

DESARROLLO DE BIOMATERIALES ALTERNATIVOS AL
POLIESTIRENO EXPANDIDO A PARTIR DE HONGOS Y CUBIERTAS
COMESTIBLES

JOSÉ ALBERTO LÓPEZ NAVA

TESIS

*Presentada como requisito parcial
para obtener el grado de*

*Maestro en Ciencias
en Ingeniería en Sistemas de Producción*



Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Subdirección De Postgrado

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2014

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**Desarrollo de biomateriales alternativos al poliestireno expandido a partir de
hongos y cubiertas comestibles**

TESIS

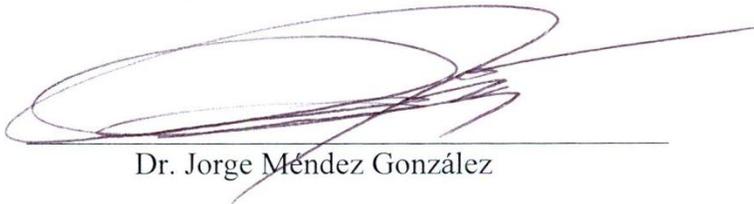
**POR:
JOSÉ ALBERTO LÓPEZ NAVA**

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial, para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:



Dr. Jorge Méndez González

Asesor:

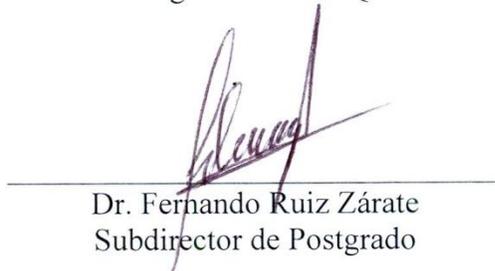


Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor:



Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla



Dr. Fernando Ruiz Zárate
Subdirector de Postgrado

Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2014

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por haberme permitido crecer en distintos ámbitos, mi compromiso como profesional es enaltecer a mi *ALMA MATER*.

También me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres: *María Guadalupe Nava González* y *Jesús López Gómez*, por su apoyo y consejos.

Le debo un agradecimiento especial a mi asesor, el *Dr. Jorge Méndez González*, quien tiene la actitud y la esencia de un investigador, transmitiendo continuamente un espíritu de trabajo duro y disciplina. Sin su guía y ayuda esta investigación no hubiera sido posible.

Me gustaría dar las gracias a *M.C. Xóchitl Ruelas Chacón* y el *Dr. Juan Abel Nájera Luna*, cuyo trabajo demuestra el compromiso con la investigación.

Además me gustaría dar las gracias a CONACYT por la beca otorgada durante esta investigación.

COMPENDIO

DESARROLLO DE BIOMATERIALES ALTERNATIVOS AL
POLIESTIRENO EXPANDIDO A PARTIR DE HONGOS Y CUBIERTAS
COMESTIBLES.

POR:

José Alberto López Nava

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNIO 2014

Dr. Jorge Méndez González Asesor

Palabras clave: Biomateriales, cubiertas comestibles, hongos comestibles, *Pleurotus sp*, poliestireno expandido, residuos de cosecha.

El poliestireno expandido se ha convertido en un problema ambiental debido a su acumulación en vertederos mares y océanos, también representa un riesgo para la salud humana, debido a que contiene benceno y estireno. El objetivo de esta investigación fue crear y evaluar un biomaterial alternativo al poliestireno expandido (EPS) desarrollado a partir de residuos de cosecha (*Triticum sp.*), hongos (*Pleurotus sp.*) y recubrimientos comestibles (carragenina, quitosano y goma xantano). Los tratamientos se diferenciaron en el tipo de recubrimiento aplicado, el tamaño de partícula del sustrato fue de 2 a 5 cm, se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los tres tratamientos, la densidad de los tratamientos fue desde 159 hasta 209 kg m⁻³, la resistencia a la compresión a la flexión de las probetas oscilo desde 20 hasta 60 kPa, y de 4.6 a 17.9 kPa respectivamente, el biomaterial creado no es una alternativa al EPS debido a que sus

propiedades físicas y mecánicas no coinciden para ningún tipo de EPS, pero se puede aplicar en el empaque y envasado de alimentos.

ABSTRACT

ALTERNATIVE EXPANDED POLYSTYRENE BIOMATERIAL DEVELOPMENT FROM EDIBLE FILMS AND FUNGI

BY:

José Alberto López Nava

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNE 2014

Dr. Jorge Méndez González Adviser

Keywords: Biomaterials, crop residues, edible coatings, edible mushroom, expanded polystyrene, *Pleurotus sp.*

Expanded polystyrene has become an environmental problem due to its accumulation in landfills seas and oceans, also it is a risk to human health because of containing benzene and styrene. The objective of this research was to create and evaluate an alternative biomaterial to expanded polystyrene, developed from crop residues (*Triticum sp.*), fungus (*Pleurotus sp.*) and edible films (carrageenan, chitosan and xanthan gum). Treatments differ in type of coating applied (edible films), the particle size of the substrate was 2 to 5 cm, the physical and mechanical properties of the three treatments were evaluated, density of treatments ranges from 159 to 209 kg m⁻³, compressive and flexural strength of the samples ranges from 20 to 60 kPa, and 4.6 to 17.9 kPa respectively, the biomaterial doesn't pose to be an alternative to expanded polystyrene because it doesn't fit in any expanded polystyrene type for all properties, but can be applied in packaging and food packaging.

Índice de Contenido

Índice de Cuadros	ix
Índice de Figuras.....	ix
INTRODUCCION.....	1
El EPS	1
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Problemática Ambiental.....	3
Medio Ambiente Y Sustentabilidad	4
Disminución De Los Impactos Al Medio Ambiente Mediante Ecodiseño.....	5
Residuos De Cosecha.....	6
Biología De Los Hongos Silvestres	7
Características De Los Hongos	9
Los Hongos Silvestres Como Fenómeno Ecológico.....	11
Importancia Biotecnológica De Hongos Comestibles	13
Importancia Ambiental De Los Basidiomicetos	14
Importancia Farmacologica De Los Basiodiomicetos	16
Cubiertas Comestibles.....	18
MATERIALES Y MÉTODOS	21
Creación Del Biomaterial.....	21
Biomateriales y Pruebas.....	25
Diseño Experimental.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
Pruebas Físicas.....	27

Pruebas Mecánicas	29
Costo De Producción	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
LITERATURA CITADA	35

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Aplicaciones de los hongos de acuerdo a ramas especializadas	14
Cuadro 2. Funciones del sistema enzimático del género <i>Pleurotus</i>	15
Cuadro 3. Componentes activos con efecto medicinal de los basidiomicetos.....	16
Cuadro 4. Diseños experimentales aplicados a las pruebas según la propiedad física o mecánica evaluada en el biomaterial hecho a partir de residuos de cosecha (<i>Triticum sp.</i>), micelio de hongos (<i>Pleurotus sp.</i>) Y recubrimientos comestibles (carragenina, quitosán o goma xantano).....	26
Cuadro 5. Propiedades físicas evaluadas del biomaterial desarrollado a partir de residuos de cosecha (<i>Triticum sp.</i>), micelio de hongos (<i>Pleurotus sp.</i>) Y recubrimientos comestibles (carragenina, quitosán o goma xantano).....	28
Cuadro 6. Propiedades mecánicas evaluadas del biomaterial desarrollado a partir de residuos de cosecha (<i>Triticum sp.</i>), micelio de hongos (<i>Pleurotus sp.</i>) Y recubrimientos comestibles (carragenina, quitosán o xantano).....	31

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura del Cuerpo Fructífero de los Hongos Macroscópicos	11
Figura 2. Sustrato esterilizado (<i>Triticum sp.</i>) (a) e inoculado con <i>Pleurotus sp.</i> (b) para crear el biomaterial	22
Figura 3. Prototipo de un vaso del biomaterial, desarrollado a partir de hongos comestibles (<i>Pleurotus sp.</i>) y residuos de cosecha (<i>Triticum sp.</i>), vista frontal (a) vista aérea (b).....	23
Figura 4. Proceso de producción del biomaterial a partir de hongos comestibles (<i>Pleurotus sp.</i>) y residuos de cosecha (<i>Triticum sp.</i>).....	24

INTRODUCCION

El EPS

El poliestireno expandido (EPS) derivado del petróleo, es producido a partir de un monómero hidrocarburo llamado estireno; aproximadamente el 95 – 98 % del peso total de este material está compuesto de aire (Tan y Khoo, 2005), debido a esto es un material versátil y liviano, con una gran resistencia a la compresión (Froese, 1998), las principales aplicaciones del EPS son para empaques, embalajes y construcción (EPA, 1995; IARC, 2002; Tan y Khoo, 2005), es en volumen el cuarto material termoplástico mas producido en el mundo (EPA, 1995); sin embargo contiene benceno, ampliamente reconocido como cancerígeno (NTP, 1986; EPA, 1995; IARC, 2002) y estireno, compuesto potencialmente cancerígeno (IARC, 2002), esto demuestra que el uso de EPS para envasar alimentos representa un riesgo a la salud humana.

