

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES



**Biodegradación de tripas de celulosa del empaque de salchicha con el hongo comestible *Pleurotus columbinus***

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA

EZEQUIEL EDUARDO PÉREZ FRANCO

Director: Dr. Conrado Soto Velazco

Zapopan, Jalisco, Marzo del 2013



**Universidad de Guadalajara**  
**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias**  
*Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología*

COORD-BIO-087/2012

**C. EZEQUIEL EDUARDO PÉREZ FRANCO**  
**PRESENTE**

Manifestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción: Tesis, con el título "**BIODEGRADACIÓN DE TRIPAS DE CELULOSA DEL EMPAQUE DE SALCHICHA CON EL HONGO COMESTIBLE *Pleurotus columbinus***", para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director(a) de dicho trabajo al **Dr. Conrado Soto Velazco**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 28 de mayo, del 2012.



**DRA. TERESA DE JESÚS ACEVES ESQUIVIAS**  
**PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

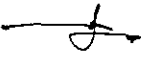
*Verónica Palomera Gto.*  
**M.C. VERÓNICA PALOMERA AVALOS**  
**SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

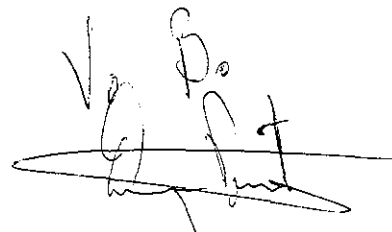
Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias.  
 Presidente del Comité de Titulación.  
 Licenciatura en Biología.  
 CUCBA.  
 Presente

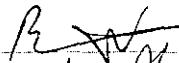
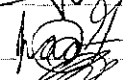


Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad TESIS E INFORMES, opción: TESIS, con el título: "BIODEGRADACIÓN DE TRIPAS DE CELULOSA DEL EMPAQUE DE SALCHICHA CON EL HONGO COMESTIBLE *Pleurotus columbinus*" que realizó el pasante EZEQUIEL EDUARDO PEREZ FRANCO con número de código 399402903 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente  
 Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, a 16 Enero del 2013.

Firma.   
 Nombre: Dr. Conrado Soto Velazco  
 Director del trabajo.



Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
Dr. Ramón Rodríguez Macías		24-01-2013
Dr. José Armando Arias García		24 01 2013
Biol. Sergio Fausto Guerra		24-01-13
M. en C. Isela Alvares Barajas		24-01-13

## AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la vida por haberme brindado la dicha de venir a este mundo, a mi madre Romelia Franco González y a mi padre Dr. Ezequiel Pérez Castellanos por haberme dado un estudio y una buena educación, a mis hermanos Paola y Luis y a todos mis familiares que confiaron en mí para que el día de mañana sea un biólogo y un ecologista comprometido con la naturaleza y el planeta.

A la Abogada. Lorena del Carmen Vázquez García por su apoyo y por la hermosa hija que me dio, a mi hija Regina Ayelén Pérez Vázquez por ser mi tesoro y mi motor en esta vida para seguir hacia adelante.

A mi gran casa de estudios que es la Universidad de Guadalajara, en particular al Centro Universitario de Ciencias Biológicas Agropecuarias por haber hecho de mí todo un individuo profesional para tomar carta en los asuntos futuros a tratar sobre el medio ambiente y por ser un biólogo comprometedor con nuestro planeta y el mundo que nos rodea.

A mi director de tesis el Dr. Conrado Soto Velazco por guiarme en el camino de la sabiduría y de la enseñanza y por todo su apoyo como amigo y compañero micólogo.

Al Dr. Ramón Rodríguez Macías por guiarme en cada momento de mi vida y de mi aprendizaje y por su amistad que me brinda como amigo y como maestro de la enseñanza.

Al Dr. José Armando Arias García por su gran enseñanza que me deja al haber aprendido mucho de él en sus artículos y publicaciones que leí para mi tesis de investigación.

Al Biol. Sergio Fausto Guerra por su apoyo y dirección en esta tesis y por aclararme las dudas y por su amista que me otorgada siempre.

A la M. en C. Isela Leticia Alvares Barajas por su gran apoyo en la revisión de este trabajo de tesis y por haberme facilitado todo material, artículo ó documento para afirmar más mi conocimiento en la elaboración de este trabajo y por todo el apoyo que me brindo. Gracias.

Al Ing. Jaime Gómez Castillo por haberme facilitado la tripa celulósica y por darme la idea para realizar este trabajo de investigación.

Al Dr. Mario Ruiz López por facilitarme todo material de laboratorio y por su apoyo incondicional y por su amistad, así mismo por introducirme en el fantástico y maravilloso mundo de los *Lupinus spp.*

Al Dr. Pedro Macedonio García López por su amistad y enseñanza y porque siempre está dispuesto a ayudar en todo.

Al Departamento de Botánica y Zoología de la Universidad de Guadalajara y a toda su gente por todo su apoyo incondicional que me brindo en todo momento para la realización de esta tesis.

# Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres por haberme dado la educación que tengo y por haberse sacrificado tanto para que yo pudiera estudiar y superarme en lo que ahora soy. A tí mamá por enseñarme a luchar por mis sueños y por estar siempre conmigo cuidándome y apoyándome y por todo lo maravilloso que me enseñaste en este camino mil gracias Romelia Franco González.

A tí papá, Dr. Ezequiel Pérez Castellanos por tus esfuerzos y por tus consejos y por dirigirme y guiarme en la vida. Y por enseñarme a ser todo un hombre. Gracias

A mis hermanos Paola Romelia y Luis Fernando y a mis familiares, tíos, tías, primos y amigos muchas gracias por confiar en mí y por su apoyo.

A Lorena del Carmen Vázquez García por darme la dicha y felicidad de ser papá y por todo su apoyo en la formación de esta tesis.

Y en especial dedico esta tesis a mi hija Regina Ayelen Pérez Vázquez por ser la fuerza que me impulsa en esta vida.

El presente  
trabajo de Investigación  
se desarrolló en el Departamento de  
Botánica y Zoología del Centro Universitario de  
Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la  
Universidad  
de Guadalajara  
bajo la revisión  
y dirección del  
Dr. Conrado Soto Velazco.

*\*Ser joven y no ser revolucionario es una contradicción hasta biológica\**

**Salvador Allende**

ÍNDICE.	Página
RESUMEN.	VII
1. INTRODUCCION.	1
1.1. Justificación.	2
1.2. Revisión de la literatura.	2
2. ANTECEDENTES.	3
2.1. Producción mundial y nacional de hongos.	3
3. CONCEPTOS GENERALES.	6
3.1 Generalidades morfológicas del hongo <i>Pleurotus columbinus</i> .	6
3.2. La capacidad que tiene <i>Pleurotus</i> spp. para consumir, degradar ó biodegradar diversos sustratos ó residuos.	7
3.3. Definición de celulosa.	8
3.4. Que es la degradación.	9
3.5. La importancia ecológica que tiene <i>Pleurotus</i> spp como bioremediador de diversos residuos industriales y agroindustriales.	10
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	11
5. HIPÓTESIS.	12
6. OBJETIVOS.	13
7. MATERIALES Y MÉTODOS.	14
7.1. Elaboración de inóculo ó "semilla".	15
7.2. Obtención de la tripa celulósica.	15
7.3. Pasteurización de los sustratos.	17
7.4. Inoculación del sustrato en sus diferentes mezclas.	18
7.5. Crecimiento, fructificación y recolección de carpoforos.	19
7.6. Calculo de la Eficiencia Biológica.	20
7.7. Calculo de la Tasa de Producción.	20
7.8. Análisis Químico Proximal de los Sustratos utilizados.	20
7.9. Determinación de Fibra Detergente Neutra y Fibra Detergente Acida.	20
7.10. Biodegradación de la materia seca de cada uno de los tratamientos.	21
8. RESULTADOS.	22
8.1. Colonización del sustrato.	22
8.2. Producción de Carpoforos.	23

<b>8.3. La Eficiencia Biológica de los tratamientos.</b>	<b>24</b>
<b>8.4. La Tasa de producción.</b>	<b>25</b>
<b>8.5. Biodegradación de la tripa celulósica por medio de <i>P. columbinus</i>.</b>	<b>26</b>
<b>8.6. Análisis químico proximal de los tratamientos.</b>	<b>28</b>
<b>8.7. Determinación de Fibra Detergente Neutra y Fibra Detergente Acida.</b>	<b>31</b>
<b>9. DISCUSIÓN.</b>	<b>36</b>
<b>10. CONCLUSIONES.</b>	<b>43</b>
<b>11. LITERATURA CITADA.</b>	<b>44</b>
<b>12. ANEXOS.</b>	<b>53</b>



## Biodegradación de tripas de celulosa del empaque de salchicha con el hongo comestible *Pleurotus columbinus*

### RESUMEN

Las empresas que producen embutidos tal como la salchicha, se enfrentan a la problemática de la disposición de residuos celulósicos que generan y que son denominados tripa celulósica. Las toneladas que se producen son muy difíciles de degradar de forma natural, ya que solo algunas bacterias y hongos celulolíticos las pueden bioconvertir para su incorporación a los ciclos naturales. Con el presente estudio se pretende que estos materiales sean biodegradados de una forma rápida y a la vez obtener un alimento para consumo humano. En este trabajo se demuestra que el micelio de *Pleurotus columbinus* tiene la capacidad de crecer sobre la tripa celulósica. La tripa celulósica fue mezclada con rastrojo de maíz (*Zea Mayz*), cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) y cascarilla de soya (*Glycine max*), por lo que se obtuvieron un total de cinco tratamientos, con la finalidad de determinar cómo se afecta la producción de carpofores y biodegradación de la tripa celulósica. Alrededor de los 18 a 30 días se obtuvo la colonización total de los tratamientos. La producción de hongos fue de 565 g hasta 1271 g por tratamiento. En cuanto a la eficiencia biológica se obtuvo la más baja para la tripa celulósica con un promedio de 38.91 % y le siguió el tratamiento 2 con 60.30 %. Con los tratamientos 3, 4 y 5 se obtuvieron las mayores con 86.99 %, 104.25 % y 92.75 % respectivamente. Del mismo modo la tasa de producción más baja fue para la tripa celulósica con 0.518 % y la más alta resultó para el tratamiento 5 con 1.564 %. El análisis químico proximal de los 5 tratamientos reveló como la tripa celulósica es alterada en su composición nutrimental en cuanto a la proteína cruda, extracto etéreo, la fibra cruda, las cenizas y el extracto libre de nitrógeno. También se determinaron las características de los componentes de la fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, celulosa, hemicelulosa y lignina. Con lo que corresponde a la biodegradación de la tripa celulósica se encontró una mayor biodegradación en los tratamientos T2 de 37.43 % seguido del T5 con un 33.39 % de biodegradación. En los demás tratamientos se obtuvo una menor biodegradación en T3 con 27.28 %, seguido por el T4 de 27.21 % y por último el T1 de 27.14 %. Se concluye que la tripa celulósica es apta para utilizarse como sustrato para el cultivo de *P. columbinus* e incluso para otros hongos comestibles aunque debe de ser suplementada con otros materiales lignocelulósicos. Del mismo modo la reducción de la materia seca una vez concluido el ciclo de cultivo ayuda a reducir el volumen y de este modo poder incorporar a la tripa celulósica a los ciclos naturales.

## 1. INTRODUCCION

Los primeros cultivos ó producción de *Pleurotus* spp. es una actividad relativamente reciente. Falck (1917) fue el primero en reportar el cultivo de este hongo en tocones y en troncos en Europa. Más tarde, Etter (1929) produjo cuerpos fructíferos en cultivos. Block, *et al.*, (1958; 1959) fueron los primeros en escribir un reporte detallado sobre el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en Estados Unidos, mientras que la primera explotación comercial de este hongo fue establecida en Europa, en los años setentas y se ha incrementado en las últimas cinco décadas. En el año de 1997 la producción de *Pleurotus columbinus* alcanzo el 14.2 % de la producción total en el mundo.

A pesar de que en México posee una tradición ancestral en el consumo de hongos comestibles es evidente el poco avance que se tiene en el cultivo de otras especies. Por lo que resulta lamentable que de los 13 géneros que se cultivan a nivel comercial en el mundo, solo 2 de ellos se cultivan en nuestro país (*Agaricus* spp. y *Pleurotus* spp.) y más lamentable aún, que éstos crecen de forma natural en los bosques de México y no son aprovechados como un recurso alimentario más (Martínez-Carrera *et al.*, 1984).

En México el cultivo de *Pleurotus ostreatus* inicio en 1974 en la población de Cuajimalpa. En algunas regiones estos hongos son conocidos popularmente como orejas blancas, orejas de palo, orejas de patancán, orejas de cazahuate y orejas de izote (Martínez-Carrera *et al.*, 1991A). El término "setas" se aplica comercialmente para referirse a los hongos del género *Pleurotus* spp.

El incremento en la popularidad del cultivo de estas especies de *Pleurotus* spp. es debido a la habilidad que tiene para crecer en una amplia variedad de materias primas agrícolas como aserrín, salvado de arroz, paja de arroz, hojas de guaje (*Leucaena* spp.), cascara de semillas, ramas de algodón, bagazos, hojas de caña, tallos, hojas y olote de maíz, pastos, cascara de arroz, lirio acuático, cereales o semillas entre otros (Quimio, 1986, Quimio *et al.*, 1990; Rodríguez, 1996 y Soto-Velazco *et al.*, 1998; 2006; Garzón y Cuervo, 2008).

En nuestro país el consumo de hongos comestibles y medicinales data de la época prehispánica, estas tradición ubicada principalmente en el centro del país, también está presente en algunas regiones del sureste del país, ya que el clima en estos lugares es templado y la vegetación local permiten la prosperidad de los hongos de manera natural y en estos lugares se les considera como un recurso muy apreciado a la alimentación (Guzmán, *et al.*, 1993).

## 1.1. Justificación

Algunos residuos industriales a los cuales no se les da un reciclado óptimo de uso ó disposición, generan toneladas de materia que solo van a dar a los basureros ocupando un gran volumen. Así mismo, surge una inquietud en cuanto a la reutilización de estos subproductos como la tripa celulósica utilizada en la elaboración de salchichas, y reutilizarla como sustrato para cultivar hongos comestibles y así poder biodegradar este residuo por medio de las enzimas del hongo *Pleurotus columbinus*.

## 1.2. Revisión de la literatura

*P. columbinus* crece de forma natural en distintos sustratos y puede ser una alternativa para el reciclaje de residuos lignocelulósicos a través de su cultivo, ya que usa su sistema lignolítico para la bioconversión de desechos agrícolas en proteína comestible (Poppe y Hofte., 1995). Esto ha permitido reducir la masa de los desechos de tipo urbano y agro-industrial que contienen celulosa, lignina y azúcares como nutrientes para el cultivo de hongos (Delfin-Alcalá y Durán-De-Bazúa 2003; Pérez-Merlo y Mata, 2005; Vega *et al.*, 2005)

Algunas investigaciones se han enfocado a la biodegradación de diversos subproductos agro-industriales é industriales y a la reutilización energética de diversos residuos para los cultivos de hongos comestibles, como es el caso de *P. ostreatus* cultivado con residuos forestales, y realizaron estudios de la composición química de los sustratos antes y después de las cosechas (Valneros *et al.*, 2010). Por otro lado *P. columbinus* tienen una amplia capacidad de degradar ó consumir un gran número de materiales orgánicos para desarrollarse (Quimio, 1986, Quimio *et al.*, 1990; y Soto-Velazco *et al.*, 1998; 2006).

México es pionero en el cultivo de *Pleurotus* spp. y su actividad dio inicio en los años 90's, desde entonces el interés por su propagación y consumo ha ido en aumento, debido a la facilidad del cultivo de este hongo (Martínez-Carrera, 1997; Leal-Lara, 1998). Su tecnología de producción se basa en el uso de residuos agroindustriales como sustratos, permitiéndole aprovechar la energía que estos contienen en la producción de hongos y aminorar los problemas que ocasiona su acumulación (Martínez-Carrera *et al.*, 1992).

