



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HONGO
COMESTIBLE *Pleurotus ostreatus* EN RESIDUOS AGRÍCOLAS**

ALEX RICARDO OLIVERA DE LA CRUZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

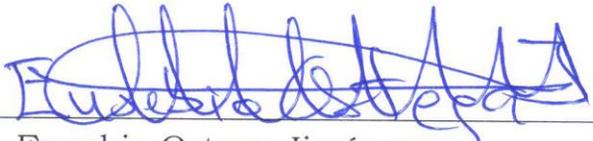
DOCTOR EN CIENCIAS

TEPETATES MUNICIPIO DE MANLIO F. ALTMIRANO, VERACRUZ

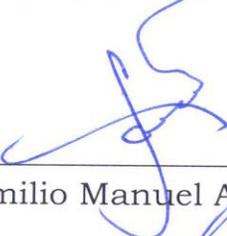
2018

La presente tesis titulada **Proceso biotecnológico para la producción de hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en residuos agrícolas**, realizada por el alumno Alex Ricardo Olivera de la Cruz, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

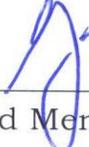
DOCTOR EN CIENCIAS
EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. Eusebio Ortega Jiménez

ASESOR: 
Dr. Pablo Díaz Rivera

ASESOR: 
Dr. Emilio Manuel Aranda Ibáñez

ASESOR: 
Dr. Jesús Alberto Ramos Juárez

ASESOR: 
Dr. Germán David Mendoza Martínez

Tepetates, Manlio F. Altamirano, Veracruz, México, 04 de julio de 2018

**PROCESO BIOTECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE HONGO
COMESTIBLE *Pleurotus ostreatus* EN RESIDUOS AGRÍCOLAS**

Alex Ricardo Olivera de la Cruz, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2018

El objetivo general de esta investigación fue utilizar residuos agrícolas en la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* y estudiar el valor nutritivo del sustrato residual. Este trabajo se dividió en dos experimentos, en el primer experimento, el objetivo fue evaluar la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre los residuos de las cosechas de maíz, frijol y caña de azúcar como sustratos, se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos (Residuos de maíz, frijol y caña de azúcar), se midieron las variables de producción en fresco del hongo (PF), eficiencia biológica (EB), rendimiento (R) y tasa de producción (TP). Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA). Se encontró diferencia estadística ($p < 0.05$) significativa en la primera cosecha de las variables estudiadas el frijol presentó los valores más altos en PF 299.5 g, EB 39.9 %, R 8.7g y TP 0.66 %. En las dos cosechas posteriores las variables no presentaron diferencia significativa. Los residuos de cosecha utilizados demostraron ser una alternativa como sustrato para la producción del *Pleurotus ostreatus*.

El objetivo del segundo experimento fue determinar el efecto del hongo *Pleurotus ostreatus* en la degradación de la fibra de residuos agrícolas, se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo factorial con el factor (4x3)

donde el primer factor fue días de crecimiento (0, 30, 45 y 60) y segundo factor sustratos (residuo de cosecha de maíz, frijol y caña de azúcar), para describir la cinética ruminal de la degradación efectiva se realizó un ajuste no lineal con el modelo de Orskov y McDonald. Las variables evaluadas en residuos inoculados con el hongo *Pleurotus ostreatus*, fueron materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y las degradaciones efectivas de la MS, FDN y FDA. Los resultados obtenidos mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$) en el factor días de crecimiento en MS, FDN y FDA; la PC solo presentó diferencia en el factor sustrato, en la degradabilidad efectiva se observó significancia en el factor sustrato y días de crecimiento con MS, FDN y FDA. Los residuos agrícolas inoculados con hongo *Pleurotus ostreatus* mejoran la digestibilidad de los sustratos.