En México se producen anualmente 300,000 toneladas de EPS (SENER, 2005), destinadas comúnmente como envase para alimentos, a pesar de que en diversos lugares como Portland, Carolina del Norte, Newark, Nueva Jersey, Toronto, Muntinlupa, Corisca y París se ha prohibido su uso para este fin por contener benceno y estireno (Comstock *et al.*, 2004). Adicionalmente se generan anualmente 40 millones de toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), sin embargo no existen cifras del porcentaje de EPS en dichos residuos (SEMARNAT, 2012).

En rellenos sanitarios ubicados en Baja California, Estado de México y Michoacán se encontraron 2.69% 2.58% y 0.75% de EPS del peso total de los RSU respectivamente (Buenrostro e Israde, 2003; Aguilar *et al.*, 2009; Corral *et al.*, 2011)

El EPS con fines de empaque se desecha después de su vida útil (Tan y Khoo, 2005), permanece en donde se deposita y no es biodegradable (Hammel y York, 1992; Derraik, 2002), debido a esto se desperdicia un valioso recurso energético no renovable. En años recientes, y debido a su gran uso, el EPS se ha convertido en un problema ambiental por su acumulación en basureros, rellenos sanitarios, ríos, lagos, mares y océanos (Azzarello y Vleet, 1987; Derraik, 2002; Wright *et al.*, 2013).

Objetivo General

Crear un biomaterial alternativo al poliestireno expandido (EPS), a partir de hongos comestibles residuos de cosecha y cubiertas comestibles.

Objetivos Específicos

Utilizar cubiertas comestibles para ampliar los usos de los biomateriales obtenidos.

Evaluar la permeabilidad de tres tipos de cubiertas comestibles sobre el biomaterial.

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del Biomaterial (absorción de agua, estabilidad dimensional, flexión, tensión, compresión y densidad aparente).

Caracterizar el material de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Problemática Ambiental

Se sabe que los procesos industriales impactan al medio ambiente, pero sin duda también se han hecho más eficientes, debido en gran parte a las regulaciones ambientales y también a la creciente conciencia ambiental en la industria y en la población en general. (Lee y Holden, 1999).

Sin embargo la tendencia consumista a nivel mundial favorece el uso intenso de productos de todo tipo, que para su manejo y distribución son contenidos y protegidos por envases y embalajes de múltiples diseños y fabricados con diferentes materiales (Benet, 2007).

El problema de los residuos se ha incrementado en los últimos años y se ha convertido en un asunto preocupante a todos los niveles de gobierno, cada vez resulta más difícil manejar las crecientes cantidades de residuos colectados, ya que los recursos e infraestructuras para atenderlos no crecen a la misma velocidad ni proporción (Lee y Holden, 1999).

La acumulación de residuos y los recursos disponibles para gestionarlos, son variables que han potenciado diferentes respuestas en muchas zonas del mundo. Así, hay países donde la estrategia se concentra en los esfuerzos para abaratar el traslado desde el punto de generación del residuo al vertedero, con escasas acciones para su reciclaje. En la mayoría de los países de la Unión Europea, se han adoptado políticas comunitarias que privilegian el desarrollo de la recuperación organizada, para lo cual se han elaborado normativas y directivas hacia el manejo y tratamiento eficiente de los residuos. Por otro lado, el esfuerzo hacia la manipulación de residuos de países industrializados, se ha reflejado también en un dinámico desarrollo de tecnologías de todo tipo para la recolección, selección y reciclaje de residuos (Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

Todo lo descrito anteriormente, nos lleva a que dentro de la innovación tecnológica hoy se abre un campo, donde la ingeniería y el diseño de productos tienen una gran oportunidad para cooperar a la mejora en la gestión y reducción de residuos de plástico.

Medio Ambiente y Sustentabilidad

El avance de la tecnología y el cambio constante de nuestros ecosistemas ha generado en esta investigación la siguiente pregunta: ¿Acaso las actividades antrópicas han provocado daños al medio ambiente? gracias a esta pregunta y a través de trabajos de investigación sabemos que efectivamente la pérdida de la biodiversidad (Dirzo y Raven, 2003), el aumento de las concentraciones de productos tóxicos en el medio ambiente (Duruibe *et al.*, 2007), la erosión de tierras (Montgomery, 2007), la disminución de la capa de ozono de la estratosfera (Hess y Zbinden, 2011), la lluvia

ácida (Qu *et al.*, 2005), el cambio climático (Treut *et al.*, 2007) y el agotamiento de los recursos no renovables, entre otros muchos más, son tan sólo síntomas populares de los daños que se han producido por la indiscriminada apropiación de la biosfera por el ser humano (Vitousek, 1994).

Disminución de los Impactos al Medio Ambiente mediante Ecodiseño

Una de las estrategias para mitigar el impacto al ambiente que han causado las actividades antropogénicas es el ecodiseño, es un gran paso en la búsqueda para disminuir el impacto de los productos sobre el ambiente, ya que cambia la preocupación única por las emisiones en los procesos de producción, por una visión ampliada a todo el ciclo de vida de los productos (Nowosielski *et al.*, 2007).

El ecodiseño, o diseño verde, diseño sostenible o diseño responsable, se refiere a la metodología aplicada al diseño de un producto y de su proceso de fabricación orientada hacia la prevención o reducción del impacto medioambiental del producto (Brezet, 1997)

A diferencia del diseño comúnmente utilizado en la industria el ecodiseño tiene dentro de sus características la prioridad de los criterios ambientales sobre los criterios de producción, sin comprometer la calidad del producto (Brezet, 1997).

Ejemplos de criterios pueden ser el ahorro de energía, agua y de recursos en general, la minimización de residuos y emisiones externas o el uso de combustibles procedentes de fuentes renovables. Entre los resultados del ecodiseño aplicado a la concepción de un producto se encuentra la reducción de la variedad de materiales que lo

componen para facilitar su separación y clasificación final de su uso, así como también el incremento del empleo de materiales reciclables (Pigosso *et al.*, 2010).

Residuos de Cosecha

Son los materiales que quedan después de recoger el producto principal de un cultivo. Los residuos de cosecha constituyen, generalmente, un inconveniente para el establecimiento del cultivo siguiente en una rotación, por lo que su destino más frecuente es la quema, tanto en sistemas de labranza convencional como en labranza reducida y labranza cero. Esta práctica, si bien presenta la ventaja de la remoción rápida del residuo, posee el inconveniente de incrementar la erosión eólica e hídrica al dejar el suelo descubierto, lo que a su vez reduce la infiltración, el almacenamiento de agua y provoca la generación de costras en la capa superficial (Mills y Fey, 2003).

La aplicación de residuos al suelo aporta una serie de beneficios físicos, biológicos y nutrimentales, como mejorar su estructura y capacidad de infiltración (Roose y Barthès, 2001). Producir un incremento en la población de organismos del suelo gracias a la incorporación de materia orgánica como fuente energética (Vetterlein y Hüttl, 1999), aportar nutrientes liberando nitrógeno, potasio, calcio y magnesio, entre otros (Tang y Yu, 1999), reducir la erosión hídrica y eólica y disminuir el contenido de aluminio potencialmente fitotóxico (Vetterlein y Hüttl, 1999).

La descomposición de los residuos de cosecha es producida por la sucesión de comunidades de organismos, comenzando con la acción de la mesofauna sobre materiales de mayor tamaño y más fácilmente degradables, como celulosa y proteínas. La velocidad de descomposición de los residuos es afectada por factores como la calidad

del material que se adiciona (Kwabiah *et al.*, 2003), pH, temperatura (Magid *et al.*, 2004), precipitaciones y evapotranspiración y la relación C:N de los residuos de cosecha, consecuencia de la cantidad de nitrógeno disponible para los microorganismos (Bertol *et al.*, 2004).

La adición de residuos al suelo promueve el desarrollo de todo tipo de microorganismos, sean éstos de vida libre o simbióticos. Entre estos últimos destacan las micorrizas (Schreiner y Bethlenfalvay, 2003), las que se ven favorecidas como consecuencia de un mejoramiento de las condiciones en las cuales se va a desarrollar la simbiosis (Kabir *et al.*, 1997).

La aplicación de restos de cosecha en suelos ácidos adquiere especial importancia por la acción del residuo que disminuye la actividad fitotóxica del aluminio, al igual que lo hace la asociación con hongos micorrizógenos por parte de variedades de cereales tolerantes (Borie y Rubio, 1999).

Biología de los Hongos Silvestres

Según Harley (1971) los hongos, son organismos heterótrofos, están adaptados en su fisiología y morfología a un modo de vida en el que sus requerimientos nutricionales son absorbidos como materiales solubles de los sustratos donde crecen. En este proceso intervienen mecanismos enzimáticos específicos que transforman los restos orgánicos de plantas y animales en sustancias químicas simples.

Este modo de nutrición es característico de la mayoría de los hongos de vida libre o saprófitos, sin embargo, existen algunas especies simbiotes antagonistas, que

parasitan organismos vivos y mutualistas que mantienen una estrecha relación que beneficia a las plantas y algunos animales del bosque (Armstrong y Liaw, 2002).