Otros materiales generados como desecho en la industria textil y alimentaria pueden ser reutilizados en el cultivo de hongos y así poder aprovechar más las alternativas que se enfoque a la recuperación energética de varios subproductos (Cerdeña, 1998) y su alto contenido de carbono lignocelulósicos (Bonatti *et al.*, 2004), resultaría interesante explorar las posibilidades de uso de

estos residuos como sustrato y poder evaluar el efecto del crecimiento de los hongos *Pleurotus* spp. sobre la composición química y digestibilidad de los sustratos, ya que los hongos disminuyen la materia seca del rastrojo hasta un 70% (Soto-Velazco, 1998).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Producción mundial y nacional de hongos.

La producción de hongos comestibles inicio como una tecnología de cultivo artesanal, basada en técnicas sencillas de propagación, hace aproximadamente 1,000-1,400 años en China, con el cultivo empírico de *Auricularia* spp. y de *Lentinula edodes*. Francia comenzó hace aproximadamente 350 años con el cultivo de *Agaricus* spp. (“champiñón”) y recientemente con *Pleurotus* spp. (“setas”) (Martínez-Carrera, 2010; Chang y Miles, 2004). Este último alcanzado una producción mundial de  $1 \times 10^6$  ton/año (Martínez-Carrera *et al.*, 2007).

#### 2.1.1. Primeros cultivos en México.

México es pionero en el cultivo de setas y en América Latina dicha actividad inició en la década de los 90's, desde entonces el interés por su propagación y consumo ha ido en aumento, debido a la relativa facilidad de su cultivo (Martínez-Carrera, 1997; Leal-Lara, 1998). México produce cerca de 4 mil toneladas de setas anualmente, lo cual equivale aproximadamente al 60 por ciento de la producción total de América Latina. Martínez-Carrera *et al.*, (2002) reporta que México produce cerca de 62 mil toneladas anuales de producción comercial de hongos. Por esta razón se ha considerado a este país como el principal productor de América.

#### 2.1.2. Reseña histórica sobre el Cultivo de *Pleurotus* spp. en Jalisco.

En Jalisco comenzó el cultivo de *Pleurotus* a principios de 1987 con el impulso del Laboratorio de Cultivo de Hongos Comestibles perteneciente al Instituto de Botánica. De aquí surgieron los primeros cultivadores que tenían el fin de comercializar el producto obtenido (Guzmán-Dávalos y Soto-Velazco 1989).

Jalisco fue uno de los primeros estados en donde se establecieron plantas productoras comerciales de setas. La primera planta productiva comercial de setas surgió a fines de 1988 en el bosque “La Primavera”, municipio de Zapopan, bajo la supervisión del propietario Javier Caraballo, que fue asesorado por la Universidad de Guadalajara. Mantuvo su producción hasta 1991 con un promedio de 10 k/día.

A principios de 1989, el Ing. Guillermo Márquez Rave, proveniente de Washington, inició el cultivo en una bodega de Guadalajara, con una producción de 50 k/día, la cual funcionó hasta abril de 1992, ya que debido a las explosiones de gas que ocurrieron en la zona de Gante y Analco la bodega se debilitó y tuvo que ser demolida.

En el medio rural también se inició el cultivo en diferentes localidades, tales como Setas de Cuxpala, Pacana, Cd. Guzmán, Tamazula, Ixcatán, Tepatlán, Ahualulco de Mercado, para abastecer el mercado local de la zona metropolitana de Guadalajara y con el apoyo de la Universidad de Guadalajara se han establecido otras plantas de producción, como en el ejido Emiliano Zapata de Tepic, Nayarit y en Zitzio, Michoacán (Soto-Velazco, 2007).

Este interés fue propiciado principalmente por la Universidad de Guadalajara al difundir las propiedades nutritivas de los hongos como alimentos no convencionales a través de las exposiciones micológicas que se realizaban año con año en el centro de Guadalajara, de esta forma se fue creando un campo propicio entre los asistentes para iniciar el cultivo de setas.

### **2.1.3. Substratos y mezclas que se han utilizado para el cultivo de *Pleurotus*.**

*Pleurotus* spp. tiene una gran habilidad para crecer en una amplia variedad de materias primas agrícolas; puede ser producido sobre distintas mezclas y/o substratos como rastrojo de maíz, rastrojo de arroz, aserrín, salvado, hojas, cortezas, tocones, olote de maíz, cascara y pulpas de semillas, pulpa de café secada al sol y pasteurizada, (Soto-Velazco, 1986; Bermúdez *et al.*, 1994), ramas de algodón, bagazos, pastos, lirios acuáticos, cartón, papel periódico, productos textiles, (Quimio *et al.*, 1990; Mata y Martínez-Carrera, 1998). También se pueden utilizar mezclas de pericarpio de palma de aceite con cascara de nuez y rastrojo de maíz (Akinyele y Adetuyi, 2005) (Fig. 1).

La especie de *Pleurotus* spp. son consideradas entre las más capaces para degradar la lignina. Después de cosechar los carpóforos, la celulosa y la lignina del substrato se reduce en un 80% (Zadrazil, 1997).

Estos y otros substratos pueden ser utilizados de acuerdo a su disponibilidad en cada región, el cual puede ser un substrato satisfactorio para cultivar la especie *Pleurotus* spp. (Rodríguez, 1996 y Soto-Velazco *et al.*, 1998).



Figura 1. Diversos substratos que pueden ser utilizados en los cultivos de *Pleurotus* spp.

#### **2.1.4. Aprovechamiento de residuos agro-industriales en el cultivo de *Pleurotus* spp.**

El cultivo de hongos comestibles en la actualidad es una iniciativa para el desarrollo del sector alimenticio, lo cual surge como una alternativa de aprovechamiento de estos substratos, ya que esta implementada hacia la recuperación energética de estos residuos lignocelulósicos (Cerde, 1998). Sin embargo, considerando su alto contenido en fuentes de carbono lignocelulósicos (Bonatti *et al.*, 2004), resultaría interesante explorar las posibilidades de uso de estos residuos como substrato para el cultivo y producción de hongos comestibles y así poder darle un aprovechamiento y un mejor manejo a los residuos del substrato degradado por hongos para utilizarlos en el campo como materia orgánica ó composta en los diversos cultivos agrícolas ó bien como remediadores de suelos ó para alimento de ganado, ya que contienen un mayor contenido proteínico comparado con el substrato original. (Zadrazil, 1997, 1980, 1984; Rolz, 1984).

### 3. CONCEPTOS GENERALES.

#### 3.1 Generalidades morfológicas del hongo *Pleurotus columbinus*.

La posición taxonómica de *P. columbinus* se describe en el Cuadro 1. En cuanto a la morfología se observa en la fig. 2. El borde del hongo es convexo al principio, e incurvado. Sombrero carnoso, convexo o casi aplanado, en forma de lengua, concha ó abanico, de 5-25 cm. Laminas decurrentes, anchas, espaciadas, desiguales, blanquecinas. Las esporas pueden ser pálidas, con cierto tono gris rosado-liliáceo, oblongas, casi cilíndricas, de 8-11 x 3-4,5 micras. La carne es blanca, gruesa, tierna de joven, de olor y sabor agradable, y comestible. El pie es corto, lateral, grueso, a medida casi nula, firme, blanca, generalmente con la base aterciopelada. Crece en grupos, formando a veces voluminosos conjuntos, casi todo el año, sobre tocones y troncos, sobre todo de frondosas. La variedad *columbinus* prefiere los tocones de coníferas.

Reino	Fungí
Subdivisión	Basidiomycotina
Clase	Homobasidiomycetes
Orden	Agaricales
Familia	Tricholomataceae
Genero	<i>Pleurotus</i>
Especie	<i>Columbinus</i>

Cuadro 1. Ubicación taxonómica de *Pleurotus columbinus* Quéll.



Figura 2. Características morfológicas en su etapa madura de *P. columbinus* (Jack.: Fr.).

### 3.1.1. Ciclo biológico de *Pleurotus columbinus*

El ciclo biológico de *Pleurotus* es la formación de nuevos individuos con características típicas de la especie. La reproducción puede ser sexual y/o asexual, a esta última también se le conoce como somática o vegetativa, debido a que no involucra fusión de núcleos, también se puede dar por fragmentación del micelio, el cual al colocarse bajo condiciones adecuadas dan origen a nuevos individuos (Herrera y Ulloa, 1990). En otro caso el micelio da origen a esporas asexuales por división mitótica (Hawksworth *et al.*, 1983). La reproducción sexual implica somatogamia (unión de hifas o gametos), cariogamia (fusión de núcleos) y la producción de gametos por meiosis. La reproducción sexual en los hongos permite la variación genética y capacita a las especies para ocupar nuevos nichos o sobrevivir a condiciones adversas y les permiten tener una vida más larga que aquellos que solo se reproducen asexualmente (Stamets, 1993B; Alexopoulos, 1996; Herrera y Ulloa, 1990), (Fig. 3).

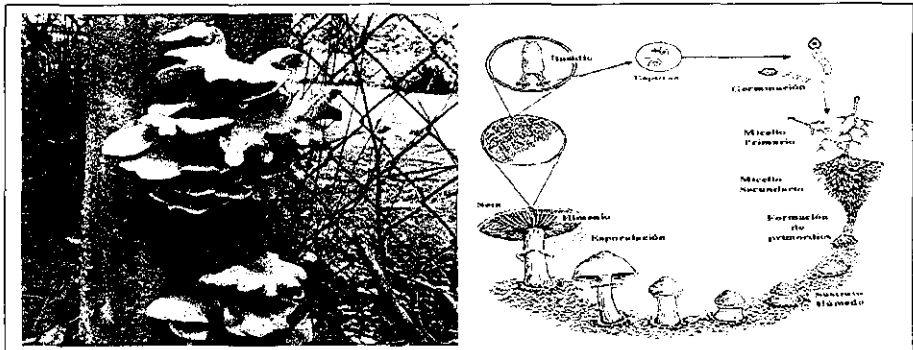


Figura 3. Ciclo biológico de *P. columbinus*

### 3.2. La capacidad que tiene *Pleurotus* spp. para consumir, degradar ó biodegradar diversos substratos ó residuos.

*Pleurotus columbinus* puede consumir diversos substratos desde pajas de cereales, tocones, aserrín de diversas árboles frondosos, papel, cartón, telas y un gran número de subproductos agro-industriales. Puede metabolizar los residuos de estos substratos, como también puede metabolizar los residuos tóxicos y peligrosos en azúcares no tóxicos, esta especie se utiliza incluso para ayudar a limpiar los derrames de petróleo en tierra y ayudar a limpiar la radiactividad en los suelos y las aguas (Lloyd y Macaskie, 2000).



El hongo *Pleurotus* spp. es biorremediador de espacios contaminados con hidrocarburos y tiene la capacidad de acumular en su estructura celular por medio del micelio, diferentes metales pesados, siempre que no rebasen su límite de tolerancia (Gadd, 1993), interactuando mediante mecanismos de extracción, estabilización, bioabsorción, bioacumulación, biomineralización y biotransformación (Lloyd y Macaskie, 2000).

Los hongos de pudrición blanca como *Pleurotus* spp., son capaces de degradar pesticidas altamente tóxicos y químicos xenobioticos, herbicidas como la atrazina (Masaphy *et al.*, 2005). *Pleurotus* es capaz de mineralizar el DDT, (Bumpus *et al.*, 1985; 1987; y 1989; Higson, 1991), y los hidrocarburos poliaromáticos (Lang *et al.*, 1997; Novotny *et al.*, 1999; 2000 y 2004).

### **3.3. Definición de celulosa.**

La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante en la naturaleza, ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre. También es el principal componente químico y estructural de la madera. La celulosa es un polímero lineal, cuya fórmula es  $(C_6 H_{10} O_5)$  es un polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa; es un homopolisacárido (compuesto por un solo tipo de monosacáridos); es rígido, insoluble en agua, y contiene de cientos a miles de unidades de  $\beta$ -glucosa (Franco-Bozzalla, 2010).

#### **3.3.1. Definición de Celulosa Industrial.**

La celulosa industrial ó también llamada tripa celulósica de empaque de salchicha es un material permeable diseñado para el cocimiento con vapor de embutidos como son las salchichas. El producto está diseñado para el manejo de alimentos por lo cual no cuenta con ingredientes tóxicos. La resistencia de este material hace de lenta integración al medio ambiente (Gómez, 2010).

La tripa celulósica es una película tubular de polímero de celulosa regenerada, con un espesor de pared que van desde aproximadamente 0,025mm a 0,076 mm y fabricada en diámetros alrededor de 14,5 mm a 203 mm.

Este tipo de celulosa aunque es de origen vegetal, no se puede tratar como la celulosa para hacer papel ó cartón, ya que su proceso de formado es químicamente diferente al proceso de hacer cualquier tipo de papel reciclado (Nicholson *et al.*, 2010).

### **3.3.2. Extracción y fabricación de la tripa celulósica.**

La tripa celulósica se fabrica extrayendo de árboles de pino y maple celulosa pura regenerada, la cual pasa por un proceso fino a través de químicos con el fin de cambiar su composición física y dar la propiedad de un material firme, flexible y altamente resistente, para el cocimiento al vapor de las salchichas (VISCOFAN 2010; Gómez, 2010).

### **3.3.3. Fabricante de tripa celulósica.**

VISCOFAN (2011) es fabricante de las tripas celulósicas con número de registro sanitario de industrias alimentarias, por lo que dicen que la composición básica de sus productos son los siguientes: 65% de celulosa regenerada pura, 18% de glicerina grado alimenticio, 15% de agua y 2% de aceite mineral blanco, grado alimenticio, por lo tanto no hay ingredientes tóxicos en la fórmula de las tripas celulósicas.

## **3.4. Que es la degradación.**

Degradación química: es un conjunto de reacciones químicas que suceden en una serie de etapas progresivas a través de un compuesto orgánico transformándolo en otros más sencillos. Degradación física es la transformación de la energía de una forma a otra menos apta para producir un trabajo mecánico y con carácter irreversible.

### **3.4.1. Que es la biodegradación.**

La biodegradación es un proceso natural por el que determinadas sustancias, pueden ser descompuestas con cierta rapidez en sus ingredientes básicos, debido a la acción de bacterias, levaduras y otros hongos microscópicos existentes en el suelo y las aguas.

### **3.4.2. Factores que intervienen en el proceso de la biodegradación.**

Son múltiples los factores que intervienen en la biodegradación como, los hongos, bacterias y microorganismos aerobios y anaerobios como también la temperatura, la humedad relativa del ambiente, la acidez del medio (pH), la disponibilidad del oxígeno y la luz, ya que el óptimo grado de estos factores favorecerán las condiciones para una mejor biodegradación (Montero-Pereda, 2008).

### **3.4.3. Degradación por hongos.**

Los hongos maderables de la llamada "podredumbre blanca", con sus enzimas ligninolíticas degradan una diversidad de polímeros orgánicos complejos, algunos contaminantes ambientales con una estructura química similar a la lignina, esto como una estrategia de biorremediación en la recuperación de recursos naturales (Montero-Pereda, 2008).

### **3.5. La importancia ecológica que tiene *Pleurotus* spp como bioremediador de diversos residuos industriales y agroindustriales.**

La importancia ecológica de esta actividad, radica en la utilización y reciclaje acelerado de residuos utilizados como sustrato, (Chang, 1999; Kues y Liu, 2000) que puede ser a través del cultivo de *Pleurotus* spp. ya que usa su sistema ligninolítico para la bioconversión de desechos agrícolas, agroindustriales y forestales en proteína comestible. Esto ha permitido el aprovechamiento de diversos materiales agroindustriales (Pérez-Merlo y Mata, 2005; Vega *et al.*, 2005).

#### 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diversas industrias alimenticias generan miles de toneladas de desechos en sus procesos de producción. Una de ellas es la industria de embutidos, donde se desechan residuos de carne, grasa, plástico y envoltura de cocimiento, esta última llamada tripa celulósica.

