toxicidad y de la bioacumulación del Cu en un cultivo acumulador (*Lactuca sativa* L.) y otro no-acumulador (*Solanum lycopersicum* L.) en suelos agrícolas mediterráneos representativos, como base para la propuesta de estrategias de gestión. Universitat de València. Valencia, España. 170 p.

Sales-Campos, C.; Teixera de Almeida, M.; Nogueira de Andrade, M. (2010). Productividad de *Pleurotus ostreatus* em resíduos da amazônia. *Interciencia*. 3 (45): 198-201.

Salmones, D.; Ballesteros, H.; Zulueta, R.; Mata, G. (2012). Determinación de las características productivas de cepas mexicanas silvestres de *Agaricus bisporus*, para su potencial uso comercial. *Revista Mexicana de Micología*. *36*: 9-15.

Sánchez, C. (2010). Cultivation of *Pleutorus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology Biotechnology*. 85: 1321-1337.

Sánchez, C., 2003. Abonos orgánicos y lombricultura. Ed. RIPALME. Lima Perú.

Sánchez, P.; Castro, F.; Aguilar, E.; García, P.; Hernández, P.; Juárez, E.; Juárez Franco, T.; Kachel, A.; Pérez, A.; Sánchez, R.; Sánchez, C.; Sarmiento, A.; Vega, R.

(2010). *Prácticas agroecológicas campesinas para una agricultura sostenible.* Grupo Vicente Guerrero. Tlaxcala. México. 80 p.

Sántiz de la Cruz, J. (2007). El cultivo rustico de *Pleurotus ostreatus* en Chiapas, México. En: El cultivo de setas Pleurotus spp. en México, Sánchez, J.E.; Martínez-Carrera, D.; Mata, G.; Leal, H. (Eds.) 143-148.

SEMARNAT-Colegio de Posgraduados (2002). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000. Memoria Nacional, SEMARNAT- Colegio de Posgraduados, México.

Serrano, T. (2004). Tesis de ingeniería: Evaluación de procesos de vermicompostaje para el tratamiento de residuos sólidos urbanos de la localidad de Tiahuanaco. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. La Paz-Bolivia. 100 p.

Serrano-García, N.; Vaca, R.; Lugo, J.; Del Aguila, P. (2016). Efectos del lodo residual y residuos orgánicos vermicomposteados sobre indicadores inorgánicos y catalasa. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*. 32: 173-179.

Shafawati, S.; Sinddiquee, S. (2013). Composting of oil palm fibres and Trichoderma spp. as the biological control agent: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 85*:* 243-253.

Sobrero M.C. y A. Ronco (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L*.). pp. 71-79. En: G. Castillo (ed.) Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas. Ottawa-Canadá.

Soto-Vidal, C. (2014). Evaluación de riesgo ecológico en la aplicación de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas a suelos en la región de Araucanía. *Sustainability, Agriculture, Food an Environmental Research.* 2 (4): 32-53.

Su Li, L. y W. Ta Yeong. (2016). Characterization of Matured Vermicompost Derived from Valorization of Palm Oil Byproduct. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 64 (8): 1761-1769.

Suárez, C. y M. Holguín (2011). Evaluación de medios de cultivo sintéticos y cereales para la producción de semilla de setas comestibles. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 1 (5): 130-140.

Tirado, G.; Mejía, I.; Cruz, C.; Mendoza, G.; Tirado, D. (2015). Degradación *in situ* y patrones de fermentación del rastrojo de maíz (*Zea mays L.*) tratado con enzimas exógenas en vacas Holstein. *Interciencia.* 40 (10): 716-721.

Theunissen, J.; Ndakidemi, P.; Laubscher, C. (2010). Potential of vermicompost produced form plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences.* 5 (13): 1964-1973.

Traversoni, L.; Vélez, H.; Ruiz, R.; Carreón, E. (2009). Remoción de lirio acuático en el embalse Valsequillo. *Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Puebla.* 183 p.

Ullé, J.; Fernández, F.; Rendina, A. (2009). Evaluación analítica del vermicompost de estiércoles y residuos de cereales y su efecto como fertilizante orgánico en el cultivo de lechuga mantecosas. Proyecto regional Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica, Informe técnico del centro regional de Buenos Aires norte. pp. 74-76.

Unión Europea (2013). Estudio del aprovechamiento micológico. Proyecto-019 Agro: Cooperación y Valoración del Patrimonio Rural. 188p.

Varnero, M.T.; Rojas, C.; Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista Científica de Suelo y Nutrición Vegetal*. 7 (1): 28-37.

Wan, Y.; Li, Y. (2012). Fungal pretreatment of lignocellulosic biomass: review. *Biotechnology Advances*. 30: 1447-1457.

WingChing, R. y G. Alvarado (2009). Valor nutricional del heno de transvala inoculado con el hongo *Pleurotus ostreatus* sp. *Agronomía Costarricense*. 33 (1): 147-153.

Wu, S. R., C. Y. Zhao., B. Hou., L. M. Tai., M. Y. Gui. 2013. Analysis on chinese edible fungus production area layout of nearly five years. Edible Fungi China. 1:51-53.

Yashvant, P.; Naraian, R.; Singh, V. (2012). Medicinal properties of *Pleurotus* Species (Oyster Mushroom): A Review. *World Journal of Fungal and Plant Biology*. 3 (1): 1-12.

Zanon, M.; Armengol, J.; Vilaseca, J.; Jorda, C. (2005). Estudio del síndrome de decaimiento en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jack.:Fr.) P.Kumm. *Bol. San. Veg. Plagas*. 31: 431-441.

Zapata, I.; Martínez, L.; Posada, M.; Saldarriaga, J. (2017). Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*. 27 (1): 77-90.

Zucconi, F.; Forte, M.; Mónaco, A.; De Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of inmaturecompost. *Biocycle*, 22: 54-57.