Su ciclo de vida se caracteriza por presentar dos fases: a) Somática - constituida por células hifales metabólicamente activas, con potencial de crecimiento y diferenciación. b) Reproductora sexual o asexual - integrada por hifas diferenciadas (Armstrong y Liaw, 2002).

El ciclo se inicia con la germinación de las esporas sexuales (producidas por los cuerpos reproductores), las cuales por lo general son dispersadas por el viento. La germinación depende de un sustrato adecuado y de condiciones ambientales favorables como la acumulación de agua, misma que produce un hinchamiento de la espora y la emisión de un tubo germinal que desarrolla células filamentosas denominadas hifas. Estas células tienen un crecimiento radial a partir de la ramificación del tubo germina que emerge de la espora madre, formando una colonia circular de apariencia algodonosa denominada micelio, que constituye el verdadero hongo. El micelio coloniza el sustrato y lo degrada, absorbiendo y acumulando los nutrientes necesarios para su crecimiento y para el posterior desarrollo de las estructuras reproductoras (Armstrong y Liaw, 2002).

La fructificación de los hongos superiores (iniciación del primordio y su morfogénesis), constituye uno de los eventos reproductivos sexuales, esenciales para la multiplicación de las especies y su dispersión a nuevos sustratos, o la resistencia temporal a condiciones adversas. Este proceso depende de la transición de un ambiente "A", favorable para el desarrollo del micelio y la acumulación de reservas en la época de crecimiento y un ambiente "B" que favorece la formación de los primordios y el

desarrollo de las estructuras reproductoras, dicha fluctuación parece estar regida por una sucesión climática anual (Armstrong y Liaw, 2002).

Es conveniente mencionar que el potencial reproductivo sexual de los hongos está limitado por su constitución genética (factores endógenos); sin embargo, la expresión de este potencial es controlado por la luz, temperatura, humedad, composición y concentración de los nutrientes del sustrato entre otros (factores exógenos), de acuerdo con (Harley, 1971)

Las estrategias adaptativas de los hongos silvestres, utilizadas para sobrevivir en sus hábitats específicos se conoce como fenología. La fenología de los hongos se caracteriza por presentar dos fenofases: la somática y la reproductiva. Resulta de particular importancia entender la magnitud de la fenología de los hongos, sobre todo para implementar programas de manejo y uso sustentable de las poblaciones silvestres (Armstrong y Liaw, 2002).

Características de los Hongos

Los hongos, tradicionalmente se han definido con base en sus características, como organismos eucarióticos, productores de esporas, sin clorofila, con nutrición heterótrofa por absorción, capaces de reproducirse sexual y/o asexualmente, cuyos filamentos usualmente son estructuras somáticas ramificadas conocidas como hifas y típicamente son rodeadas por una pared celular rígida (Armstrong y Liaw, 2002).

Los hongos son organismos capaces de vivir en casi todos los hábitats posibles aunque también existen especies endémicas. Todos los hongos son heterótrofos, es decir,

requieren materia orgánica preformada que utilizan como fuente de energía y de carbono para la síntesis de estructuras celulares (Lilly y Barnett, 1951).

La pared rígida (compuesta en mayor proporción por quitina y otros polisacáridos estructurales) con la que cuenta la mayoría de las especies fúngicas ligninocelulósicas, les impide fagocitar su alimento y por ello deben absorber nutrientes simples y solubles que obtienen mediante la degradación de biopolímeros tales como celulosa, hemicelulosa y lignina, por acción de un complejo sistema de enzimas hidrolíticas que liberan al medio (Armstrong y Liaw, 2002). Al conjunto de hifas ramificadas de los hongos se le conoce como micelio, mismo que puede encontrarse en forma monocariótica (un solo núcleo) o dicariótica (dos núcleos) (Harley, 1971).

En el caso de los basidiomicetos, bajo condiciones fisiológicas y ambientales específicas, el micelio dicariótico comienza a formar estructuras reproductoras denominadas cuerpos fructíferos (también llamados carpóforos, esporóforos o basidiocarpos) y este proceso es acompañado por la transcripción de genes específicos que producen abundante ácido ribonucleico mensajero (ARNm) (Futoshi *et al.*, 2004).

En el cuerpo fructífero de los hongos macroscópicos, el estípite o pie y el característico píleo o sombrero están conformados por micelio ramificado; en la parte inferior del píleo se encuentran las laminillas, mismas que constituyen el himenio, lugar donde se forman y se liberan las esporas una vez que el cuerpo fructífero ha madurado (Figura 1).

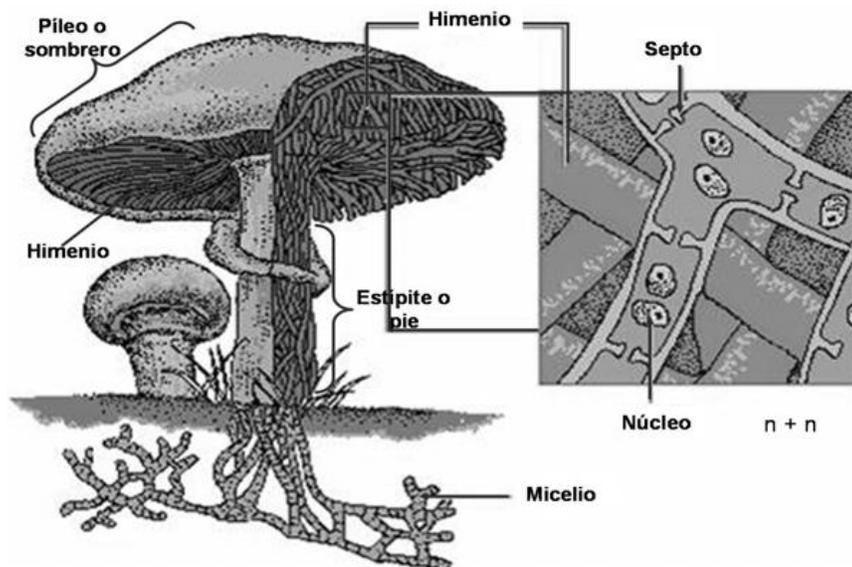


Figura 1. Estructura del cuerpo fructífero de los hongos macroscópicos.

Los Hongos Silvestres como Fenómeno Ecológico

Los hongos cumplen una importante función ecológica en los bosques dentro del subsistema de la degradación y junto con los demás organismos que integran este subsistema, son considerados como uno de los principales determinantes biológicos de la calidad del sitio forestal. El impacto de los grupos de hongos en los procesos biogeoquímicos que se desarrollan en los ecosistemas forestales, dependen de sus características biológicas tan peculiares que les permiten ser eficientes catalizadores que aceleran o restringen los ciclos de los nutrimentos (Lilly y Barnett, 1951).

Los procesos bioquímicos donde los hongos actúan como catalizadores son diversos, tales como: a) mineralización-inmovilización; b) óxido-reducción; c) volatilización- fijación; d) precipitación-solubilización (Armstrong y Liaw, 2002; Lilly y Barnett, 1951).

Dichas actividades incluyen diversos ciclos entre los que destaca el del carbono, además de otros elementos minerales como: el nitrógeno, fósforo, azufre y boro (no metálicos); potasio, calcio y manganeso (metales ligeros) y los metales pesados: hierro, manganeso, cobre, zinc y molibdeno (Lilly y Barnett, 1951).

Como degradadores, los hongos son los principales agentes de la descomposición de restos orgánicos y del reciclaje de nutrientes en los bosques. Se estima que el 95% del metabolismo heterotrófico es generado por los organismos degradadores dentro de los cuales los hongos contribuyen con el 90% del total (Reichle *et al.*, 1973).

Su función como simbiontes mutualistas es también relevante, ya que se ha estimado que las micorrizas representan el 50% de la biomasa total y el 43% del nitrógeno recirculado anualmente en un ecosistema de *Pseudotsuga menziesii* en Oregon, E.U.A. (Fogel, 1979).