La salchicha es generada de una pasta de carne, misma que es embutida en tripa celulósica con el fin de cocer el material en una forma permeable a través de un horno para solidificar y dar la característica de la forma que todos conocemos. El proceso de horneado de la salchicha dura, tan solo unos minutos y al pasar por el cocimiento de vapor, la celulosa es retirada de la salchicha generando un desecho con el 75% de humedad y residuos de salchicha (Gómez, 2010).

La tripa celulósica es una materia prima permeable diseñada para el cocimiento con vapor de embutidos como son la salchicha, el producto está diseñado para el manejo de alimentos por lo cual no cuentan con ingredientes tóxicos. La resistencia del material hace de lenta integración al medio ambiente. Este material se extrae como celulosa a partir de árboles de pino y maple, la cual es pasada por un proceso fino a través de químicos con el fin de cambiar su composición física y dar la propiedad de un material firme, flexible y altamente resistente (Nicholson, 2006).

Se calcula que en México, se generan alrededor de 150 tn de tripa celulósica mensuales, las cuales son tiradas en rellenos sanitarios sin ningún tratamiento, por lo que después de destaparlos se observa que la tripa celulósica está prácticamente intacta. Esto ocasiona que se generen microorganismos inoocuos y patógenos debido a la presencia de residuos de grasa y carne del embutido. Por tal motivo se pretendió utilizar la tripa celulósica para el cultivo de *P. columbinus*, con la finalidad de darle un pretratamiento de biodegradación y disponerla de una manera más accesible al medio ambiente y a la vez obtener cosechas de hongos para su utilización como alimento humano.

## 5. HIPÓTESIS

*Pleurotus columbinus* se cultiva sobre diversos materiales lignocelulósicos, por lo que tendrá la capacidad de biodegradar la tripa celulósica del empaque de salchicha y formar cuerpos fructíferos.

## 6. OBJETIVOS

### General

Conocer si el hongo *Pleurotus columbinus* biodegrada la tripa celulósica del empaque de salchichas para acelerar su descomposición en la naturaleza.

### Específicos

1. Demostrar si el micelio de *P. columbinus* crece sobre la tripa celulósica.
2. Evaluar la eficiencia biológica y tasa de producción de *P. columbinus* sobre diferentes mezclas de tripa celulósica y suplementos.
3. Estimar el porcentaje de degradación de la tripa celulósica por el hongo *P. columbinus*.
4. Conocer el efecto de *P. columbinus* en la composición químico proximal de la tripa celulósica.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Departamento de Botánica y Zoología de la División de Ciencias Biológicas y Ambientales del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. La tripa celulósica se obtuvo de la empresa Capistrano, S. A. de C. V., que fabrica embutidos en la ciudad de Celaya, Guanajuato. El desarrollo se indica en la fig. 4.

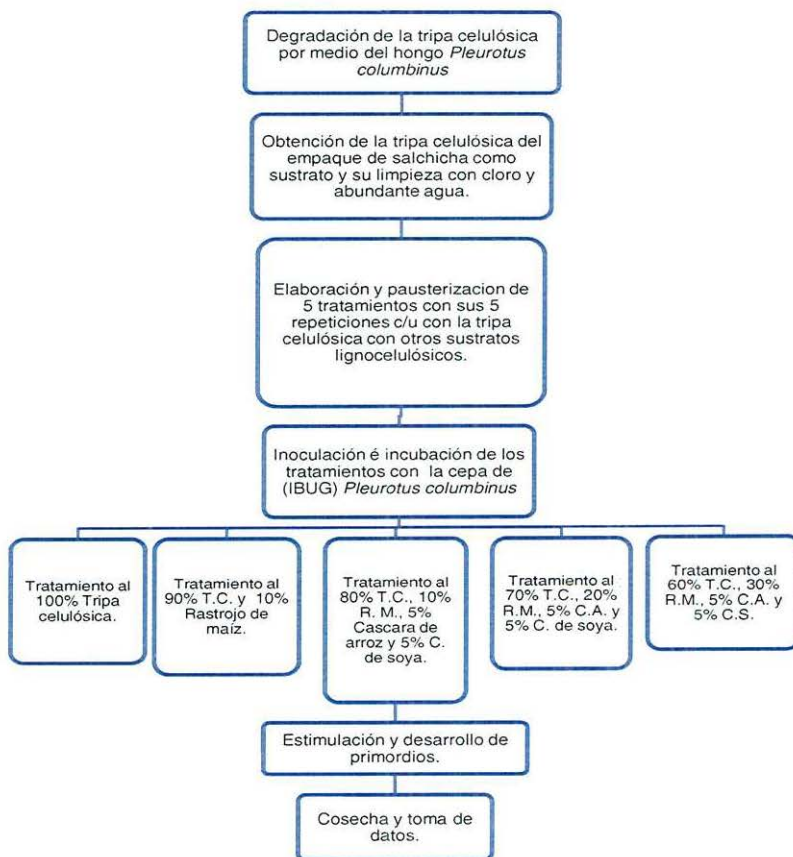


Figura 4. Diagrama de flujo para el cultivo de *P. columbinus* en mezcla de tripa celulósica con otros suplementos lignocelulósicos.

## 7.1. Elaboración de inóculo ó “semilla”.

El inóculo se elaboró con la especie de *P. columbinus* sobre granos de sorgo (*Sorghum* spp.) y la cepa que se utilizó es de origen comercial de la empresa “Setas cultivadas” de la ciudad de Toluca. Los granos de sorgo fueron previamente lavados y esterilizados y colocados en bolsas de polipropileno. Posteriormente fueron inoculados dentro de una campana de flujo laminar. El inóculo estuvo listo en un plazo de 15-28 días aproximadamente (Fig. 5).



Figura 5. Elaboración de inóculo de *P. columbinus* en bolsas con 3 k de sorgo húmedo.

## 7.2. Obtención de la tripa celulósica

La tripa celulósica es fabricada por VISCOFAN y es utilizada por la empresa Grupo Capistrano Alimentari de Celaya, Celaya, Guanajuato y fue proporcionado más de 90 k por el Ing. Jaime Gómez Castillo de la empresa Capistrano.

### 7.2.1. Tratamiento preliminar de la tripa celulósica

Con la finalidad de evitar la contaminación con algunos hongos ó bacterias que crecen en los residuos de salchicha, la tripa celulósica se dejó en agua con cloro al 20 %, en un tanque metálico de 200 litros durante dos días. Posteriormente se enjuagó con abundante agua, para eliminar los restos de cloro residual en el sustrato (fig. 6).

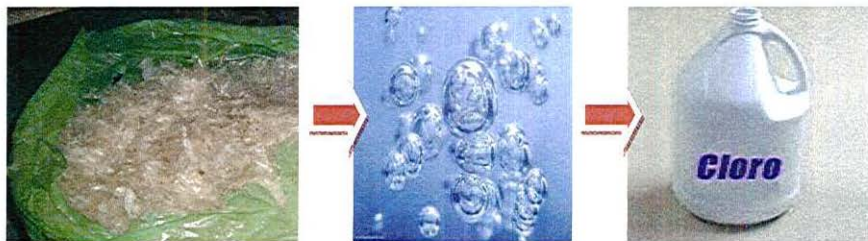


Figura 6. Pretratamiento de la tripa celulósica del empaque de salchichas.



### 7.2.2. Elaboración de mezclas de la tripa celulósica con otros ingredientes

Con la finalidad de enriquecer la tripa celulósica, ya que carece de nitrógeno proteínico se mezcló con los siguientes materiales (Figura 7): rastrojo de maíz (*Zea mays*), cascarilla de soya (*Glicine max*), y cascarilla de arroz (*Oryza sativa*). Las mezclas se realizaron con base en su peso seco, de acuerdo con las siguientes formulaciones (Cuadro 2).



Figura 7. Substratos utilizados de izquierda a derecha: rastrojo de maíz, tripa celulósica, cascarilla de soya y cascarilla de arroz para cultivar *P. columbinus*.

Tratamientos	Tripa celulósica (%)	Rastrojo de maíz (%)	Cáscara de soya (%)	Cáscara de arroz (%)
T1	100	0	0	0
T2	90	10	0	0
T3	80	10	5	5
T4	70	20	5	5
T5	60	30	5	5

Cuadro 2. Porcentajes de los substratos para la realización de las mezclas.

### 7.3. Pasteurización de los substratos.

Una vez realizadas las mezclas de cada tratamiento, el substrato se pasteurizó con un procedimiento térmico descrito por Guzmán *et al.*, (1993) con la finalidad de eliminar ó detener el crecimiento de diversos organismos competidores tales como bacterias, mohos y hongos, que pueden inhibir el crecimiento de *P. columbinus*. Esto fue realizado en un tambo metálico de 200 l llenado a  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad con agua a 80 °C. El substrato se colocó en una canasta de malla metálica, para posteriormente sumergirlo durante 45 min (Soto-Velazco y Arias, 2004). Después de transcurrido el tiempo se sacó la canastilla y se dejó escurrir por unos 15 minutos y luego se vació para su enfriamiento a una mesa previamente desinfectada con alcohol (Fig. 8).



Figura 8. Inmersión de los substratos en un tambo metálico con agua caliente a 80°C para eliminar organismos competidores que pudieran desplazar el micelio de *P. columbinus*.

#### 7.4. Inoculación del sustrato en sus diferentes mezclas.

Una vez que se enfrió cada sustrato, cada tratamiento fue separado en 5 porciones de 4 k en peso húmedo. Cada porción será inoculada con 4% de inóculo. La inoculación (Fig. 9), se realizó en capas en bolsas transparentes de polietileno de 40 x 60 cm. Cada bolsa se consideró como una repetición de los 5 tratamientos con cinco repeticiones cada uno. En todos los casos se utilizó un diseño completamente al azar y la comparación de medias fue con la prueba de DMS con una probabilidad de 5 %.

Para calcular la cantidad necesaria de inóculo de *P. columbinus*, se hizo la siguiente regla de tres, por lo que se obtuvo el resultado de 160 g por bolsa.

$$\begin{array}{rcl} 4 \text{ k} & \text{---} & 100 \% \\ X & \text{---} & 4 \% = 160 \text{ g} \end{array}$$



Figura 9. Llenado de las bolsas con la tripa celulósica mezclada con otros materiales lignocelulósicos en sus diferentes porcentajes.

## 7.5. Crecimiento, fructificación y recolección de los carpoforos.

Las bolsas se colocaron en incubación sobre estantes metálicos en un cuarto limpio, en penumbra y con temperatura ambiental entre 25° a 28° C. Al día siguiente de la siembra, a las bolsas se les hicieron pequeñas perforaciones con una navaja limpia, para favorecer la respiración del hongo. Dentro de los siguientes tres días, las bolsas se revisaron diariamente con la finalidad de observar la adaptación y crecimiento del micelio, lo cual se observa como una masa blanquecina que crece alrededor del grano de sorgo y del substrato. Las bolsas se mantuvieron en el área de incubación hasta que el micelio cubrió todo el substrato. Durante este tiempo se realizaron revisiones periódicas de los tratamientos, para detectar cualquier posible contaminación por bacterias, hongos, mohos, mosquitas, catarinas u otros insectos.

Una vez que el micelio invadió totalmente el substrato y se observaron pequeños primordios sobre las bolsas, estas fueron trasladadas al cuarto de fructificación para el desarrollo de estos hasta su maduración. Las condiciones ambientales para la fructificación se hicieron de acuerdo a Soto-Velazco y Arias (2004). La humedad se incremento hasta un 90 %, la velocidad de intercambio gaseoso fue de 4 recambios por hora y la intensidad de luz fue de acuerdo a la luz solar de un día normal durante 12 horas.

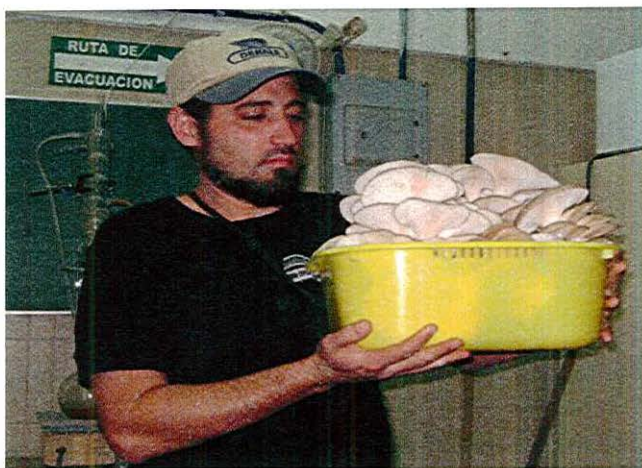


Figura 10. Los carpoforos se cosecharon y se pesaron para su posterior evaluación.

## 7.6. Calculo de la Eficiencia Biológica

Para calcular el rendimiento real de hongos producidos por cada uno de los tratamientos, se utilizó la formula de Eficiencia biológica (EB), propuesta como una medida real de los hongos cosechados (Tschierpe y Hartmann 1977) y se calcula con la formula siguiente:

$$E.B. = \frac{\text{Peso fresco de los hongos}}{\text{Peso seco del sustrato}} \times 100$$

## 7.7. Calculo de la Tasa de Producción

La tasa de producción nos indica la EB diaria desde que se inoculo hasta la obtención de la última cosecha, lo cual es un factor importante para conocer si un sustrato es eficiente para cultivar los hongos, se calculo de acuerdo a lo propuesto por Royse (1998) y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de producción} = \frac{\text{Eficiencia Biológica}}{\text{Número de días desde la inoculación hasta la cosecha final}}$$

## 7.8. Análisis Químico Proximal de los Substratos utilizados

Con la finalidad de determinar como el micelio de *P. columbinus* modifica la composición nutrimental de la tripa celulósica, se realizaron los siguientes análisis: Proteína cruda (N X 6.25) (AOAC 954.04), Extracto etéreo (AOAC 954.02), Cenizas (AOAC 942.05), Fibra cruda (AOAC 962.09) y el Extracto libre de nitrógeno (por diferencia). Las muestras que se analizaron fueron en tripa celulósica sin inocular con el micelio de *P. columbinus* (T0) y del sustrato residual después de la última cosecha del hongo en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5.

## 7.9. Determinación de Fibra Detergente Neutra (FDN) y Fibra Detergente Acida (FDA).

Debido a que la tripa celulósica contiene un alto porcentaje de celulosa se procedió a la determinación de esta, con la finalidad de saber cómo afecta el crecimiento de *P. columbinus* sobre este componente. Se realizaron los siguientes análisis: FDN (AOAC 973.18), FDA (AOAC 973.18), celulosa (por calculo), hemicelulosa (por calculo) y lignina (AOAC 973.18). Las muestras que se analizaron fueron en tripa celulósica sin inocular con el micelio de *P. columbinus* (T0) y del sustrato residual después de la última cosecha del hongo en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5.

### 7.10. Biodegradación de la materia seca de cada uno de los tratamientos

El porcentaje de degradación de la materia seca se midió con base en las siguientes fórmulas:

$$\text{Sustrato remanente (X)} = \frac{\text{Pr} \times 100}{\text{Pi}}$$

$$\text{Porcentaje de Biodegradación} = X - 100$$

Donde:

Pi = peso seco inicial

Pr = peso seco residual

## 8. RESULTADOS.

### 8.1. Colonización del sustrato.

Se pudo observar el crecimiento del micelio lo cual representa una adaptación a la tripa celulósica en el tratamiento al 100 % (T1), ya que se observó que el micelio al tercer día de la inoculación alcanzaba 0.5 cm de diámetro. En el caso del tratamiento al 90 % (T2) se observó un crecimiento similar. En los tratamientos T3, T4 y T5 el diámetro del crecimiento del micelio fue de 1 cm al tercer día. En estos últimos se obtuvo un periodo de colonización total de 18 a 20 días. En los tratamientos T1 y T2 se tuvo en un periodo de 30 días.

La primera formación de los primordios ocurrió a los 36 días después de la incubación en los tratamientos T3, T4 y T5 y la cosecha se realizó a los 41 días. En el caso de los tratamientos T1 y T2 los primordios se formaron hasta los 41 días y se cosecharon a los 46 días. La segunda formación de los primordios ocurrió a los 64 días en los tratamientos T3, T4 y T5 y la cosecha se realizó a los 69 días. En el caso de los tratamientos T1 y T2 los primordios se formaron a los 69 días y la cosecha se realizó a los 74 días (cuadro 3).

Tratamientos	*F. P. (días)	1er cosecha (días)	*F. P. (días)	2da cosecha (días)
T1	41	46	69	74
T2	41	46	69	74
T3	36	41	64	69
T4	36	41	64	69
T5	36	41	64	69

Cuadro 3. El periodo en días en la formación de primordios y cosechas obtenidas en los cinco tratamientos.

\*F. P. = Formación de primordios.

## 8.2. Producción de Carpofofos

El análisis de varianza de los hongos cosechados por tratamiento (anexo 1), revelo que existen diferencias significativas entre los tratamientos. La comparación de los promedios (DMS  $P > 0.05$ ) indico que se forman dos grupos entre tratamientos. En tabla 1 y gráfico 1 se muestra que el mayor resultado de producción de carpofofos lo obtuvieron el T5 con una promedio de 1271 g, seguido de los T4 con un 1247 g, acompañado del T3 con un 1123 g. El segundo grupo formado fue con el T2 con 752 y T1 con 565 g siendo este el más bajo de todos los tratamientos.

### Contraste Múltiple de Rango para Producción según Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje DMS = Diferencia mínima significativa

Tratamiento	Frecuencia	Promedio (g)	Grupos homogéneos
1	4	565	X
2	4	752	X
3	4	1123	X
4	4	1247	X
5	4	1271	X

Tabla 1. Promedios de los 5 tratamientos de acuerdo a la producción obtenida de carpofofos de *P. columbinus*.

En el cuadro 4 se observa la obtención de la primera y segunda cosecha de *P. columbinus* como su total en (g) y sus promedios de carpofofos obtenidos.

Tratamientos	Primer cosecha (g)	Segunda cosecha (g)	Total (g)	Promedios
T1	1612.1	647.8	2260	565
T2	1974.5	1034.8	3009	752
T3	3250.8	1241.4	4492	1123
T4	3549.7	1438.9	4988.6	1247
T5	3797.8	1284.6	5082.4	1271

Cuadro 4. Se muestra la producción de carpofofos de las dos cosechas de *P. columbinus*.



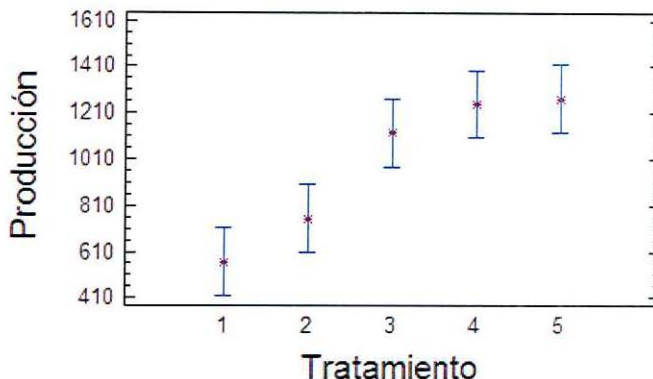


Gráfico 1. Comparación de los promedios de los 5 tratamientos de acuerdo a la producción de carpoforos ( $P > 0.05$ ).

### 8.3. La Eficiencia Biológica (EB) de los tratamientos

El análisis de varianza para la eficiencia biológica mostró que existen diferencias significativas entre los tratamientos (anexo 2). En la tabla 2 y gráfico 2 se observa la formación de dos grupos con los datos promedio de la eficiencia biológica, donde el primer grupo fue con el T4 el cual obtuvo un 104.25 %, seguido del T5 con un 92.76 %, en menor escala el T3 con un 86.99 %. El segundo grupo lo formaron los tratamientos T2 y T1 en los que se obtuvo una menor con 60.31 % y 38.91 % respectivamente siendo este último dato la menor EB.

Contraste Múltiple de Rango para Eficiencia biológica según Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje DMS = Diferencia mínima significativa.

Tratamiento	Frecuencia	Promedio (%)	Grupos homogéneos
1	5	38.91	X
2	5	60.31	X
3	5	86.99	X
5	5	92.76	X
4	5	104.25	X

Tabla 2. Promedios de los 5 tratamientos de acuerdo a la eficiencia biológica obtenida de *P. columbinus*.

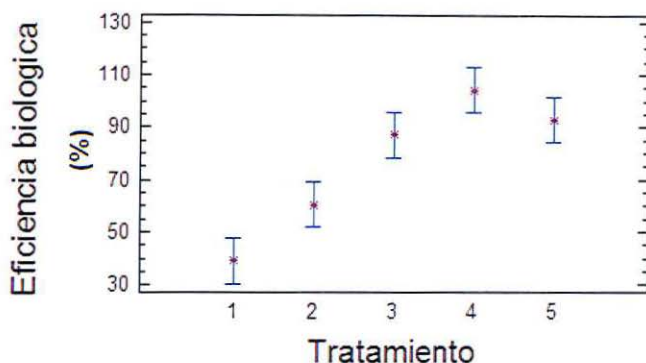


Gráfico 2. Comparación de los promedios para la eficiencia biológica de *P. columbinus* en los 5 tratamientos ( $P > 0.05$ ).

#### 8.4. La Tasa de producción (TP)

El análisis de varianza para la Tasa de Producción de los tratamientos (anexo 3), reveló diferencias significativas en los resultados. La comparación de los promedios mostro la formación de cinco grupos en los que la mayor TP fue en el T5 con un 1.564 %, y seguido del T4 con un 1.445 %, acompañado por los T3 con un 1.191 %, y el T2 con un 0.919 %, el menor fue el T1 con un 0.518 % (tabla 3 y gráfico 3).

#### Contraste Múltiple de Rango para Tasa de producción según Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje DMS.= Diferencia mínima significativa.

Tratamiento	Frecuencia	Promedio (%)	Grupos homogéneos
1	5	0.518	X
2	5	0.919	X
3	5	1.191	XX
4	5	1.445	XX
5	5	1.564	X

Tabla 3. Promedios obtenidos en la tasa de producción de los 5 tratamientos ( $P > 0.05$ ).

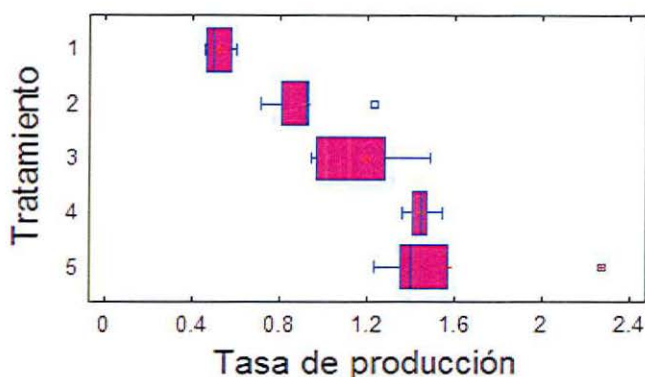


Gráfico 3. Comparación de los promedios para la tasa de producción de *P. columbinus* en los 5 tratamientos ( $P > 0.05$ ).

### 8.5. Biodegradación de la tripa celulósica por medio de *P. columbinus*

El análisis de varianza de la biodegradación en los 5 tratamientos (anexo 4), reveló que existen diferencias significativas entre ellos. La comparación de los promedios indicó la formación de dos grupos homogéneos en los que la degradación más alta ocurrió en los T2 con un 37.43 %, seguido del T5 con un 33.39 %. La más baja fueron las de los T3 con un 27.28 %, el T4 con un 27.21 % y el T1 con 27.14 % (tabla 4 gráfico 4). En la figura 11 se pueden observar los substratos degradados por el hongo (SDH) en la tripa celulósica.

#### Contraste Múltiple de Rango para Degradación según Tratamiento

Método: 95.0 porcentaje Diferencia Mínima Significativa.

Tratamiento	Frecuencia	Promedios (%)	Grupos homogéneos
1	5	27.14	X
4	5	27.21	X
3	5	27.28	X
5	5	33.39	X
2	5	37.43	X

Tabla 4. Promedios del porcentaje de biodegradación en los 5 tratamientos.

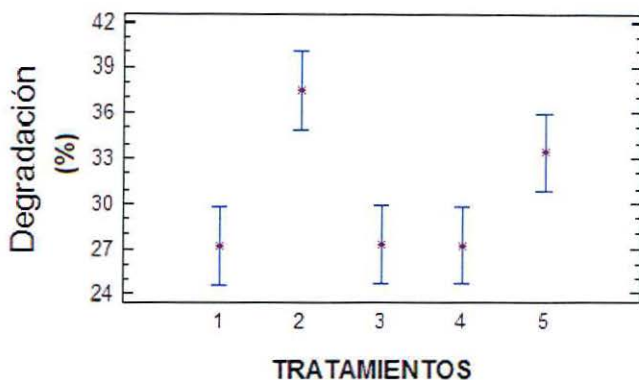


Gráfico 4. Promedios obtenidos de la biodegradación de los substratos utilizados.

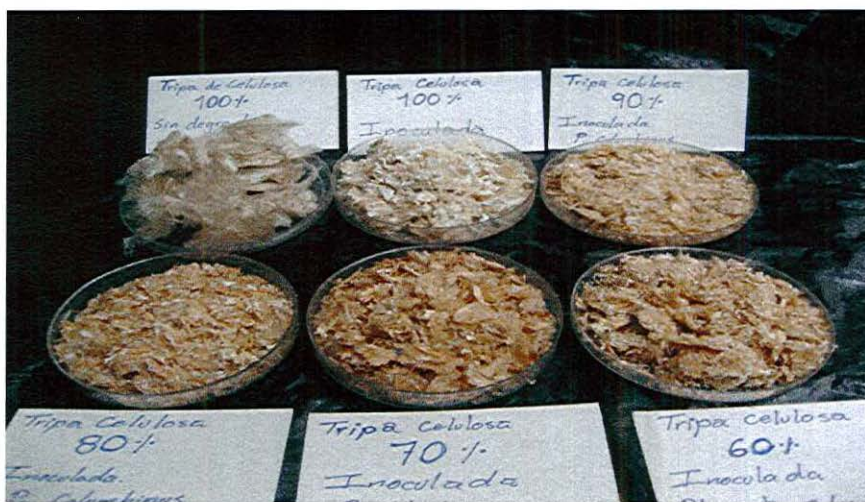


Figura 11. Substratos degradados por el hongo (SDH) *P. columbinus* de los 5 tratamientos.

## 8.6. Análisis químico proximal de los 5 tratamientos.

Los análisis químicos proximales dieron los siguientes resultados (anexo 5). En el gráfico 5 se puede observar el contenido de proteína cruda para los tratamientos. En tratamiento 2 y el T5 se obtuvo 2.39 y 2.45 % de proteína cruda a excepción del T0 que no está inoculado de 0.81 %. En los T1, T3 y T4 se obtuvo 0.89, 1.29 y 1.98 % de proteína cruda siendo estos los más bajos.

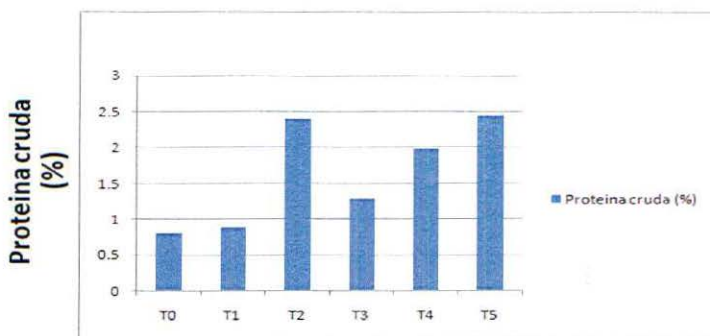


Gráfico 5. Contenido de proteínas cruda de los substratos utilizados y biodegradados por el hongo *P. columbinus* a excepción del T0 que no se inoculo.

En el Gráfico 6 se puede observar el contenido de extracto etéreo para los tratamientos. En el T3 y el T2 se obtuvo 0.27 y 0.37 % de extracto etéreo a diferencia del T0 de 1.05%. En los T5, T4 y T1 se obtuvo 0, 0.01 y 0.21 %.

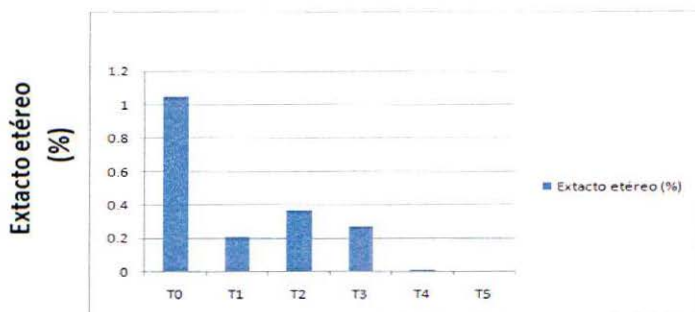


Gráfico 6. Contenido de extracto etéreo de la tripa celulósica sin inocular (T0) y de los 5 tratamientos con sus mezclas del substrato remanente.

En el Gráfico 7 se puede observar el contenido de fibra cruda para los cinco tratamientos. En T4 y T1 se obtuvo 57.00 y 59.03 %, a diferencia del T0 de 53.72 %. En los T5, T3 y T2 se obtuvo 40.07, 44.81 y 48.55 %.

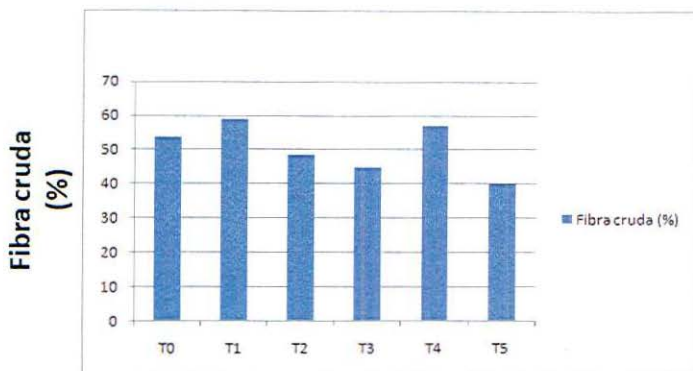


Gráfico 7. Porcentajes de fibra cruda encontrada en los seis diferentes tratamientos.

En el Gráfico 8 se puede observar el contenido de fibra cruda degradada por *P. columbinus* para los cinco tratamientos. En T2 y T5 se obtuvo 27.64 y 32.2 %, a diferencia del T0 de 53.72 %. En los T3, T1 y T4 se obtuvo 20.65, 22.01 y 23.1 %.

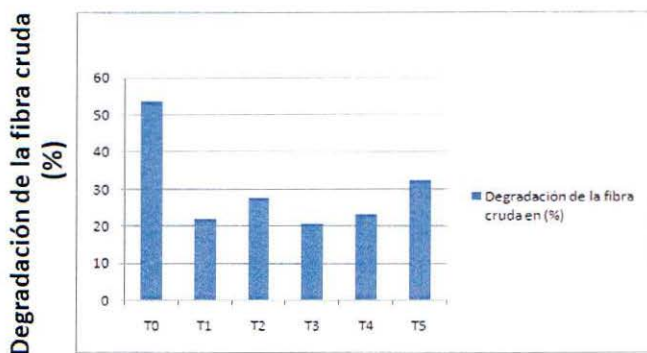


Gráfico 8. Porcentaje de degradación de la fibra cruda consumida en los cinco tratamientos por el *P. columbinus* a excepción de T0.

En el gráfico 9 se puede observar el contenido de cenizas de los cinco tratamientos. En T2 y el T5 se obtuvo 3.20 y 4.89 %, a diferencia del T0 de 0.35. En los T1, T3 y T4 se obtuvo 0.73, 2.93 y 3.48 % de cenizas.