Finalmente, cabe resaltar que los hongos silvestres (tanto degradadores como micorrízicos) transfieren información de los restos orgánicos de las plantas mediante la degradación, a un sistema de mayor orden, facilitando la producción de fotoasimilados por las plantas (Lilly y Barnett, 1951)

Estos hechos son de gran relevancia, ya que existe una relación causal entre los siguientes procesos: la degradación favorece la recirculación de los nutrientes y a su vez el flujo de los fotoasimilados de la planta hacia las raíces e hifas de las micorrizas. Dicha distribución de fotoasimilados ayuda a mantener una gran diversidad de comunidades de organismos del suelo, mismos que estabilizan los ecosistemas durante las fluctuaciones ambientales o en periodos de estrés ambiental, manteniendo

positivamente la fotosíntesis neta y reduciendo los niveles de entropía del sistema (Perry *et al.*, 1989)

Importancia Biotecnológica de Hongos Comestibles

El cultivo de hongos comestibles es una industria biotecnológica en continuo proceso de expansión y que poco a poco va cobrando mayor importancia en el ámbito económico de muchos países. Hasta 1980, las cuatro especies de hongos comestibles más importantes por su cultivo eran *Agaricus bisporus* (champiñón), *Pleurotus sp.* (seta, ostra), *Lentinula edodes* (Shiitake) y *Volvariella volvacea*. Desde entonces el género *Agaricus* ha sido el hongo comestible más cultivado y consumido en Europa, Norteamérica y México. Por su parte, *Lentinula edodes* es producido en su mayor parte en Japón, *Volvariella* en países Asiáticos y *Pleurotus* en México y Sudamérica (Chang, 1999)

En lo que se refiere a los hongos del género *Pleurotus*, han incrementado su popularidad mundial en los últimos años, debido a su habilidad para crecer en un amplio intervalo de temperaturas (22 – 28 °C) y su capacidad para utilizar como sustrato diversos materiales ricos en lignina y celulosa tales como rastrojo de maíz, paja de cereales, papel, pulpa de café, residuos vegetales así como desechos ligninocelulósicos de la industria alimenticia; para la preparación y acondicionamiento de estos sustratos, se han utilizado varias técnicas tales como la inmersión en agua caliente, pasteurización, esterilización con inyección de vapor, composteo, y otros. (Moda *et al.*, 2005).

Zervakis y Venturella (2002) consideran que cada cepa tiene un potencial bioquímico distinto, por ejemplo, en la degradación de celulosa, hemicelulosa y lignina,

lo cual puede ser utilizado como criterio para identificar la calidad de cepas que sean convenientes para programas de hibridación. Por otro lado, *Pleurotus* y muchos otros basidiomicetos, producen compuestos de interés industrial tales como ácidos orgánicos, vitaminas, aminoácidos, enzimas y otros metabolitos secundarios con aplicaciones farmacéuticas. Gracias a estas características, los hongos tienen diversas aplicaciones en distintos ámbitos biotecnológicos tales como el ambiental, farmacológico y alimentario (Cuadro 1).

Cuadro 1. Aplicaciones de los hongos de acuerdo a ramas especializadas.

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

Importancia Ambiental de los Basidiomicetos

Al igual que la celulosa, la lignina es un biopolímero vegetal muy abundante en la biosfera; es un compuesto aromático que provee rigidez, impermeabilidad al agua y resistencia al ataque microbiano hacia las paredes vegetales; debido a sus características estructurales, este compuesto impone una barrera física y química que restringe su degradabilidad (Cohen *et al.*, 2002).

Los sustratos utilizados para el cultivo de basidiomicetos, están conformados básicamente por compuestos ligninocelulósicos y para degradarlos, estos organismos

poseen un complejo sistema enzimático (Cuadro 2) entre las que destacan las enzimas celulasa, hemicelulasa, manganeso peroxidasa (MnP), versátil peroxidasa (VP), alcohol aril oxidasa (AAO) y lacasa, mismas que son capaces de hidrolizar los polímeros de celulosa, hemicelulosa y lignina de diversos materiales (Gaitan *et al.*, 2006)

Cuadro 2. Funciones del Sistema Enzimático del género *Pleurotus*.

Enzima	Función
Manganeso Peroxidasa	Oxidación (dependiente de H ₂ O ₂) de lignina y derivados fenólicos
Versátil peroxidasa	Oxidación de orto, para-difenoles y aminas aromáticas por la remoción de un e ⁻ y H ⁺ de un grupo OH para formar un radical libre
Lacasa	Oxidación extracelular de alcoholes aromáticos a sus correspondientes aldehídos. Enzima generadora de H ₂ O ₂ .

Boyle et al. (1992) demostraron que la degradación de la lignina por los hongos de la pudrición blanca (como también se les conoce a los basidiomicetos), es extracelular, de forma oxidativa no específica y está regulada por una serie de condiciones (Mn, pH) independientes de los efectos ejercidos por ellas sobre el crecimiento fúngico y el proceso de degradación culmina en la producción independiente de dióxido de carbono y otros productos solubles.

Del mismo modo, los basidiomicetos tienen la capacidad de biodegradar y mineralizar compuestos xenobióticos tales como hidrocarburos poliaromáticos (HPA) como el fenantreno, colorantes industriales y otros contaminantes del suelo tales como atrazina, diaminas, y fenoles debido a que la conformación estructural de estos compuestos (fenólica) es similar a la que presenta la lignina y los productos de la

oxidación no son necesariamente utilizados como fuente de carbono y energía por la célula (Arun y Eyini, 2011).

Las enzimas ligninolíticas pueden decrecer la biotoxicidad para los hongos y presumiblemente, también incrementar la disponibilidad de HPA a futuros procesos de degradación (Cohen *et al.*, 2002).

Por todo lo anterior, estos organismos son considerados candidatos ideales para la bioconversión de desechos ligninocelulósicos producidos por la agricultura e industrias procesadoras de vegetales reduciendo, en última instancia, la contaminación generada por dichos procesos.

Importancia Farmacologica de los Basidiomicetos

Como se muestra en el cuadro 3, los organismos pertenecientes al género *Pleurotus*, al igual que otros basidiomicetos, producen una serie de biomoléculas con actividades biológicas importantes incluyendo lectinas, proteínas, polisacáridos y glucoproteínas con actividades antiproliferativas y antitumorales, proteasas y ribonucleasas (Cohen *et al.*, 2002).

Cuadro 3. Componentes activos con efecto medicinal de los basidiomicetos.

Efecto medicinal	Componentes bioactivos
Antibiótico	Micelio, Polisacáridos
Antibacterial	D-glucanas
Antiviral	Polisacáridos, Proteínas
Inmunomodulación	Polisacáridos, Proteínas-polisacáridos
Antitumoral	D-glucanas, Lectinas
Hipocolesterolémico	Cuerpo Fructífero, Lovastatina

Hematológico	Lectinas
Antioxidantes	D-glucanas
Antialérgico	Extractos etanólicos
Antiinflamatorio	Extractos metanólicos

Fuente: (Cohen *et al.*, 2002)

Las lectinas son proteínas de alto peso molecular, unidas de manera específica e irreversible a carbohidratos, han sido encontradas en una amplia variedad de organismos, incluyendo a los hongos y son ampliamente utilizadas como sondas para el estudio de carbohidratos. Algunas lectinas aisladas de cuerpos fructíferos de basidiomicetos, muestran una actividad tóxica contra insectos, lo cual sugiere que la función biológica de estos compuestos en los hongos puede ser de autodefensa (Futoshi *et al.*, 2004).

La contribución in vivo de las lectinas, al igual que otras proteínas con efecto antitumoral de hongos, no ha sido esclarecida por completo aún; sin embargo, se ha demostrado que los cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus* en ratas, protegen de ciertos efectos cancerígenos y disminuye la toxicidad de la ciclofosfamida (Lindequist *et al.*, 2005).

Por su parte (Bobek *et al.*, 1998), concluyeron que una dieta de 5% en base seca de *Pleurotus ostreatus*, reduce los cambios patológicos del cáncer de colon inducido por la dimetilhidrazina en ratas y dicho efecto lo explican por las propiedades antioxidantes de este basidiomiceto y por su contenido de fibra; un año después, estos mismos autores demostraron que una dieta del 10% de este mismo hongo, reduce significativamente la incidencia y el tamaño de las placas arterioescleróticas en conejos a la vez que se

observa un efecto hipocolesterolémico, combinado con la inhibición de la peroxidación de lípidos (Bobek y Galbavý, 1999).

También se han encontrado efectos antimutagénicos y de reducción tumoral en extractos metanólicos de *Pleurotus pulmonarius* (Jose *et al.*, 2002), *P. ostreatus* y *Lactarius vellereus* y de extractos acuosos de *A. bisporus* y *Ganoderma lucidum* los cuales son atribuidos a la enzima tirosinasa (Shi *et al.*, 2004). Por otro lado, Jose *et al.* (2002) demostraron que los extractos metanólicos de cuerpos fructíferos de *P. pulmonarius* suministrados en ratas (500 a 1000 mg/kg) tienen efectos antiinflamatorios debido a que ayudaron a disminuir el edema de patas inducido por carragenina y formalina y dicha actividad fue equiparable a la que presentó el diclofenaco, lo cual fue atribuido a la actividad antioxidante de dicho extracto.

Por su parte, las ribonucleasas (RNAsas) pertenecen a un importante grupo de enzimas proteolíticas, tienen una amplia variedad de actividades, incluyendo antivirales, inmunomodulatorias y antineoplásticas (Ng y Wang, 2004). Todos estos componentes celulares además de los metabolitos secundarios producidos por los basidiomicetos, afectan el sistema inmune del huésped y de esta forma pueden ser utilizados para tratar una amplia variedad de enfermedades entre las que destaca el cáncer de estómago, hígado y esófago (Cohen *et al.*, 2002).

Cubiertas Comestibles

Los recubrimientos comestibles que cubren un producto actúan como una barrera frente a la invasión de agentes físico-químicos y microbiológicos, otorgan protección a la humedad, olores, gases y luz, además de otras funciones como resistencia al impacto y

fácil eliminación después de haber sido usado. Además de las funciones clásicas a cumplir por un recubrimiento, éste puede tener funciones adicionales por la incorporación de aditivos funcionales activos dentro del material usado para la fabricación del mismo (Avila *et al.*, 2010).