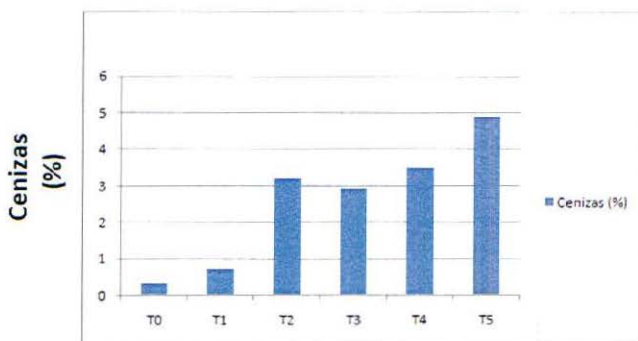


Gráfico 9. Contenido de cenizas de los cinco tratamientos de los sustratos utilizados.

En el gráfico 10 se observar el contenido de Extracto Libre de Nitrógeno de los cinco tratamientos. En T3 y el T5 se obtuvo 50.68 y 52.57 %, a diferencia del T0 de 44.05 %. En los T4, T1 y T2 se obtuvo 37.60, 39.11 y 45.48 %.

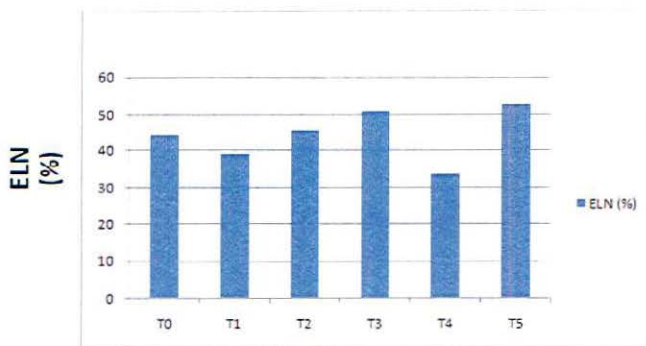


Gráfico 10. Contenido de extracto libre de nitrógeno de los sustratos utilizados.

### 8.7. Determinación de Fibra Detergente Neutra (FDN) y Fibra Detergente Acida (FDA).

En el gráfico 11 se puede observar el contenido de la Fibra Detergente Neutra de cada uno de los cinco tratamientos. En T4 y el T1 se obtuvo 77.85 y 80.32 %, a diferencia del T0 de 74.16 %. En los T5, T3 y T2 se obtuvo 69.22, 75.21 y 76.79 %.

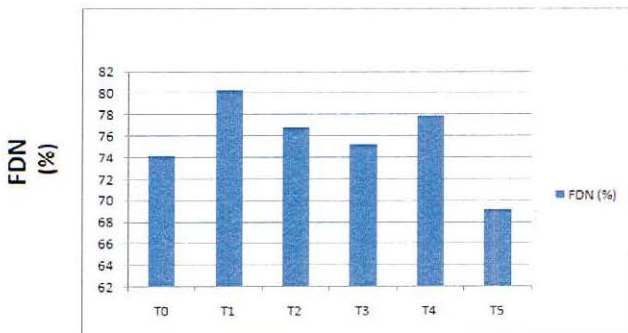


Gráfico 11. Contenido del porcentaje de FDN de la tripa celulósica sin y con micelio de *P. columbinus*.

En el Gráfico 12 se puede observar la degradación del contenido de la Fibra Detergente Neutra de cada uno de los cinco tratamientos. En T3 y el T2 se obtuvo 18.39 y 22.83 %, a diferencia del T0 de 74.16 %. En los T1, T4 y T5 se obtuvo 14.60, 16.43 y 17.22 %.

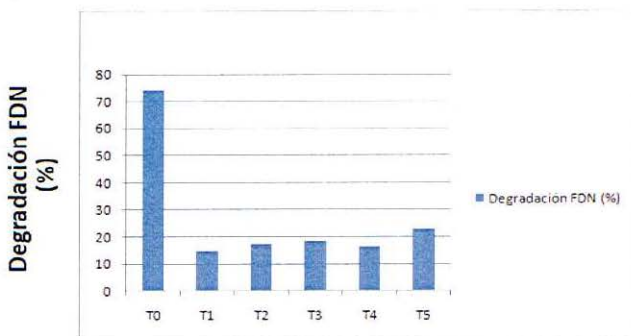


Gráfico 12. Porcentaje de degradación de la tripa celulósica a diferencia de T0 que no está inoculado como los otros 5 tratamientos.



En el gráfico 13 se puede observar el contenido de la Fibra Detergente Acida de cada uno de los cinco tratamientos. En T4 y el T2 se obtuvo 69.25 y 70.40 %, a diferencia del T0 de 65.33 %. En los T5, T3 y T1 se obtuvo 62.97, 66.89 y 67.57 % de FDA.

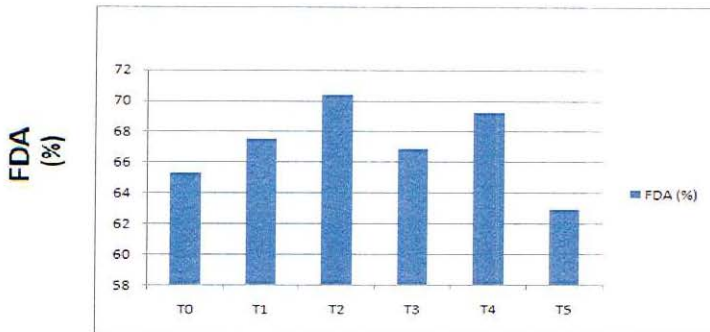


Gráfico 13. Contenido de FDA de la tripa celulósica sin micelio (T0) y con micelio de *P. columbinus*.

En el gráfico 14 se puede observar la degradación de la Fibra Detergente Acida de cada uno de los cinco tratamientos. En T3 y T5 se obtuvo 21.64 y 24.20 %, a diferencia del T0 de 65.33 %. En los T2, T4 y T1 se obtuvo 19.34, 20.09 y 21.19 %.

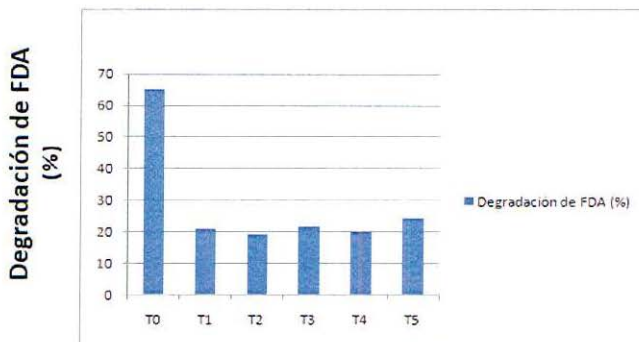


Gráfico 14. Porcentaje de la degradación de la Fibra Detergente Acida sin micelio y con micelio de *P. columbinus*.

En el gráfico 15 se puede observar el contenido de la celulosa de cada uno de los cinco tratamientos. En T4 y el T2 se obtuvo 67.74 y 69.54 % de celulosa a diferencia del T0 de 65.23 %. En los T5, T1 y T3 se obtuvo 61.22, 65.48 y 65.61 % de celulosa.

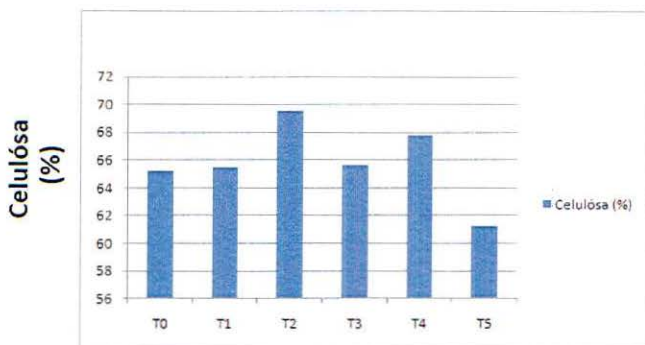


Gráfico 15. Contenido de porcentaje de celulosa en la tripa celulósica sin y con micelio de *P. columbinus*.

En el Gráfico 16 se puede observar la degradación de la celulosa consumida por *P. columbinus* de cada uno de los cinco tratamientos. En T1 y T5 se obtuvo 22.52 % y 25.52 % de degradación la celulosa a diferencia de T0 de 65.23 % que no está degradado. En los T2, T4 y T3 se obtuvo 19.87, 21.05 y 22.44 % de degradación de celulosa.

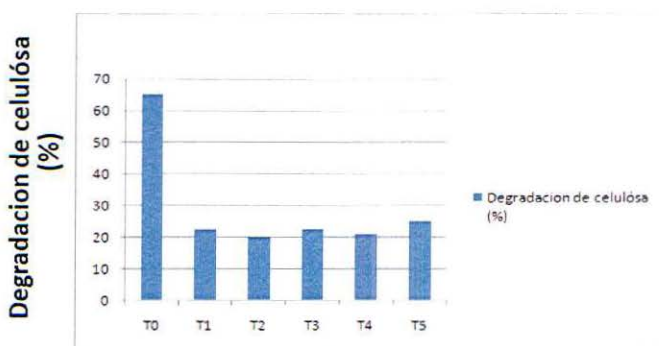


Gráfico 16. Contenido de degradación de la celulosa consumida por *P. columbinus* de los cinco tratamientos a excepción de T0 que no está inoculado.

En el gráfico 17 se puede observar el contenido de la hemicelulosa de cada uno de los cinco tratamientos. En T3 y el T1 se obtuvo 9.03 y 12.75 %, a diferencia del T0 de 8.83 %. En los T5, T2 y T4 se obtuvo 6.25, 6.39 y 8.60 % de hemicelulosa.

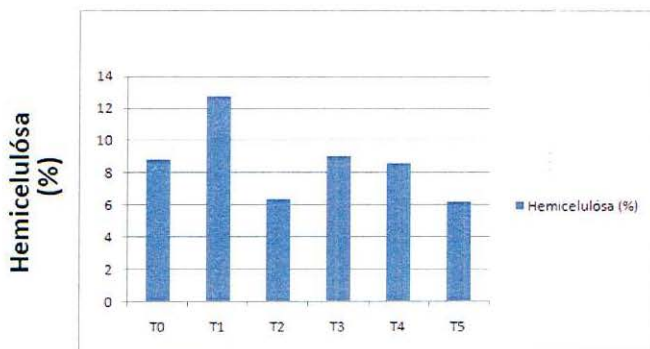


Gráfico 17. Contenido de hemicelulosa en la tripa celulósica con micelio de *P. columbinus* a excepción de T0 que no está inoculado.

En el gráfico 18 se puede observar el contenido de la degradación de la hemicelulosa de cada uno de los cinco tratamientos. En T2 y el T5 se obtuvo 8.27 % y 8.28 %, a diferencia del T0 de 8.83 %. En los T1, T3 y T4 se obtuvo 7.58, 8.04 y 8.08 %.

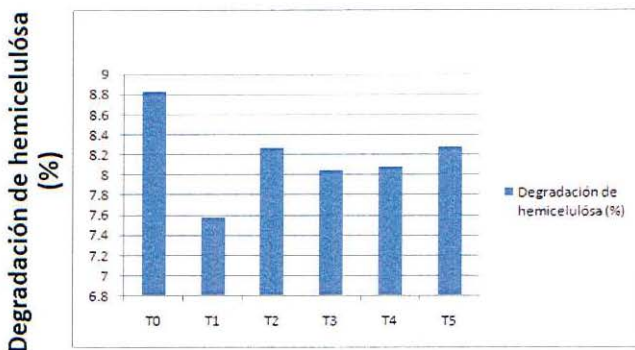


Gráfico 18. Contenido de la degradación de hemicelulosa de los cinco tratamientos con micelio de *P. columbinus* a excepción de T0.

En el gráfico 19 se puede observar el contenido de la lignina de cada uno de los cinco tratamientos. En T5 y el T1 se obtuvo 1.75 y 2.09 %, a diferencia del T0 de 0.10. En los T2, T3 y T4 se obtuvo 0.86, 1.17 y 1.51 %.

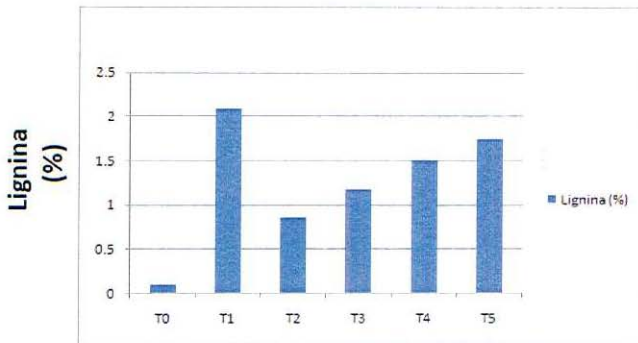


Gráfico 19. Contenido de lignina en la tripa celulósica (T0) sin y (T1-T5) inoculado con micelio de *P. columbinus*.

En el gráfico 20. Se puede observar el porcentaje de degradación de la lignina de cada uno de los cinco tratamientos. En todos los tratamientos se obtuvo 0.09 % a diferencia del T0 de 0.10 %.

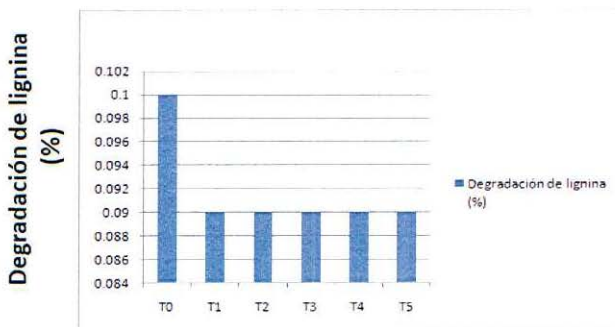


Gráfico 20. Porcentaje de la degradación de la lignina en los cinco tratamientos a excepción de T0 que no está degradado.

## 9. DISCUSIÓN

En la actualidad se generan millones de toneladas de residuos lignocelulósicos los cuales causan problemas de disposición al acumularse en grandes cantidades y al no poder biodegradarse de forma rápida provocan serios problemas de contaminación. Las empresas que producen embutidos se enfrentan a este tipo de situaciones al generar residuos celulósicos difíciles de degradar de forma natural. Con el presente estudio se pretende que estos materiales sean biodegradados de una forma rápida y a la vez obtener un alimento para consumo humano.

En este estudio se demuestra que el micelio de *Pleurotus columbinus* tiene la capacidad de crecer sobre la tripa celulósica y alrededor de los 18 a 30 días se obtiene la colonización total del sustrato. Félix *et al.*, (2011) reportan que al utilizar tallos de la planta de plátano mezclados con pasto de bahía para el cultivo de *P. sajor-caju* tuvieron una colonización entre 26 á 35 días. Vladimir *et al.*, (2011) reportan que el sustrato de paja de trigo mezclado con papel fue colonizado por *Pleurotus* spp. en un plazo de 30 días, por otro lado Rodríguez (1996) reporta que utilizo tres tipos de sustratos como lo es el forraje de sorgo que fue invadido totalmente en 20 días mientras que el rastrojo de hoja de maíz se invadió en 23 días y para el pasto bermuda en 28 días. Soto-Velazco (1998) reporta una colonización para el rastrojo de maíz entre 25 y 30 días con dos cepas de *P. ostreatus* y *P. pulmonarius*. Vega *et al.*, (2005) reporta una colonización de los sustratos de paja de arroz y pulpa de café entre 13 á 20 días con *P. ostreatus*. Por lo tanto en el caso de la tripa celulósica los días para colonizar y fructificar caen en este intervalo.

Diferentes autores mencionan que la producción de carpóforos depende del sustrato utilizado y de la cepa que se empleo, por ejemplo Aguinaga-Bósquez (2012) menciona que utilizo cuatro sustratos diferentes inoculados con *P. ostreatus* y obtuvo el mayor resultado con bagazo de caña con 1771 g, con rastrojo de trigo de 34.6 g, con aserrín 71.3 g y con pasto forrajero de 0.4 g. Por otro lado Gea (2002) reporta una producción anual por paquete de sustrato de rastrojo de maíz mezclado con paja de trigo entre 2.2 y 2.5 Kg, lo que correspondió a un 12 y 15 % de rendimiento. Sánchez *et al.*, (2008) reportan una producción de 460 g en rastrojo de tomate mezclada con paja de trigo con la cepa *P. pulmonarius* (IE-4) y para rastrojo de tomate solo, de 699 g con la misma cepa. Con la cepa *P. ostreatus* (IE-8) con rastrojo de tomate mezclado con madera de vid obtuvo 592 g. Cayetano (2008) reporta una producción de *P. pulmonarius* de 149 a 223 g en rastrojo de jamaica mezclado con hojas verdes y tallos de plátano. Garzón *et al.*, (2008) reporta una producción de entre 715 y 905 g de hongos frescos por cada 100 kg de sustrato seco con rastrojo de maíz y otros residuos sólidos lignocelulósicos. Gaitán-Hernández (2005) reporta en su estudio realizado con las cepas 688 y 689 de *P. erygii* con sustrato de paja de cebada mezclada con viruta de encino una producción de 172.4 y 148.7 g.

Lara *et al.*, (2002) reportan dos cepas de *Pleurotus* spp. cultivadas sobre bagazo de maguey y otros substratos lignocelulósicos una producción de 382.7 a 798.2 g con la cepa IBUG-4 y para la cepa IBUG-8 de 342.8 a 815.2 g. En este estudio realizado con la tripa celulósica enriquecida con otros substratos lignocelulósicos se obtuvo el mayor promedio de producción en T5 con 1271 g y el menor en T1 con 565 g. Por lo que se observa que podemos obtener buenos resultados de producción de *P. columbinus* al comparar los resultado de otros autores.

En relación a la Eficiencia biológica existen reportes muy variados en cuanto a los porcentajes obtenidos de acuerdo a cada autor y al substrato utilizado como de las diversas cepas de hongos, es por eso que Aguinaga (2012) reporta un valor de EB de 40.5 % sobre bagazo de caña. Por otro lado Sánchez *et al.*, (2008) reporta en su trabajo la utilización de *P. pulmonarius* (IE-4) y *P. ostreatus* (IE-8) obtuvo de 92.0 á 139.8 % con rastrojo de tomate. Por lo que Soto-Velasco *et al.*, (1998) reporta una EB de 96.4% en bagazo de maguey con paja de trigo. De León *et al.*, (1988) cita una EB de 140% en bagazo de maguey y rastrojo de maíz.

Vladimir *et al.*, (2011) reportaron para lotes de paja-papel con una cepa del estado de Guerrero fue de 128.15 %, a diferencia de la de Tlaxcala que fue de 97.44 % menor respectivamente. Mientras que para el tratamiento de cartón-paja la EB fue de 112.58 % para la cepa de Tlaxcala y para la de Guerrero fue de 119.08 % menor. Félix *et al.*, (2011) reportan en sus estudios una EB de 74.4 á 74,12 % para *P.sajor-caju* con tallos de plátanos mezclados con pasto de bahía como substratos para el cultivo de este hongo.

Romero *et al.*, (2010) mencionan una eficiencia biológica de 129,34±9,1 % con el substrato de paja de trigo y con la hoja de plátano deshidratada una EB de 123,30±0,7 %, mientras que la pajilla de frijol obtuvo una EB más baja de 82,91±0,4 %. Rodríguez *et al.*, (1998) reporta que utilizo hojarasca de parques y jardines públicos para el cultivo de dos cepas de *Pleurotus ostreatus* (IBUG-8) y *P. pulmonarius* (IBUG-4) con una EB de 66.98 % y 37.6 % respectivamente. Sobal *et al.*, (2007) reporta una eficiencia biológica de 38 % en sustrato de pajilla de frijol con *P. ostreatus*.

Por otro lado Vega *et al.*, (2006) reportan una EB de 19.0 á 61.3 % con paja de arroz y una EB de 43.5 á 93.5 % con pulpa de café con cepas nativas de *P. djamor* de Panamá. López-Cobá *et al.*, (2005) con *P. djamor* reporta una EB de 83.9 % para rastrojo de maíz, 76.1 % para bagazo de henequén y 71.3 %. Mientras que en este estudio con la tripa celulósica se obtuvo una EB de 104.25 % en T4 y la más baja en T1 con 38.91 %, observando que si hay resultados semejantes como mencionan algunos autores con los siguientes substratos como rastrojo de maíz solo y mezclado con bagazo de henequén, bagazo de caña, paja de arroz, paja de trigo, paja de tomate, paja de trigo mezclada con hojas de plátano entre otros substratos. Es por eso que podemos obtener una buena EB con las mezclas de los diversos substratos lignocelulósicos enriquecidos con los

residuos de ciertas empresas sin ningún costo o á un bajo costo, obteniendo un excelente producto.

Mientras que para la Tasa de producción diversos autores reportan distintos porcentajes obtenidos de acuerdo al volumen utilizado del sustrato y a los enriquecimientos lignocelulósicos de este mismo, por lo que Sánchez (2008) reporta 1.4 á 2.9 % con rastrojo de tomate, paja de trigo y madera de vid con *P. pulmonarius.*, por otro lado Romero *et al.*, (2010) evaluaron la producción de la cepa CP-50 de *P. ostreatus* en residuos de hoja de plátano deshidratada en contraste con otros sustratos agrícolas de desecho, describiendo que la cepa demostró un adecuado crecimiento del micelio sobre la hoja de plátano deshidratada, mostrando una tasa de producción de 1.5 %. Vega *et al.*, (2006) reporta una TP para *P. djamor* de 0.4 á 1.4 % con paja de arroz como sustrato y una TP de 0.9 á 1.8 % con pulpa de café como sustrato. López-Cobá *et al.*, (2005) reporta una TP de 3.5 % con bagazo de henequén y 1.1 % con rastrojo de calabaza. En este trabajo con la tripa celulósica se obtuvo una TP mínima de 0.518 % en (T1) y una máxima de 1.564 % en (T5), por lo que los valores en este trabajo son similares a los obtenidos con los sustratos que mencionan algunos autores, como el rastrojo de tomate, rastrojo de maíz mezclado con bagazo de maguey, paja de arroz, paja de trigo que se pueden mezclar con papel o cartón entre otros sustratos residuales lignocelulósicos. Sabiendo que podemos obtener una buena TP al reutilizar estos subproductos agro-industriales para el cultivo de *P. columbinus*.

En cuanto a la Biodegradación de diversos sustratos utilizados en diferentes estudios los autores mencionan porcentajes muy variados de acuerdo a los sustratos enriquecidos y a la cepa utilizada, por ejemplo Soto-Velazco, (1998) reporta la degradación de la materia seca del rastrojo de maíz con dos cepas de *Pleurotus*: la cepa IBUG-8 e IBUG-4 en la primer etapa a los 25 días con 55.35 % y 54.61 % respectivamente; este porcentaje se incrementó en la segunda etapa a valores de 75.5 % con la IBUG-8 y con la IBUG-4 de 71.79 % alrededor de los 55 a 60 días. Rodríguez *et al.*, (1998) describe una degradación de la materia seca de la hojarasca de parques y jardines de 35.7 % con la cepa IBUG-4 y de 31.8 % con IBUG-8. Delfina *et al.*, (2003) menciona una biodegradación de dos sustratos lignocelulósicos de residuo urbano como lo es la poda de pasto y los pañales de tela enriquecidos con paja de trigo, penachos de piña y posos de café obteniendo una biodegradación mayor del 80 % y por otro lado Sánchez *et al.*, (2008) reportan una bioconversión que osciló entre 57.7 y 63.9 % con rastrojo de tomate y paja de trigo, y comenta que la proteína cruda y la grasa total de los sustratos disminuyó significativamente.

Romero *et al.*, (2010) reportan una biodegradación para la cepa CP-50 de *P. ostreatus* de un 61% en sustrato de hoja de plátano deshidratada que fue la más alta en comparación al sustrato pajilla de frijol con 41.45 % que se reporto como el menor tiempo de biodegradación. Barreto (2009) menciona en su trabajo que observó una mayor disminución con *P. pulmonarius* de la materia seca de los

substratos de la mezcla algarrobo y tuza de maíz del 31.33 % y con *P. ostreatus* el consumo fue más homogéneo con valor de 31.4 %, 32.2 %, 25.9 %, 25.5 % y 31.7 %. Leandro-Papinutti *et al.*, (2003) reporta la pérdida de peso seco de los bloques de aserrín de álamo un valor medio de 51%.

Gómez-Castillo (2010) menciona que utilizó tripa celulósica pero sin hacer evaluaciones como en este estudio. Su experimento consistió en llenar 4 bolsas con la mezcla de tripa celulósica y paja de trigo al 100 %, 75 %, 50 %, y 10 %, describiendo que al poco tiempo se ven invadidos los substratos con el micelio y a los 15 días de incubación del micelio empiezan a brotar los primeros primordios y el deterioro más marcado es observado en la mezcla 50 % tripa celulósica y 50 % paja de trigo como resultado favorable para la producción de este hongo. Mientras que en el presente estudio se obtuvo el valor más alto de biodegradación en el T2 de 37.43 % y la menor en T1 de 27.14 %. Con estos datos se afirma que este material es más susceptible al ser inoculado con *Pleurotus* spp. y puede ser incorporado a suelos para una degradación más fácil, ya que este material se vuelve más asimilable para otros microorganismos y así poder disminuir este y otros residuos de una manera más fácil hacia el medio ambiente.

Referente a la Fibra Detergente Neutra algunos autores mencionan disminución en los porcentajes de este componente como por ejemplo Carvalho-Melo *et al.*, (2012) reporta un valor de 41.9 % de FDN al utilizar hojas y tallos de bananos inoculado con *P. ostreatus*. Soto-Velazco (1998) reporta en su investigación con dos cepas de *Pleurotus* valores de 81.46 % de FDN en rastrojo de maíz testigo y un 41.82 % en rastrojo colonizado con la cepa de *P. ostreatus* y con *P. pulmonarius* un 39.2 %. Por otro lado Peláez (2010) reporta en su trabajo que al utilizar bagazo de caña con cal y sin cal, el substrato inoculado con *Pleurotus* spp. obtuvo valores de 7 % de FDN con cal y sin cal de 15 %. Comenta Fazaeli *et al.*, (2010) que al evaluar distintas cepas de *Pleurotus* spp. con paja de trigo encontró una disminución de la FDN de 16.4 %. Villegas (2010) obtuvo una disminución de 11.64 % de FDN en paja de sorgo con *P. sapidus* y Okano *et al.*, (2006) con bagazo de caña mezclado con paja de arroz obtuvo un valor del 15 % con el hongo *P. erigii*. Mientras que en este estudio con la tripa celulósica se obtuvo 22.83 % en T2 en comparación con el T1 que fue de 14.60 %. Estos resultados son similares a los reportados para tallos y hojas de bananos, así como la paja de trigo, paja de sorgo y paja de arroz.

Para los resultados de la Fibra Detergente Ácida los autores mencionan diferentes valores de acuerdo al substrato utilizado por ejemplo Carvalho-Melo *et al.*, (2012) reportó que en hojas y tallos de plátano inoculado con *P. ostreatus* obtuvo 31.6 %, por otro lado Soto-Velazco (1998) comenta que la FDA en rastrojo de maíz y dos cepas de *Pleurotus* spp. disminuyó a valores de 50.24 % y 52.33 % en 25 días y 29.12 % y 34.75 % a los 60 días. Peláez (2010) publica en su investigación que obtuvo una disminución del 4 % con *P. sapidus* en bagazo de



caña con cal al 2 % y disminuyo a 14 % sin cal con *P. pulmonarius*. Por otra parte, Villegas (2010) menciona una disminución de FDA de 5.64 % en rastrojo de sorgo con *P. sapidus*. Okano *et al.*, (2006) reportan 16.4 % para FDA en bagazo de caña con paja de arroz con *P. eringii*. En este trabajo con la tripa celulósica se obtuvo 24.20 % en T5 y 19.34 % en T2. Estos resultados son similares a los reportados para el bagazo de caña mezclado con paja de arroz y difieren con los otros autores al utilizar sustratos lignocelulósicos diferentes.

Para estimar el porcentaje de la celulosa degradada por hongos, diversos autores comentan diferencias debido al material lignocelulósicos utilizados, así como la cepa empleada, por ejemplo Aguinaga-Bósquez (2012) reporta una degradación de celulosa de bagazo de caña de 36.62 %, en rastrojo de trigo de 18.31 %, en aserrín de 26.65 % y en pasto forrajero de 8.09 %. Ravera *et al.*, (2008) comenta que utilizó el hongo *P. ostreatus* para reducir la materia seca de la cascara de cacahuate que contiene un valor inicial de 68.83%. Una vez utilizado para cultivar el hongo dio un valor de 44.44 % de celulosa pero este valor aumenta en la incubación con valor de 44.72 %, en la fructificación de 47.47 % y en la incubación final de 47.48 %. Mientras que Leandro-Papinutti *et al.*, (2003) menciona que la celulosa del sustrato de aserrín de álamo disminuyó un 58 % con *Pleurotus* spp. Por otro lado Soto-Velazco (1998) reporta con dos cepas (IBUG-8) y (IBUG-4) en rastrojo de maíz en 25 días de inoculado el sustrato una degradación de 55.35 % y 54.61 % y a los 60 días este porcentaje incremento a valores de 75.5 % y a 71.79 %. En esta investigación realizada con la tripa celulósica presentó una mayor degradación de 25.52 % en T5 y la menor en T2 de 19.87 %. Estos resultados son similares a los reportados para aserrín de álamo y rastrojo de trigo.

Respecto a la degradación de la Hemicelulosa en diversos sustratos utilizados en los cultivos de *Pleurotus* spp. u otros hongos los autores mencionan diferentes resultados por ejemplo Aguinaga-Bósquez (2012) reporta para el bagazo de caña degradado de 26.63 %, para rastrojo de trigo de 14.27 %, para aserrín de 18.34 % y para pasto forrajero de 9.76 %. Por otro lado Ravera *et al.*, (2008) en rastrojo de maíz determinaron 13.08 % de hemicelulosa al inicio y en la incubación de 10.29 %, en la fructificación de 11.62 % y al final de 9.17 %. Soto-Velazco, (1998) obtuvo una degradación de hemicelulosa en rastrojo de maíz a los 25 días de inoculado con *P. ostreatus*. de 14.98 % y para 60 días de 12.7 % y el mayor porcentaje fue de 40.99 % en rastrojo de maíz testigo con la cepa (IBUG-8) y con la cepa (IBUG-4) a los 25 días de 14.96 % y a los 60 días de 4.45 %. En el presente trabajo los resultados fueron muy similares a los citados anteriormente.

La remoción de la Lignina de diferentes sustratos son expuestos por varios autores: Leandro-Papinutti *et al.*, (2003) reporta en su investigación una degradación de 56 a 58 % en aserrín de álamo como sustrato con *Pleurotus* spp. Mientras que Aguinaga-Bósquez (2012) obtuvo una degradación para el bagazo de caña de 9.04 %, para rastrojo de maíz de 5.32 %, para el aserrín de 6.22 % y para pasto forrajero de 2.19 % con *P. ostreatus*. Fazaeli *et al.*, (2003) encontró una disminución de la lignina de la paja de trigo inoculada con *Pleurotus* spp. de 6 %. Ravera (2008) reporta en su trabajo con cascara de mani un valor de 32.60 % inicial, en incubación de 34.19 %, en fructificación de 32.08 % y en incubación final de 32.42 %. En esta tesis se obtuvieron porcentajes muy bajos de remoción de la lignina los que se ubicaron entre 0.09 y 0.10 %, al compararla con la de los autores mencionados arriba. Es importante señalar que la tripa celulósica no posee lignina solo celulosa, es por eso que se obtuvieron estos resultados.