Las películas para envases derivadas de biopolímeros naturales son preparadas usando materiales biológicos como polisacáridos, proteínas y sus derivados. Estas películas son completamente biodegradables, derivan de materiales renovables, no deterioran nuestro medio ambiente después de ser utilizados y son una alternativa efectiva a los plásticos sintéticos (Coma *et al.*, 2002).

La quitina es un polisacárido natural de alto peso molecular, fácilmente extraíble del exoesqueleto de crustáceos, es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa, su derivado más importante es el quitosano (quitina desacetilada), material más manejable, el cual puede ser procesado para formar escamas, polvos, esferas, membranas, esponjas, películas y geles. También se sabe que el quitosano no es tóxico, es biodegradable, biofuncional, biocompatible y distintos investigadores han encontrado fuertes actividades antimicrobianas y antifúngicas (Aider, 2010).

La carragenina es un hidrocoloide soluble en agua, natural compuesto de una cadena lineal de galactanos sulfatados y se extrae de ciertas especies de algas rojas. Las carrageninas tienen un alto potencial como material formador de recubrimientos comestibles. Enfriando una solución caliente de carragenina durante el colado y secado de la película la transforma en un espiral de doble hélice, después de la deshidratación

de la solución se forma una película compacta y estructurada (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2013).

La goma xantana, o xantano es un polisacárido extracelular producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*, el aspecto físico del xantano es el de un polvo color crema que se disuelve en agua caliente o fría produciendo soluciones de viscosidad relativamente alta a concentraciones bajas. La viscosidad es alta en un amplio intervalo de concentraciones y las soluciones son estables en un amplio rango de pH, concentración de sales y temperaturas. Se le usa como espesante en la industrialización de productos de panificación, jugos, productos lácteos, salsas, aderezos, alimentos para mascotas y jarabes (Chen y Nussinovitch, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Creación del Biomaterial

En base a las características del poliestireno expandido (ASTM C 578 - 04, 2004) primeramente se evaluó a que pruebas sería viable analizar el biomaterial, se propusieron cinco pruebas físicas y mecánicas: absorción de agua (ASTM D 570 – 98, 1985), densidad relativa (ASTM D 792 – 00, 2000), resistencia a la flexión (ASTM C 203 – 99, 1999), tensión (ASTM D 5026 – 01, 2001) y compresión (ASTM C 165 – 00, 2000) para analizar el nuevo material. Se rediseñaron las medidas de las probetas para absorción de agua y resistencia a la tensión para las pruebas correspondientes, el resto de las probetas se mantuvieron de acuerdo a las normas, se crearon 15 moldes de madera dentro de los cuales se desarrolló cada probeta.

Para crear las probetas del nuevo material, se modificó la metodología de Shimizu (1989), el sustrato (*Triticum sp.*) previamente triturado de 2 - 5 cm de longitud, se colocó en bolsas de plástico, las bolsas se introdujeron en una estufa Quincy lab 20GC, donde el sustrato fue esterilizado a 85° C durante 120 min (Figura 2a). Después de esto, el sustrato se dejó enfriar hasta 30° C a temperatura ambiente. Una vez enfriado, el sustrato se inoculó con *Pleurotus sp.*, utilizando granos inoculados como portadores (Figura 2b).



Figura 2. Sustrato esterilizado (*Triticum sp.*) (a) e inoculado con *Pleurotus sp.* (b) para crear el biomaterial.

El sustrato inoculado se colocó en moldes de madera diseñados previamente de acuerdo a las características y dimensiones de las normas American Standard Testing Materials (ASTM) para evaluar propiedades físicas y mecánicas. Los moldes de madera elaborados se sellaron para proveer condiciones ambientales favorables para la colonización del sustrato, se colocaron en estantes metálicos para la incubación a 23° C durante 30 días; durante ese tiempo, el micelio del hongo colonizó el sustrato. Después de este tiempo, el biomaterial fue retirado de los moldes de madera y se expuso a radiación solar directa durante 48 horas para interrumpir el ciclo biológico del hongo, y evitar la aparición de cuerpos fructíferos. El material se dejó secar a 25° C durante 48 horas en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, después del secado, las piezas se almacenaron en condiciones de laboratorio a 25° C y 30 % de humedad relativa

hasta la aplicación de las cubiertas comestibles. Las Figuras 3a y 3b muestran un vaso hecho del biomaterial antes de la aplicación del recubrimiento comestible.

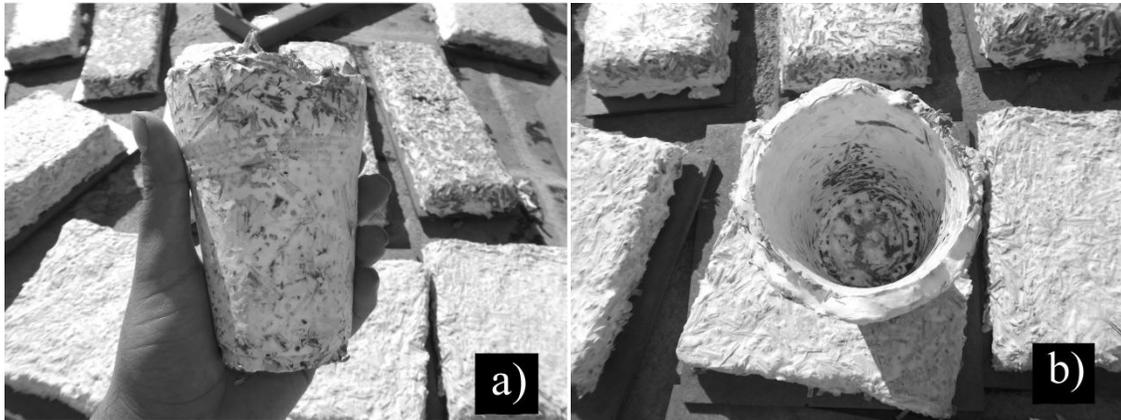


Figura 3. Prototipo de un vaso del biomaterial, desarrollado a partir de hongos comestibles (*Pleurotus sp.*) y residuos de cosecha (*Triticum sp.*), vista frontal (a) vista aérea (b).

Los recubrimientos comestibles carragenina (CA), quitosan (QAN) o goma xantano (XAN) fueron aplicados al biomaterial para proveer una barrera física y propiedades antimicrobianas, los cuales se prepararon de la siguiente manera: a) el recubrimiento de CA se preparó al 1 % p/v con agua destilada, se le agregó ácido oleico al 1 % del compuesto base, usando un agitador magnético Lab Companion Hp-3100 se homogeneizó por 30 minutos a 400 rpm y 40° C (Shojaee-Aliabadi *et al.*, 2013), b) el recubrimiento de QAN se preparó al 1 % p/p de ácido láctico en 100 ml de H₂O posteriormente se agregó 1 g de QAN seco, después se agregó a la solución tween al 0.1 % y ácido oleico al 1 % del compuesto base, usando un agitador magnético Lab Companion Hp-3100, se mezclaron a 400 rpm durante 60 minutos a 60° C (López *et al.*, 2012), c) el recubrimiento de XAN se preparó al 1 % p/p de goma xantano en agua

destilada, posteriormente se agregó a la solución ácido oleico al 1 % del compuesto base, se mezclaron usando un agitador magnético Lab Companion Hp-3100 durante 60 minutos a una velocidad de 400 rpm a una temperatura de 60° C (Chen y Nussinovitch, 2000). Una vez preparadas las tres soluciones se dejaron enfriar a temperatura ambiente a 25° C. Después los recubrimientos fueron aplicados a las probetas vía pincelado. Un esquema del proceso de elaboración del biomaterial se muestra en la Figura 4.

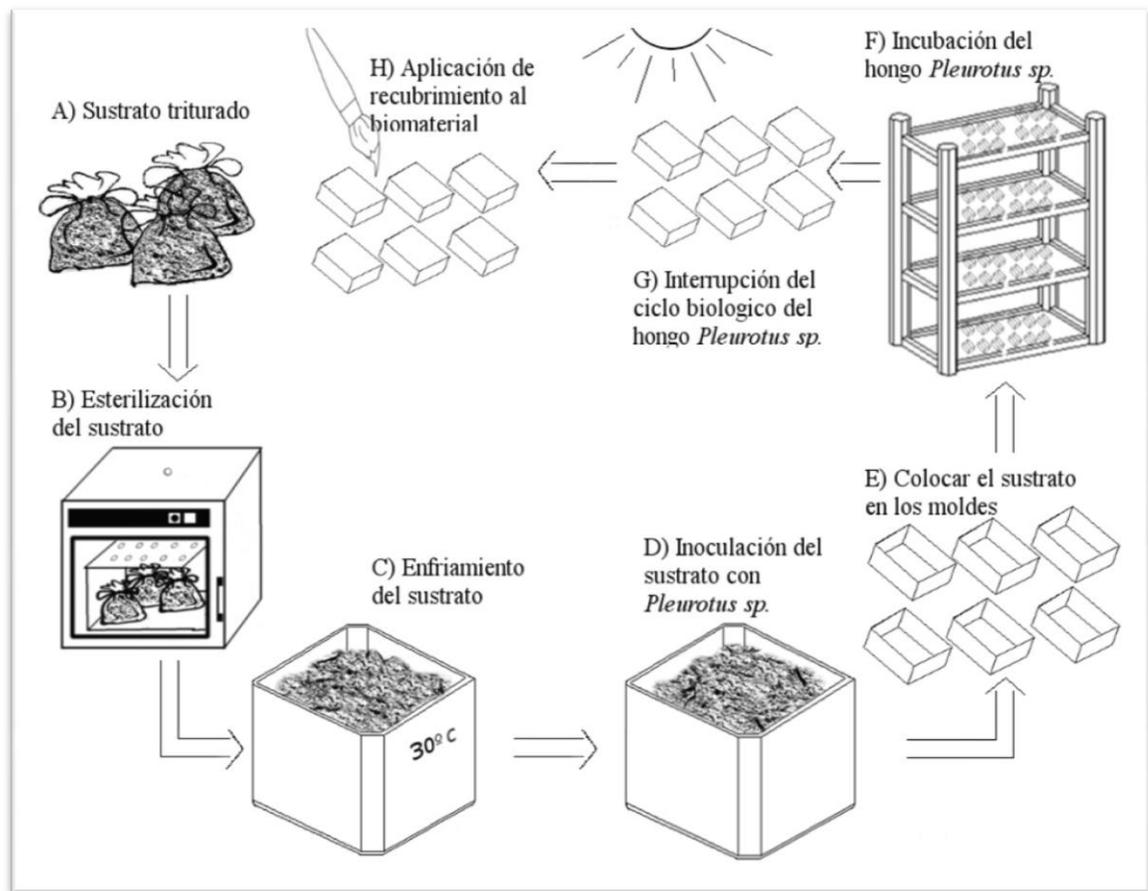


Figura 4. Proceso de producción del biomaterial a partir de hongos comestibles (*Pleurotus sp.*) y residuos de cosecha (*Triticum sp.*).

Biomateriales y Pruebas

Cada uno de los recubrimientos del biomaterial (CA, QAN y XAN) constituyó los tratamientos para el diseño experimental, mismo que se creó para su posible uso en empaque para alimentos y otros posibles usos, los tratamientos se sometieron a diferentes pruebas las cuales fueron a) absorción de agua (ASTM D570, 1985), b) densidad relativa (ASTM D792, 2000), c) estabilidad dimensional (ASTM C303, 2002), d) resistencia a la compresión (ASTM C165, 2000), e) resistencia a la flexión (ASTM C203, 1999) y f) resistencia a la tensión (ASTM D1623, 2003). Las pruebas de densidad relativa, absorción de agua y estabilidad dimensional se realizaron en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Coah.); las pruebas de compresión tensión y flexión se realizaron en las instalaciones del Instituto Tecnológico de El Salto, en El Salto Durango. utilizando una maquina universal Satec Systems.

Diseño Experimental

En el Cuadro 4 se muestran los diseños experimentales para cada una de las pruebas, los datos se analizaron de la siguiente manera: tres tipos de cubierta correspondientes a tres tratamientos: T1) probetas recubiertas con carragenina, T2) probetas recubiertas con quitosan, T3) probetas recubiertas con xantano. Se realizó un ANOVA previo para evaluar diferencias estadísticas entre tratamientos, para todas las pruebas, encontrando diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$; $n = 24$) en la prueba de absorción de agua, por lo que a esta prueba se le realizaron pruebas t de student (RStudio Version 0.98.501) contra el valor estándar del EPS (ASTM C578, 2004) para encontrar diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de los

tratamientos y los valores estándar del EPS. En el resto de las pruebas no se encontraron diferencias estadísticas por lo que se analizaron los tres tratamientos juntos (15 – 21 probetas dependiendo de la prueba) contra los valores estándar del EPS (ASTM C578, 2004) con la t de Student (RStudio Version 0.98.501) a un nivel de confianza de 95 %.

Cuadro 4. Diseños experimentales aplicados a las pruebas según la propiedad física o mecánica evaluada en el biomaterial hecho a partir de residuos de cosecha (*Triticum sp.*), micelio de hongos (*Pleurotus sp.*) y recubrimientos comestibles (carragenina, quitosan o goma xantano).

Propiedad evaluada	Repeticiones	Tratamientos	Análisis estadístico	Valor comparado (ASTM C578)
Absorción de Agua ASTM D570	8	3	Múltiples pruebas de t	4.00%
Densidad Relativa ASTM D792	20	1	Prueba de t	29 kg m ⁻³
Estabilidad dimensional ASTM C303	20	1	Prueba de t	2.00%
Resistencia a la compresión ASTM C165	21	1	Prueba de t	35 kPa
Resistencia a la flexión ASTM C203	15	1	Prueba de t	70 kPa
Resistencia a la tensión ASTM D5026	21	1	Prueba de t	96 kPa

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas Físicas

Los valores obtenidos en la prueba de densidad relativa del biomaterial presentaron normalidad (0.9374, $p = 0.2141$). La densidad relativa del biomaterial varió desde 159 hasta 209 kg m^{-3} . No se encontró diferencia estadística entre tratamientos para la prueba de densidad relativa ($p < 0.4600$), se hicieron pruebas t de Student para comparar los datos de densidad relativa con las especificaciones estándar del EPS (ASTM C 578 - 04, 2004), los resultados mostraron que el biomaterial obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas para todas las categorías (Cuadro 5), siendo claramente un material menos ligero que el EPS (Cuadro 5), sin embargo, es un material ligero que bien puede aprovecharse en el empaque de alimentos o en embalaje de productos electrodomésticos.

La estabilidad dimensional de un material se relaciona con el diseño de los moldes, es decir cuanto mayor es la contracción del área del material más grande tiene que ser el molde para que el producto terminado pueda estar dentro de las especificaciones deseadas. Los tratamientos T1, T2 y T3 no mostraron diferencias estadísticas para la prueba de estabilidad dimensional ($p < 0.9846$; $n = 20$), presentando una estabilidad dimensional de 4.2 hasta 8.8 %, con un coeficiente de variación de 19.82 %, esto indica que el molde de una probeta tiene que ser un 6% más grande para que la probeta terminada sea de las medidas deseadas. Para la prueba de absorción de agua se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.0001$) entre tratamientos, por lo que se realizaron pruebas de t para cada uno de los tratamientos contra el EPS, en todos los tratamientos (T1, T2 y T3) se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas (Cuadro 5), por lo que las cubiertas no cumplieron la función de ser una barrera física contra el agua a pesar de que en la preparación de dichas cubiertas se agregaron aceites esenciales para mejorar sus atributos, lo que indica que no es posible utilizar este biomaterial si estará en contacto con agua ya que absorbe gran porcentaje de la misma (114 a 278 %) y como consecuencia aumenta su peso considerablemente, y el biomaterial se convierte en una herramienta impráctica.

Cuadro 5. Propiedades físicas evaluadas del biomaterial desarrollado a partir de residuos de cosecha (*Triticum sp.*), micelio de hongos (*Pleurotus sp.*) y recubrimientos comestibles (carragenina, quitosan o goma xantano).

Propiedad Física	Tipo de EPS (ASTM C578)	Valor de EPS (ASTM C578)	p-value (S-W)	Media de tratamientos \pm SD	GL	p-value (t de Student)					
Absorción de Agua (T1) (%)	I	0.40	0.66	268.4 \pm 80.4	7	3.16E-05					
	II, VIII	3.00				3.37E-05					
	IV-VII, X	0.30				3.15E-05					
	IX	2.00				3.29E-05					
	XI	4.00				3.45E-05					
Absorción de Agua (T2) (%)	I	0.40	0.15	114.1 \pm 49.1	7	1.19E-04					
	II, VIII	3.00				1.39E-04					
	IV-VII, X	0.30				1.18E-04					
	IX	2.00				1.31E-04					
	XI	4.00				1.48E-04					
Absorción de Agua (T3) (%)	I	0.40	0.24	278.9 \pm 68.5	7	8.50E-06					
	II, VIII	3.00				9.50E-06					
	IV-VII, X	0.30				8.48E-06					
	IX	2.00				8.83E-06					
	XI	4.00				9.27E-06					
Densidad Relativa (T1+T2+T3) (Kg m ⁻³)	I	14.40	0.10	183.8 \pm 15.1	19	2.20E-16					
	II	21.60									
	IV	24.80									
	V	48.05									
	VI	28.80									
	VII	35.24									
	VIII, IX	18.42									
	X	20.82									
	XI	11.20									
	Estabilidad dimensional (T1+T2+T3) (%)	I-XI					2.00	0.68	6.2 \pm 1.1	19	1.43E-12

S-W = Prueba de normalidad Shapiro-Wilk; SD = Desviación estándar; GL= Grados de libertad.