Un aspecto interesante de analizar es como afecta el micelio del hongo *Pleurotus* spp. en el contenido de la proteína cruda (PC) una vez obtenido el sustrato residual. Soto-Velazco (1998) indico que el porcentaje de proteínas cruda obtenida con dos cepas de *Pleurotus* cultivadas en rastrojo de maíz da un valor inicial de 3.9 % hasta un valor de 11.03 % para la cepa IBUG-8 y la cepa IBUG-4 con 7.16 %, lo cual representa un incremento del 282.8 al 183.5 %. Gómez *et al.*, (2010) reporto para diversos sustratos como la caña de azúcar, tallo de maíz, aserrín con pozos de café, un valor de PC que oscilo entre 10.5 a 30.4 % con *P. ostreatus*. Reyes *et al.*, (2010) reportaron valores de 84 % de PC y 94 % de proteína cruda en rastrojo de maíz inoculado con *P. ostreatus*.

Bano y Rajarathnam (1989) obtuvieron valores de 15.74 % y 16.8 % respectivamente en rastrojo de maíz y describen que solo el 34 al 89 % de proteínas son solubles. Akinfemi *et al.*, (2009) obtuvieron datos de 7.44 % a 9.90 % de PC en tamo de maíz con cuatro especies de hongos y mencionan que la fibra cruda disminuyo de un 30.45 % a 14.14 %. Así mismo, indican que los cambios de la proteína inicial de los sustratos se debe al aporte del micelio del hongo y su desarrollo sobre los sustratos y mencionan que el incremento de proteína se ha reportado con valores de 5 a 10 % sobre paja de trigo con *P. ostreatus*.

En cuanto a proteína cruda en esta tesis con la tripa celulósica se obtuvieron 2.45 % para T5 y la menor en T1 de 0.89 % a diferencia de T0 que es 0.81%. Este sustrato remanente es de alto contenido proteico aportado por el micelio del hongo *P. columbinus*. Por lo que podría ser considerado como alimento proteico para rumiantes, ya sea fresco o deshidratado con otras mezclas de

ensilaje o también llamado silo. Otra posibilidad de uso es su aplicación en lombricultura o simplemente aprovecharlo para compostas para huertos orgánicos ó para mejoramiento de suelos agrícolas.

## 10. CONCLUSIONES

- 1- El micelio de *P. columbinus* crece y se desarrolla de forma normal y vigoroso sobre la tripa celulósica en un plazo de 18 a 30 días como en el caso de otros substratos lignocelulósicos. Sin embargo es necesario agregar suplementos a la tripa celulósica para obtener una mayor cantidad de fructificaciones, ya que estos aportan nutrimentos tales como azúcares, nitrógeno y carbohidratos. Por lo tanto la eficiencia biológica y la tasa de producción se ven afectadas.
- 2- El análisis químico proximal reveló que existen cambios significativos en la cantidad de nutrimentos que contienen la tripa celulósica, por lo que el micelio ayuda a mejorar la composición de esta.
- 3- El micelio de *P. columbinus* ayuda a mejorar los niveles de Proteína cruda de la tripa celulósica, lo cual es importante para su aplicación como un ingrediente en la alimentación de rumiantes, lombricultura o elaboración de compostas.
- 4- El micelio de *P. columbinus* ayuda a que la tripa celulósica sea más soluble, ya que consumió una buena cantidad de Fibra Detergente Neutra, Fibra Detergente Ácida, Lignina, Hemicelulosa y Celulosa.
- 5- Por medio del cultivo de *P. columbinus* se ayuda a que la tripa celulósica sea biodegradada de una manera más rápida y así poder incorporarla al ambiente y finalmente pueda ser aprovechada por otros microorganismos para su disposición final.

## 11. LITERATURA CITADA

- Aguinaga-Bósquez, P. N. 2012. Evaluación de cuatro sustratos para la producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en tres ciclos de producción en la zona de Tambillo, Provincia de Pichincha. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. 1-150.
- Akinfermi, A. y O. J. Babayemi. 2009. Bioconversión de la tusa de maíz como valor agregado en la alimentación de rumiantes mediante el uso de hongos de la pudrición blanca. Revista UDO Agrícola. 9. 4:972-978.
- Akinyele, B. J. y F. C. Adetuyi. 2005. Effect of agrowastes, pH and temperature variation on the growth of *Volvariella volvacea*. African Journal of Biotechnology. 4(12): 1390-1395.
- Alexopoulos, C. J. y C. W. Mims. 1996. Introductory Mycology. John Wiley y Sons 4ª edición. EUA.
- AOAC. 1991. Official methods of analysis. 15 ed. Association of Official Analytical Chemists Arlington.
- Bano, Z. y S. Rajarathnam. 1989. *Pleurotus* Mushroom as a nutrition food. In Tropical Mushroom Biological Nature and Cultivation Methods. The Chinese University Press. Sei. 10 (2): 597-608.
- Barreto, S. M. y R. G. M. Franco. 2009. Evaluación del desarrollo vegetativo y producción de carpóforos de las cepas de *Pleurotus* spp. y *Lentinula edodes* sobre varios residuos agroindustriales. Universidad Católica de Manizales. 1-70.
- Bermudez, R. C., J. A. Traba, M. Verdencia, P. Grooss, 1994. Producción de *Pleurotus* sp. cfr. *Florida* sobre los residuales de la agroindustria cafetalera en Cuba. Micología Neotropical Aplicada, 7:47-50.
- Block S.S, G. Tsao y L. Han.1959. Experiments in the cultivation of *Pleurotus ostreatus*. Mushroom Science. 4:309-25.
- Block, S. S., G. Tsao y L. Han. 1958. Production of mushrooms from sawdust. Journal Agriculture Food Chemistry. 6:923-927.
- Bonatti, M., P. Karnopp, H.M. Soares y S.A. Furlan. 2004. Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristic when cultivated in different lignocelulosic wastes. Food Chemistry 88: 425-428.

- Bumpus, J. A. 1989. Biodegradation of polycyclic hydrocarbons by *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol. 55:154-158.
- Bumpus, J. A. y S.D. Aust. 1987. Biodegradation of DDT [1, 1,1- trichloro - 2,2 bis (4 chlorophenyl)] by: the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Applied and Environmental Microbiology, 53, 2001-2008.
- Bumpus, J. A., M. Tien., D. Wright., y S. D. Aust. 1985. Oxidation of persistent environmental pollutants by a white-rot fungus. Science, 228:1434-1436.
- Carvalho-Melo. C. S. y A. L. V. Bentolina. 2012. Determinación Bromatológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en residuos de diferentes cultivos de Bananeros. Interciencia. 37:8. 620-628.
- Cayetano M. C. y G. T. Bernabé. 2008. Cultivo de *Pleurotus* sobre residuos de las cosechas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y plátano (*Musa paradisiaca*). Revista Mexicana de Micología. 26.
- Cerda I. 1998. Trayectoria del sector forestal chileno: Sus logros y desafíos. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 3-91.
- Chang, S. T. 1999. Global impact of edible and medicinal mushrooms on human welfare in the 21<sup>st</sup> century: nongreen revolution. Int. Journal of Medicinal Mushrooms 1: 1-7.
- Chang S. T. y P. G. Miles. 2004. Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, environmental impact. CRC Press, Boca Ratón. 451.
- De León R., G. Guzmán, y D. Martínez-Carrera. 1988. Planta productora de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) en Guatemala. Revista Mexicana de Micología. 4:297-301.
- Delfín-Alcalá I. y C. Durán de Bazúa. 2003. Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos por *Pleurotus*. Revista internacional de contaminación ambiental 19 1: 37-45
- Etter B. E. 1929. New media for the developing sporophores or wood-rot fungi. Mycology 21: 197-203.
- Falck, R. 1917. Über die Walkuter des Austernpilzes (*Agaricus ostreatus*) auf Laubholzstubben. Z Forst-Sagdwes. 49: 159-165.
- Fazaeli H., A. Azizi, Z. A. Jelani y A. Mirhadis. (2003). Effect of fungal treatment on the chemical composition, in vitro digestibility and in sacco degradability of wheat Straw. Proc. Br. Soc. Anim. Sci. 166-171.

Franco B. T. 2010. Panorama de la celulosa. Sinopsis de la importancia del sector forestal en Chile. 1-50. [www.wrm.org.uy/plantaciones/Libro\\_celulosa.pdf](http://www.wrm.org.uy/plantaciones/Libro_celulosa.pdf). 2012.

Félix G. S. y T. Emerson. 2011. Cultivo de *Pleurotus sajor-caju* en tallos de plátanos y pasto de bahía como base de sustratos. Departamento de Biología Celular. Laboratorio de Enzimología horticultura. 29: 199-204.

Gaitán-Hernández, R. 2007. Transferencia de tecnología de cultivo de *Pleurotus* spp como alternativa de beneficio social y económico en el estado de Veracruz. In: Sánchez Vázquez, J.E. D. Martínez-Carrera, H. Leal y G. Mata (eds.), El cultivo de setas *Pleurotus* spp en México. El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula.

Gaitán-Hernández, R. 2005. Evaluación in vitro del hongo comestible *Pleurotus erygii*: Efectos de diferentes suplementos orgánicos en el crecimiento micelial y producción de cuerpos fructíferos. Revista Mexicana de Micología. 21: 77-84.

Gadd, G. M. y C. White. 1993. Microbial treatment of metal pollution a working biotechnology. Trends Biotechnology 11:353–359.

Garzón J. P., y A. J. L. Cuervo. 2008. Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferentes procedencias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. 6: 101-236.

Gea F. J. 2002. Plagas y enfermedades del género *Pleurotus* spp. In: Sanchez J. E., Royse, D. J. (eds.) La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Limusa, México. 205-224.

Gómez, C. J. 2010. Sistema ecológico para disponer celulosa industrial. Cultivo de *Pleurotus* spp. Grupo Capistrano Alimentari. Planta de Celaya, Celaya. <http://www.capistrano.com.mx/>

Guzmán, G., G. Mata, D. Salmones, C. Soto-Velasco, y L. Guzmán-Dávalos, 1993B. El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquimos y residuos agro-industriales. I. P. N. México, D. F.

Grupo Capistrano Alimentari, Planta Celaya, Celaya, 2012. <http://www.capistrano.com.mx/>

Hawksworth D. L., B. C. Sutton. y G. C. Ainsworth. 1983. "Ainsworth y Bisby's Dictionary of the Fungus". Commonwealth Mycological Institute. 153-155.

- Herrera, T. y M. Ulloa, 1990. El reino de los hongos: Micología básica y aplicada. Ed. Fondo de Cultura Económica. Universidad Autónoma de México, México.
- Kues, U. y Y. Liu. 2000. Fruiting body production in basidiomycetess. *Applied Microbiology Biotechnology*. 54: 141-152.
- Lara, M., A. Arias y L. Villaseñor. 2002. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *P. pulmonarius* on spent brewers grain and tequila maguey bagasse. In: Sanchez, J. E., G. Huerta y E. Montiel (eds.). Proceedings. IV International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Cuernavaca, México. 323-330 pp.
- Lang, E. G. Eller y F. Zadrazil. 1997. Lignocellulose decomposition and production of ligninolytic enzymes during interaction of white rot fungi with soil microorganisms. *Microbial Ecology* 34: 1-10.
- Leandro-Papinutti V., L. A. Diorio y F. Forchiassin. 2003. Degradación de Madera de álamo por *Fomes sclerodermeus*: producción de enzimas ligninolíticas en aserrín de álamo y cedrón. Laboratorio de Micología Experimental, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina. *Revista Ibero Americana de Micología* 20: 16-20.
- Leal-Lara, H. 1998. Research priorities for production of edible fungi in México. *Inoculum* 49(2):31.
- López-Cobá E. H., L. A. Méndez y S. M. Peralta. 2005. Cultivo de *Pleurotus djamor* en condiciones de laboratorio y en una casa rural tropical. *Revista Mexicana de Micología*. 21: 93-97.
- Lloyd, J. R., y L. E. Macaskie. 2000. Bioremediation of radionuclide containing wastewaters, p. 277-327. In D.R. Lovley (eds). *Environmental microbe-metal interactions*. American Society for Microbiology, Washington, D.C.
- Mata, G. y D. Martínez-Carrera. 1988. Estimación de la producción anual de residuos agroindustriales potencialmente utilizables para el cultivo de hongos comestibles en México. *Revista Mexicana de Micología*. 4: 287-296.
- Martínez-Carrera, D., P. Morales, E. Pellicer-González, H. León, A. Aguilar P. Ramírez P. Ortega, A. Largo, M. Bonilla y M. Gómez. 2010. Current development of mushroom biotechnology in Latin America. *Mycology Aplicada International*. 14: 61-74.



Martínez-Carrera, D. P. Morales. M. Sobal, M. Bonilla y W. Martínez. 2007. México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción-consumo de hongos comestibles. In: El cultivo de *Pleurotus* en México. ECOSUR-IE-UNAM-COLPOS, México, D. F.

Martínez-Carrera, D., P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla y W. Martínez. 2006. México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción-consumo de los hongos comestibles. In: El cultivo de *Pleurotus* en México. ECOSUR-IE-UNAM-COLPOS, México, D.F.

Martínez-Carrera, D., M. Sobal, P. Morales, W. Martínez, M. Martínez y Y. Mayett. 2004. Los Hongos Comestibles: Propiedades Nutricionales, Medicinales, y su Contribución a la Alimentación Mexicana. COLPOS-BUAP-UPAEP-IMINAP, Puebla. 44 pp.

Martínez-Carrera, D., A. Aguilar, W. Martínez, P. Morales, M. Sobal, M. Bonilla y A. Larqué-Saavedra, 1998. A sustainable model for rural production of edible mushrooms in Mexico. *Micología Neotropical Aplicada* 11: 77-96.

Martínez-Carrera, D., A. Larqué-Saavedra, P. Morales y M. Sobal. 1992. ¿Reconversión en la industria de los hongos? *Tecnoindustria (CONACYT)* 7: 52-59.

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

Masaphy, S. 2005. External ultrastructure of fruit body initiation in *Morchella*. *Mycological Research*. 109(4): 508–512.

Montero-Pereda, J. L. 2008. Efecto de la fuente nitrogenada sobre la capacidad de degradación de petróleo por *Pseudomonas sp.* II Congreso Binacional AUSENP. 11:40.

Novotny, C., Erbanova, P., Sasek, V., Kubatova, A., Cajthaml, T., Lang, E., Krahl, J., Zadrazil, F. 1999. Extracellular oxidative enzyme production and PAH removal in soil by exploratory mycelium of white rot fungi. *Biodegradation*. 10:159-168.

Novotny C, Erbanova P, Cajthaml T, Rothschild N, Dosoretz C, Sasek V. 2000. *Irpex lacteus*, a white rot fungus applicable to water and soil bioremediation. *Appl Microbiol Biotechnol*. 54(6):850-3.

Novotny C, Svobodova K, Erbanova P, Cajthaml T, Kasinath A, Lang E, Sasek V. 2004. Ligninolytic fungi in bioremediation: extracellular enzyme production and degradation rate. *Soil Biol Biochem*. 36.10:1545-1551.

- Nicholson, M. D. 2006. Recycling cellulosic casing. European patent office EP-0692194-B2. Boletín 42.
- Nicholson, M. D. 2010. Como reciclar celulosa industrial. <http://segob.guanajuato.gob.mx/sil/docs/eventos/28Sem/Reciclaje%20de%20Celulosa%20Industrial.pdf>
- Okano K, L., Y. Samsuri. M. Prasetya. B. Usagawa., T. Watanabe. 2006. Comparison of in vitro digestibility and chemical composition among sugarcane bagasses treated by four white-rot fungi. *Animal. Socience. Journal.* 77:308-313.
- Peláez, A. A. 2010. Producción de enzimas lacasas e isoformas del genero *Pleurotus* spp. sobre bagazo de caña de azúcar por cultivo solido. Colegio de Postgraduados. Campo Montecillo. Texcoco. Estado de México.
- Pérez–Merlo, R., y G. Mata, 2005. Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción. *Revista Mexicana de Micología.* 20: 53–59.
- Poppe, J. y M. Hofte. 1995. Twenty wastes for twenty cultivated mushrooms. *Mushroom Science.* 14 1: 171-179.
- Quimio, T. H. 1986. Guide to low –cost mushroom cultivation in the tropics. University of the Philippines at Los Banos. 73 p.
- Quimio, T. H., S. T. Chang, y D. J. Royse.1990. Technical guideline for mushroom growing in the tropics. FAO Plant production and protection paper 106. Food and agriculture organization of the united nations, Rome.
- Ravera, C. Bettera C; Fernández M. A; Estive, P. H. 2008. Aprovechamiento de los recursos agrícolas. Procesamiento de la cascara de maní y su conversión Biológica. Departamento de Tecnología Química. Facultad de Ingeniería. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. 1-10.
- Reyes, G. R., E. A. Abella, F. Eguchi, T. Lijima, M. Higaki, y T. H. Quimio. 2010. Growing paddy straw mushroom. *In: Mushroom grower’s handbook 1: Oyster mushroom cultivation.* Mushroom World. Corea. 262-269.
- Rodríguez-Macías R. 1996. Caracterización de cepas del hongo *Pleurotus* spp. en medios de cultivos y su evaluación en sustratos lignocelulósicos forrajeros para la producción de carpóforos. Tesis para obtener el grado de Maestro en ciencias en producción agrícola. Marín. Nuevo León. México.