Pruebas Mecánicas

Los valores obtenidos en la prueba de compresión del biomaterial presentaron normalidad (0.9405, $p = 0.2691$). La resistencia a la compresión de las probetas varió desde 20 hasta 60 kPa. Se realizaron pruebas t de Student para comparar los datos de

densidad relativa con las especificaciones estándar del EPS (ASTM C 578 - 04, 2004), los resultados mostraron que el biomaterial obtuvo diferencias estadísticas significativas para todas las categorías (Cuadro 6), siendo más resistente que el EPS tipo XI, y menos resistente que el resto de las categorías, lo que lo convierte en un material que puede usarse en el empaque de electrodomésticos.

Los valores obtenidos en la prueba de flexión del biomaterial presentaron normalidad (0.9476, $p = 0.4533$). La resistencia a la flexión de las probetas varió desde 4.6 hasta 17.9 kPa. Se realizaron pruebas t de student para comparar los datos de densidad relativa con las especificaciones estándar del EPS (ASTM C578, 2004), los resultados mostraron que el biomaterial obtuvo diferencias estadísticas significativas para todos los tipos de EPS (Cuadro 6), demostrando que es menos resistente que el EPS.

Los valores obtenidos en la prueba de tensión del biomaterial presentaron normalidad (0.9582, $p = 0.5977$). La resistencia a la tensión de las probetas varió desde 19 hasta 72 kPa. Se realizaron pruebas t de Student para comparar los resultados de la prueba de densidad relativa con las especificaciones estándar del EPS (ASTM C578, 2004), los resultados mostraron que el biomaterial obtuvo diferencias estadísticas significativas para todos los tipos de EPS (Cuadro 6), demostrando que es más resistente que el EPS.

Cuadro 6. Propiedades mecánicas evaluadas del biomaterial desarrollado a partir de residuos de cosecha (*Triticum sp.*), micelio de hongos (*Pleurotus sp.*) y recubrimientos comestibles (carragenina, quitosan o xantano).

Propiedades Mecánicas	Tipo de EPS (ASTM C578)	Valor de EPS (ASTM C578)	p-value (S-W)	Media de tratamientos \pm SD	GL	p-value (t de Student)
Resistencia a la compresión (T1+T2+T3) (kPa)	I	69	0.18	41.67 \pm 13.502	18	5.92E-08
	II,X	104				8.68E-14
	IV,IX	173				2.20E-16
	V	690				2.20E-16
	VI	276				2.20E-16
	VII	414				2.20E-16
	VIII	90				6.66E-12
	XI	35	0.05			
Resistencia a la flexión (T1+T2+T3) (kPa)	I	173	0.45	10.929 \pm 4.379	15	2.20E-16
	II	240				4.64E-09
	IV	345				2.20E-16
	V	690				2.20E-16
	VI	414				2.20E-16
	VII	517				2.20E-16
	VIII	208				2.20E-16
	IX	345				2.20E-16
	X	276				2.20E-16
	XI	70				2.20E-16
Resistencia a la tensión (T1+T2+T3) (kPa)	I	16	0.60	49.853 \pm 20.057	16	3.22E-06
	II	18				6.71E-06
	VIII	17				4.63E-06
	IX	23				4.66E-05
	XI	14				1.58E-06

S-W = Prueba de normalidad Shapiro-Wilk; SD = Desviación estándar; GL= Grados de libertad.

Costo de Producción

El costo aproximado de la producción del biomaterial fue de: a) T1 0.83 mxn, b) T2 1.1 mxn, c) T3 0.84 mxn, para calcular el costo de una pieza de 30 g. Solo se consideraron los costos de la materia prima ya que no se pueden estimar el resto de los

costos con precisión, las materias primas fueron conseguidas con productores o vendedores comerciales al menudeo, por lo que los costos pueden disminuir considerablemente al producir este biomaterial a mayor escala. Cabe destacar que fue un proceso artesanal y no se utilizó equipamiento de alta tecnología ya que el hongo *Pleurotus sp.* realiza prácticamente todo el proceso productivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es posible crear un biomaterial económico y biodegradable a partir de residuos de cosecha, hongos y cubiertas comestibles. Los recubrimientos utilizados no fueron aptos para proveer de una barrera física contra el agua. El biomaterial resulto tener propiedades físicas y mecánicas distintas al EPS, en algunos casos es más resistente (resistencia a la compresión y tensión) mientras que en el resto es más débil, lo que indica que puede utilizarse para algunas aplicaciones como empaque de alimentos, embalaje de electrodomésticos y macetas biodegradables, sin embargo, no representa una alternativa para ninguna de las categorías del EPS.

Puede modificarse el tamaño del sustrato, hacer mezclas de sustrato o utilizar otro tipo de hongo para modificar las propiedades físicas y mecánicas del biomaterial.

Durante el experimento se observó que al comienzo de la fase de diferenciación el micelio modificaba su estructura para crear los cuerpos fructíferos, dicha estructura tiene una textura gomosa y flexible, no despiden ningún aroma y es del mismo color (blanco) característico de las setas *Pleurotus sp.*, estudios futuros podrían demostrar que la estructura que se forma en la fase de diferenciación tiene cualidades más cercanas al EPS que el micelio en su fase primaria.

En estudios posteriores es recomendable usar ceras insolubles en agua tales como cera de candelilla en vez de recubrimientos hidrosolubles, que también cumple con uno de los objetivos del proyecto que es obtener un producto terminado económico.

LITERATURA CITADA

Aguilar, Q., Armijo, C., Ojeda, S., y Aguilar, X. (2009). Composición de los residuos sólidos domésticos en Vicente Guerrero México, una comunidad rural. In: II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos (p. 9).

Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT - Food Science and Technology* 43(6): 837–842. doi:10.1016/j.lwt.2010.01.021

Armstrong, S., y Liaw, J. (2002). Fundamentals of Fungi. *ASHRAE* 44(11): 18–24. doi:10.2307/3757980

Arun, A., y Eyini, M. (2011). Comparative studies on lignin and polycyclic aromatic hydrocarbons degradation by basidiomycetes fungi. *Bioresource Technology* 102: 8063–8070. doi:10.1016/j.biortech.2011.05.077

ASTM C165 (2000). Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations. ASTM International. West Conshohocken.

ASTM C203 (1999). Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation. ASTM International. West Conshohocken.

ASTM C303 (2002). Standard Test Method for Dimensions and Density of Preformed Block and Board-Type Thermal Insulation. ASTM International. West Conshohocken.

ASTM C578 (2004). Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation. ASTM International. West Conshohocken.

ASTM D1623 (2003). Tensile and Tensile Adhesion Properties of Rigid Cellular Plastics. ASTM International. West Conshohocken.

ASTM D570 (1985). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM International. West Conshohocken.

ASTM D792 (2000). Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. ASTM International. West Conshohocken.

Avila, A. J., Costamagna, V., Barrientos, E., Pucci, G., y Strumia, M. C. (2010). Películas de quitosano con sorbato de potasio unido física y covalentemente. *Revista Iberoamericana de Polimeros* 11(2): 73–87.

Azzarello, M. Y., y Vleet, E. S. Van. (1987). Marine birds and plastic pollution. *Marine Ecology Progress Series* 37: 295–303.

Benet, D. E. (2007). Garbage in the Age of Consumerism and Global Capitalism: An Ecocritical Reading of Don DeLillo's *Underworld*. In N. Sevamony, Nirmaidasan, y R. K. Alex (Eds.), *Essays in Ecocriticism* (1st ed., p. 233). New Delhi: Sarup, India.

Bertol, I., Leite, D., y Zoldan Jr. W. A. (2004). Decomposição do resíduo de milho e variáveis relacionadas. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo* 28(1): 369–375.

Bobek, P., y Galbavý, S. (1999). Hypocholesterolemic and antiatherogenic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rabbits. *Die Nahrung* 43(5): 339–42. doi:10.1002/(SICI)1521-3803(19991001)43:5<339::AID-FOOD339>3.0.CO;2-5

Bobek, P., Galbavy, S., y Ozdin, L. (1998). Effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on pathological changes in dimethylhydrazine-induced rat colon cancer. *Oncology Reports* 5(3): 727–757. doi:10.3892/or.5.3.727

Borie, F., y Rubio, R. (1999). Effects of arbuscular mycorrhizae and liming on growth and mineral acquisition of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition* 22(1): 121–137. doi:10.1080/01904169909365612

Boyle, C. D., Kropp, B. R., y Reid, I. D. (1992). Solubilization and Mineralization of Lignin by White Rot Fungi. *Applied and Environmental Microbiology* 58(10): 3217–3224.

Brezet, H. (1997). Dynamics in ecodesign practice. *Industry and Environment*, 20, 21–24. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0030623099ypartnerID=tZOtx3y1>

Buenrostro, O., y Israde, I. (2003). La gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* 19(4): 161–169.

Chang, S.-T. (1999). World Production of Cultivated Edible and Medicinal Mushrooms in 1997 with Emphasis on *Lentinus edodes* (Berk.) Sing, in China. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 1(4): 291–300.

Chen, S., y Nussinovitch, A. (2000). The role of xanthan gum in traditional coatings of easy peelers 14(4): 319–326.

Cohen, R., Persky, L., y Hadar, Y. (2002). Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 58(5): 582–94. doi:10.1007/s00253-002-0930-y

Coma, V., Martial-Gros, A., Garreau, S., Copinet, A., Salin, F., y Deschamps, A. (2002). Edible Antimicrobial Films Based on Chitosan Matrix. *Journal of Food Science* 67(3): 1162–1169.

Comstock, K., Farrell, D., Godwin, C., y Xi, Y. (2004). Food packaging of the future. Retrieved from [http://sea-cr.com/Data for website/A2 consumer sec/food packaging of the future.pdf](http://sea-cr.com/Data%20for%20website/A2%20consumer%20sec/food%20packaging%20of%20the%20future.pdf)

Corral, S. T., Becerra, B. B., Berriel, M. del C. H., Beltrán, G. G., y Miranda, M. G. M. (2011). Afectación ambiental del tiradero a cielo abierto de Almoloya del Río, Estado de México. In: *Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. México (pp. 253–257).

Derraik, J. G. B. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin* 44: 842–852.

Dirzo, R., y Raven, P. H. (2003). Global State of Biodiversity and Loss. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 137–167. doi:10.1146/annurev.energy.28.050302.105532

Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O. C., y Egwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences* 2: 112–118. doi:10.1016/j.proenv.2011.09.146

EPA. (1995). Polystyrene. (Environmental Protection Agency) Retrieved from <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch06/final/c06s06-3.pdf>

Fogel, R. (1979). Mycorrhiza and nutrient cycling in natural forest ecosystems. *New Phytologist* 86(2): 199–212.

Froese, R. (1998). Insulating properties of styrofoam boxes used for transporting live fish. *Aquaculture* 159(1358): 283–292.

Futoshi, S., Ichijo, N., Yamaguchi, H., Nakatsumi, H., Ando, A., Iijima, N., Nagata, Y. (2004). Molecular properties of mycelial aggregate specific lectin of *Pleurotus cornucopiae*. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 98(4): 257–262.

Gaitan-Hernandez, R., Salmones, D., Perez Melo, R., y Mata, G. (2006). Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. 56 p.

Hammel, H. S., y York, R. O. (1992). U.S. Patent No. 5,134,171. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Harley, J. L. (1971). Fungi in ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 8(3): 627–642.

Hess, P. G., y Zbinden, R. (2011). Stratospheric impact on tropospheric ozone variability and trends: 1990–2009. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. doi:10.5194/acpd-11-22719-2011

Hoornweg, D., y Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. World Bank, Washington DC (p. 116). Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/03/16537275/waste-global-review-solid-waste-management>

IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, World Health Organization, & International Agency for Research on Cancer. (2002). Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene (No. 82). World Health Organization.

Jose, N., Ajith, T. A., y Janardhanan, K. K. (2002). Antioxidant, Anti-inflammatory, and Antitumor Activities of Culinary-Medicinal Mushroom *Pleurotus pufmonanus* (Fr.) Quel. (Agaricomycetideae). *International Journal of Medicinal Mushrooms* 4(4): 7. doi:10.1615/IntJMedMushr.v4.i4.60

Kabir, Z., O'halloran, I. P., Fyles, J. W., y Hamel, C. (1997). Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi affected by tillage practices and fertilization: hyphal density and mycorrhizal root colonization. *Plant and Soil* 192(2): 285–293.

Kwabiah, A. B., Stoskopf, N. C., Palm, C. A., y Voroney, R. P. (2003). Soil P availability as affected by the chemical composition of plant materials: implications for P-limiting agriculture in tropical Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100(1): 53–61.

Lee, J. A., y Holden, S. J. S. (1999). Understanding the determinants of environmentally conscious behavior. *Psychology and Marketing* 16: 373–392. doi:10.1002/(SICI)1520-6793(199908)16:5<373::AID-MAR1>3.0.CO;2-S

Lilly, V. G., y Barnett, H. L. (1951). *Physiology of the Fungi*. McGRAW - HILL. U.S. 464 p.

Lindequist, U., Niedermeyer, T. H. J., y Jülich, W.-D. (2005). The pharmacological potential of mushrooms. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM* 2(3): 285–99. doi:10.1093/ecam/neh107

López Mata, M. A., Ruiz Cruz, S., Navarro Preciado, C., Ornelas Paz, J. de J., Estrada Alvarado, M. I., Gassos Ortega, L. E., y Joaquín Rodrigo García. (2012). Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud* 14: 33–43.

Magid, J., Luxhøi, J., y Lyshede, O. B. (2004). Decomposition of plant residues at low temperatures separates turnover of nitrogen and energy rich tissue components in time. *Plant and Soil* 258(1): 351–365. doi:10.1023/B:PLSO.0000016565.14718.4b

Mills, A. J., y Fey, M. V. (2003). Declining soil quality in South Africa: effects of land use on soil organic matter and surface crusting. *South African Journal of Science* 99(9-10): 429–436.

Moda, E. M., Horii, J., y Spoto Fillet, M. H. (2005). Edible mushroom *Pleurotus sajor-caju* production on washed and supplemented sugarcane bagasse. *Scientia Agricola* 62(2): 127–132.

Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 13268–13272. doi:10.1073/pnas.0611508104

Ng, T. B., y Wang, H. X. (2004). A novel ribonuclease from fruiting bodies of the common edible mushroom *Pleurotus eryngii*. *Peptides* 25(8): 1365–8. doi:10.1016/j.peptides.2004.01.027

Nowosielski, R., Spilka, M., y Kania, A. (2007). Methodology and tools of ecodesign. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 23: 91–94.

NTP (National Toxicology Program). (1986). NTP Toxicology and Carcinogenesis Studies of Benzene (CAS No. 71-43-2) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Gavage Studies).

National Toxicology Program Technical Report Series 289(289): 1–277. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12748714>

Perry, D. A., Amaranthus, M. P., Borchers, J. G., Borchers, S. L., y Brainerd, R. E. (1989). Bootstrapping in Ecosystems. *BioScience* 39(4): 230–237.

Pigosso, D. C. A., Zanette, E. T., Filho, A. G., Ometto, A. R., y Rozenfeld, H. (2010). Ecodesign methods focused on remanufacturing. *Journal of Cleaner Production* 18: 21–31. doi:10.1016/j.jclepro.2009.09.005

Qu, O. A., Agua, M. D. E. L., Rodr, A., y Sim, S. (2005). Lluvia ácida y sus efectos. *Lluvia acida*. Retrieved from <http://www.lluvia.com>

Reichle, D. E., Goldstein, R. A., Van Hook, J., y Dodson, G. T. (1973). Analysis of Insect Consumption in a Forest Canopy. *Ecology* 54(5): 1076–1084.

Roose, E., y Barthès, B. (2001). Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa: a contribution from Francophone research. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61(1-2): 159–170.

Schreiner, R. P., y Bethlenfalvay, G. J. (2003). Crop residue and Collembola interact to determine the growth of mycorrhizal pea plants. *Biology and Fertility of Soils* 39(1): 1–8. doi:10.1007/s00374-003-0672-8

SEMARNAT (Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales). (2013). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. SEMARNAT, México. 352 p.

SENER (Secretaría de Energía). (2005). Anuario estadístico de la industria petroquímica. SENER. México. 265 p. Retrieved from http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/anuario2004.pdf

Shi, Y., James, A. E., Benzie, I. F. F., y Buswell, J. A. (2004). Genoprotective Activity of Edible and Medicinal Mushroom Components. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 6(1): 1–14. doi:10.1615/IntJMedMushr.v6.i1.10

Shimizu, M. (1989). U.S. Patent No. 4,878,312. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M. A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S. M., Khaksar, R. (2013). Characterization of antioxidant-antimicrobial

κ -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules* 52: 116–24. doi:10.1016/j.ijbiomac.2012.08.026

Tan, R. B. H., y Khoo, H. H. (2005). Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios. *Journal of Environmental Management* 74(3): 195–205. doi:10.1016/j.jenvman.2004.09.003

Tang, C., y Yu, Q. (1999). impact of chemical composition of legume residues.pdf. *Plant and Soil* 215(1): 29–38.

Treut, L., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, a, Tignor, M. (2007). Historical Overview of Climate Change Science. *Earth* 1: 93–127. doi:10.1016/j.soilbio.2010.04.001

Vetterlein, D., y Hüttl, R. (1999). Can applied organic matter fulfill similar functions as soil organic matter? Risk-benefit analysis for organic matter application as a potential strategy for rehabilitation of disturbed ecosystems. *Plant and Soil* 213(1-2): 1–10.

Vitousek, P. M. (1994). Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology* 75: 1861. doi:10.2307/1941591

Wright, S. L., Thompson, R. C., y Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)* 178: 483–92. doi:10.1016/j.envpol.2013.02.031

Zervakis, G., & Venturella, G. (2002). 32 Mushroom Breeding and Cultivation Enhances ex situ Conservation of Mediterranean *Pleurotus* Taxa. *Managing plant genetic diversity*, 351 p.