Rodríguez-Macías R., Soto-Velazco C. y L. Villaseñor 1998. Utilización de hojarasca de parques y jardines públicos para cultivar *Pleurotus* spp. Revista Mexicana de Micología 14: 67-69.

Rolz, C. 1984. Microbial biomass from renewables: a second review of alternatives In: Tsao G. T., M. C. Flickinger, R. Finn (eds.) Annual Reports on Fermentation Processes, Academic Press. 7: 213-356.

Romero, J. A. M., A. G. Rodríguez, y M. R. Pérez. 2010. *Pleurotus ostreatus* Importancia y tecnología de cultivo. Manual de hongos. 24-56.

Royse, D. J. 1998. Potential threat to *Pleurotus* spp. production from *Trichoderma harzianum* (Th4), cause of mushroom green mold of *Agaricus bisporus*. Mushroom News 46(2):20-24.

Royse, D. J. 1997. Specialty mushrooms and their cultivation. Horticultural Review. 19:59-97.

Royse, D. J., y L. C. Schisler. 1987. Yield and size of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* as effected by delayed-release nutrient. Appl. Microbiol. Biotechnol. 26:191-194.

Royse, D. 1985. Effect of spawn run time and substrate nutrition on yield and size of the shiitake mushroom. Micología. 77: 756-762.

Sánchez A., Esqueda M., Gaitán-Hernández R., Córdova A. y Coronado I. M. 2008. Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. Revista mexicana de micología. 1:101-108.

Stat graphics Plus ver. 5.1. 2000.

Sobal M., Morales P., Bonilla M., Huerta G., Martínez-Carrera D. 2007. El Cultivo de Setas *Pleurotus* spp. In: J.E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal (eds.). ECOSUR-CONACYT, México, D.F. pp.14.

Soto-Velazco, C., S. Fausto, A. Arias y R. Rodríguez. 2008. Manual de prácticas de la materia Biotecnología para el cultivo e hongos comestibles. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Botánica y Zoología. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.

Soto-Velazco, C. 2007. El desarrollo del cultivo de setas en Jalisco. In: Sánchez Vázquez, J.E. D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal-Lara (eds.), El cultivo de setas *Pleurotus* spp en México. El Colegio de la Frontera Sur. 91-100.

Soto-Velazco, C. 2006. Cultivo del hongo comestible *Pleurotus* spp. sobre desechos agrícolas. In: Medina-Ceja, L. G. A. Quintana-Carr y C. Álvarez-Moya (eds.), Tópicos selectos de biología básica y experimental. Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México.

Soto-Velazco, C. y Arias A. 2004. El cultivo de las setas (*Pleurotus* spp): una tecnología de producción de alimentos. Cuellar eds. Guadalajara, México.

Soto-Velazco C. 1998. Efecto del crecimiento de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* sobre la composición química y digestibilidad del rastrojo de maíz. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias de la nutrición animal. Zapopan, Jalisco, Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, pp. 1-64.

Soto-Velazco, C. L., Guzmán-Dávalos. y L. Villaseñor. 1991. Substrates for cultivation of *Pleurotus* in México, I. Tequila maguey bagasse (*Agave tequilana*). Mush. J. Tropics, 11:29-33.

Soto-Velazco, C. 1986. La producción de los hongos comestibles sobre la pulpa de café en la región de Xalapa-Coatepec, Veracruz durante 1985-1986. Revista Mexicana de Micología. 2:437-441.

Stames P. 1993B. Growing gourmet and medicinal fungi Hong Kong: Ten Speed Press and Mycomedea.

Tschierpe, H. J. y K. Hartmann. 197. A comparison of different growing methods. Mushroom Journal 60:404-416.

Valnero, T. M., Quiroz, S. M., Álvarez, H. C. 2010. Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*). 21(2), 13-20

Vega A., G. Mata., D. Salmones y Caballero R. E. 2006. Cultivo de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en Panamá en paja de arroz y pulpa de café. Revista Mexicana de Micología. Xalapa. México. Vol.: 023 pp. 93-97.

Vega, A., R.E. Caballero, J.R. Garcia, N. Mori. 2005. Bioconversion of agroindustrial residues by *Pleurotus ostreatus* cultivation. Revista Mexicana de Micología. 20: 33-38.

Vega, A. 2005. Substratos usados en el cultivo y biodegradación de los mismos a través de los hongos. V Congreso Latinoamericano de Micología. Brasilia, Brasil, 1-5 de agosto, p. 31.

Villegas, E. V., A. Milena. C. Arredondo. 2010. Evaluación de la producción de hongos *Lentinul edodes* en bloques sintéticos a base de residuos agroindustriales. Ingeniería y ciencias. 3:23-39.

Vladimir T., y J.C. de León. 2011. Crecimiento de *Pleurotus ostreatus* sobre una mezcla de papel-paja y cartón-paja como una alternativa de cultivo. Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.

Zadrazil, F. 1980. Conversion of different plant wastes into feed by basidiomycetes. European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology. 9:243-248.

Zadrazil, F. 1977. The conversion of straw into feed by basidiomycetes. European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology. 4:273-281.

Zadrazil, F. 1984. Microbial conversión of lignocellulose into feed. Eds. Sundstol, F. and Oven, E. Straw and other fibrous byproducts as feed. Elsevier. New York. 276.

Zadrazil, F., 1978. Cultivation of *Pleurotus* in: Chang, S T. Y W.A. Hayes (eds.). The biology and cultivation of edible mushrooms. Academic Press, Nueva York.

Zadrazil, F., y R.H. Kurtzmaru 1983. The Biology of *Pleurotus culumbinus* in the tropics In. Tropical Mushrooms: Biological Nature and Cultivation Methods. S.T Chang y T, H. Quimio (eds.). The Chinese University Press. Hong Kong.

## 12. Anexos

### Anexo 1. Tabla ANOVA para producción en gramos de los carpoforos de los 5 tratamientos.

#### Análisis de la Varianza

---

Fuente	Sumas de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	1.59875E6	4	399687.0	10.59	0.0003
Intra grupos	566286.0	15	37752.4		
Total (Corr.)	2.16504E6	19			

---

### Anexo 2. Tabla ANOVA para la eficiencia biológica (E.B.).

#### Análisis de la Varianza

---

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	14097.4	4	3524.34	20.34	0.0000
Intra grupos	3465.72	20	173.286		
Total (Corr.)	17563.1	24			

---

### **Anexo 3. Tabla ANOVA para la tasa de producción (T.P.).**

#### **Análisis de la Varianza**

---

<b>Fuente</b>	<b>Sumas de cuad.</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Cociente-F</b>	<b>P-Valor</b>
Entre grupos	3.54972	4	0.88743	16.23	0.0000
Intra grupos	1.09334	20	0.0546669		
Total (Corr.)	4.64306	24			

---

### **Anexo 4. Tabla ANOVA para el porcentaje de biodegradación de la tripa celulósica.**

#### **Análisis de la Varianza**

---

<b>Fuente</b>	<b>Sumas de cuad.</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Cociente-F</b>	<b>P-Valor</b>
Entre grupos	444.31	4	111.077	7.31	0.0009
Intra grupos	304.068	20	15.2034		
Total (Corr.)	748.378	24			

---

### Anexo 5. Análisis químico proximal de la tripa celulósica sin inocular.

Determinación	Método	Resultado		
		1a. Rep.	2da. Rep.	Promedio
Humedad y materia volátil	AOAC 930.36	22.49%	23.27%	22.87%
Proteína cruda (%N x 6.25)	AOAC 954.04	0.71%	0.55%	0.63%
Extracto etéreo	AOAC 954.02	0.81%	0.81%	0.81%
Cenizas	AOAC 942.05	0.17%	0.37%	0.27%
Fibra cruda	AOAC 962.09	41.44%	41.44%	41.44%
ELN	Por diferencia	34.38%	33.56%	33.98%

### Anexo 6. Análisis químico proximal de la tripa celulósica inoculada al 100 %.

Determinación	Método	Resultado		
		1a.Rep.	2da. Rep.	Promedio
Humedad y materia volátil	AOAC 930.36	8.60%	8.60%	8.60%
Proteínas (%N x 6.25)	AOAC 954.04	0.82%	0.81%	0.82%
Extracto Etéreo	AOAC 954.02	0.20%	0.20%	0.20%
Cenizas	AOAC 942.05	0.62%	0.73%	0.67%
Fibras	AOAC 962.09	53.96%	53.96%	53.96%
ELN	Por diferencia	35.80%	35.70%	35.75%

### Anexo 7. Análisis químico proximal de la tripa celulósica inoculada al 90 %.

Determinación	Método	Resultado		
		1a.Rep.	2da. Rep.	Promedio
Humedad y materia volátil	AOAC 930.36	8.84%	8.85%	8.84%
Proteínas (%N x 6.25)	AOAC 954.04	2.14%	2.22%	2.18%
Extracto Etéreo	AOAC 954.02	0.34%	0.34%	0.34%
Cenizas	AOAC 942.05	2.89%	2.95%	2.92%
Fibras	AOAC 962.09	44.26%	44.26%	44.26%
ELN	Por diferencia	41.53%	41.38%	41.46%



### **Anexo 8. Análisis químico proximal de la tripa celulósica inoculada al 80 %.**

Determinación	Método	Resultado		
		1a.Rep.	2da. Rep.	Promedio
Humedad y materia volátil	AOAC 930.36	11.16%	11.71%	11.69%
Proteínas (%N x 6.25)	AOAC 954.04	1.21%	1.08%	1.14%
Extracto Etéreo	AOAC 954.02	0.24%	0.24%	0.24%
Cenizas	AOAC 942.05	2.56%	2.62%	2.59%
Fibras	AOAC 962.09	39.58%	39.58%	39.58%
ELN	Por diferencia	45.25%	44.77%	44.76%

### **Anexo 9. Análisis químico proximal de la tripa celulósica inoculada al 70 %.**

Determinación	Método	Resultado		
		1a.Rep.	2da. Rep.	Promedio
Humedad y materia volátil	AOAC 930.36	9.74%	9.74%	9.74%
Proteínas (%N x 6.25)	AOAC 954.04	1.71%	1.71%	1.71%
Extracto Etéreo	AOAC 954.02	0.01%	0.01%	0.01%
Cenizas	AOAC 942.05	3.17%	3.14%	3.15%
Fibras	AOAC 962.09	51.45%	51.45%	51.45%
ELN	Por diferencia	33.92%	33.95%	33.94%

### **Anexo 10. Análisis químico proximal de la tripa celulósica inoculada al 60 %.**

Determinación	Método	Resultado		
		1a. Rep.	2da. Rep.	Promedio
Humedad y materia volátil	AOAC 930.36	13.42%	13.25%	13.34%
Proteínas (%N x 6.25)	AOAC 954.04	2.01%	2.25%	2.13%
Extracto Etéreo	AOAC 954.02	0.00%	0.00%	0.00%
Cenizas	AOAC 942.05	4.23%	4.25%	4.24%
Fibras	AOAC 962.09	34.73%	34.73%	34.73%
ELN	Por diferencia	45.61%	45.52%	45.56%

**Anexo 11. Cuantificación de la fibra cruda de la tripa celulósica sin inocular T0.**

Determinación	Método	Resultados		Resultado Promedio
		1a. Rep.	2da. Rep.	
Materia Seca	Por diferencia	77.51%	76.75%	77.13%
Fibra Det. Neutro	AOAC 973.18	74.16%	74.16%	74.16%
Fibra Det. Ácido	AOAC 973.18	65.33%	65.33%	65.33%
Celulosa	POR CALCULO	65.23%	65.23%	65.23%
Hemicelulosa	POR CALCULO	8.83%	8.83%	8.83%
Lignina	AOAC 973.18	0.10%	0.10%	0.10%

**Anexo 12. Cuantificación de la fibra cruda de la tripa celulósica inoculada T1.**

Determinación	Método	Resultados		
		1a. Rep.	2da. Rep.	Promedio
Materia Seca	Por diferencia	91.40%	91.40%	91.40%
Fibra Det. Neutro	AOAC 973.18	80.32%	80.32%	80.32%
Fibra Det. Ácido	AOAC 973.18	67.57%	67.57%	67.57%
Celulosa	PORCALCULO	65.48%	65.48%	65.48%
Hemicelulosa	PORCALCULO	12.75%	12.75%	12.75%
Lignina	AOAC 973.18	2.09%	2.09%	2.09%

**Anexo 13. Cuantificación de la fibra cruda de la tripa celulósica inoculada T2.**

Determinación	Método	Resultados		
		1a. Rep.	2da. Rep.	Promedios
Materia Seca	Por diferencia	91.16%	91.15%	91.16%
Fibra Det. Neutro	AOAC 973.18	76.79%	76.79%	76.79%
Fibra Det. Ácido	AOAC 973.18	70.40%	70.40%	70.40%
Celulosa	PORCALCULO	69.54%	69.54%	69.54%
Hemicelulosa	PORCALCULO	6.39%	6.39%	6.39%
Lignina	AOAC 973.18	0.86%	0.86%	0.86%

#### **Anexo 14. Cuantificación de la fibra cruda de la tripa celulósica inoculada T3.**

Determinación	Método	Resultado		
		1ª. Rep.	2da. Rep.	Promedio
Materia Seca	Por diferencia	88.34%	88.29%	88.31%
Fibra Det. Neutro	AOAC 973.18	77.48%	77.48%	77.48%
Fibra Det. Ácido	AOAC 973.18	40.56%	40.56%	40.56%
Celulosa	PORCALCULO	38.81%	38.81%	38.81%
Hemicelulosa	PORCALCULO	36.92%	36.92%	36.92%
Lignina	AOAC 973.18	1.76%	1.76%	1.76%

#### **Anexo 15. Cuantificación de la fibra cruda de la tripa celulósica inoculada T4.**

Determinación	Método	Resultado		
		1ª. Rep.	2da. Rep.	Promedio
Materia Seca	Por diferencia	90.26%	90.26%	90.26%
Fibra Det. Neutro	AOAC 973.18	77.85%	77.85%	77.85%
Fibra Det. Ácido	AOAC 973.18	69.25%	69.25%	69.25%
Celulosa	PORCALCULO	67.74%	67.74%	67.74%
Hemicelulosa	PORCALCULO	8.60%	8.60%	8.60%
Lignina	AOAC 973.18	1.51%	1.51%	1.51%

#### **Anexo 16. Cuantificación de la fibra cruda de la tripa celulósica inoculada al T5.**

Determinación	Método	Resultado		
		1ª. Rep.	2da. Rep.	Promedio
Materia Seca	Por diferencia	86.58%	86.75%	86.66%
Fibra Det. Neutro	AOAC 973.18	69.22%	69.22%	69.22%
Fibra Det. Ácido	AOAC 973.18	62.97%	62.97%	62.97%
Celulosa	POR CALCULO	61.22%	61.22%	61.22%
Hemicelulosa	POR CALCULO	6.25%	6.25%	6.25%
Lignina	AOAC 973.18	1.75%	1.75%	1.75%



Dibujo realizado por el Dr. Conrado Soto Velazco