Palabras clave: Degradación, sustratos

**BIOTECHNOLOGICAL PROCESS FOR THE PRODUCTION OF EDIBLE
PONDS *Pleurotus ostreatus* IN AGRICULTURAL RESIDUES**

Alex Ricardo Olivera de la Cruz, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2018

The general objective of this research was to use agricultural residues in the production of the fungus *Pleurotus ostreatus* and to study the nutritive value of the residual substrate. This work was divided into two experiments, in the first experiment, the objective was to evaluate the production of the fungus *Pleurotus ostreatus* on the residues of corn, bean and sugarcane crops as substrates, a completely randomized experimental design was used with three treatments (Residues of corn, beans and sugarcane), the variables of fresh production of the fungus (PF), biological efficiency (EB), yield (R) and production rate (TP) were measured. The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA). A statistically significant difference ($p < 0.05$) was found in the first crop of the variables studied. The beans presented the highest values in PF 299.5 g, EB 39.9%, R 8.7 g and TP 0.66%. In the two subsequent harvests, the variables did not show a significant difference. The harvest residues used proved to be an alternative as a substrate for the production of *Pleurotus ostreatus*.

The objective of the second experiment was to determine the effect of the fungus *Pleurotus ostreatus* on the degradation of the fiber of agricultural residues, a completely randomized experimental design was used, with a factorial arrangement with the factor (4x3) where the first factor was days of growth (0,

30, 45 and 60) and second factor substrates (harvest residue of corn, beans and sugar cane), to describe the ruminal kinetics of the effective degradation, a non-linear adjustment was made with the model of Orskov and McDonald. The variables evaluated in residues inoculated with the fungus *Pleurotus ostreatus*, were dry matter (DM), crude protein (PC), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and effective degradations of DM, NDF and ADF. The results obtained showed significant difference ($p < 0.05$) in the factor days of growth in MS, NDF and FDA; the PC only presented a difference in the substrate factor, in the effective degradability, significance was observed in the substrate factor and days of growth with MS, NDF and FDA. The agricultural residues inoculated with fungus *Pleurotus ostreatus* improve the digestibility of the substrates

Key words: Degradation, substrates

Dedico esta tesis a:

A DIOS.

Por permitirme salud y vida para lograr mis metas planteadas además de su infinita bondad y amor.

A mis padres

Constantino Olivera (q. e. p. d) y Juana De la cruz (q. e. p. d), por todos los ejemplos de superación y perseverancia en la vida.

A mi esposa

Esto es por ti Laura por todo el amor incondicional y apoyo que me has brindado durante estos años.

A mis hijos

Fátima Judith y Alex Yamil por el amor, felicidad que me han brindado ya que ustedes son el motor de mi existencia. Esperando ser un ejemplo en sus vidas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado. Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz por permitirme estudiar en sus instalaciones.

A los integrantes de mi Consejo Particular: Dr. Eusebio Ortega Jiménez, Dr. Pablo Díaz Rivera, Dr. Emilio Manuel Aranda Ibáñez, Dr. Jesús Alberto Ramos Juárez, Dr. Germán David Mendoza Martínez por las enseñanzas, dedicación, paciencia y apoyo brindado.

Muchas gracias por ser como son.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
I. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	2
II. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.1 Objetivos Particulares.....	3
III. HIPÓTESIS GENERAL	4
3.1 Hipótesis particulares.....	4
IV. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
4.1 La Teoría General de Sistemas.....	4
4.2 Los sistemas Complejos.....	5
4.3 Agroecosistemas	5
V. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
5.1 Clasificación de residuos	6
5.2 Composición de la pared celular	6
5.3 Celulosa	7
5.4 Hemicelulosa	7
5.5 Lignina	8
5.6 Microorganismos capaces de degradar los enlaces lignocelulolítico.....	9
5.7 Hongo <i>Pleurotus Ostreatus</i>	10

VI. LITERATURA CITADA.....	13
Capítulo I. Producción de hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en residuos agrícolas.....	19
1.1 Resumen	19
1.2 Abstract	20
1.3 Introducción.....	21
1.4 Materiales y métodos	22
1.4.1 Sitio de estudio.....	22
1.4.2 Microorganismo utilizado.....	23
1.4.3 Preparación del sustrato e inoculación.....	23
1.4.4 Fase de incubación.....	23
1.4.5 Fase de fructificación.....	24
1.4.6 Variables de producción	24
1.4.7 Diseño experimental y análisis estadístico	24
1.5 Resultados	25
1.6 Discusión	26
1.7 Conclusión	29
1.8 Literatura citada.....	30
Capítulo II. Efecto de la inclusión del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en la degradación de los residuos agrícolas	37
2.1 Resumen.....	37

2.2 Abstract	38
2.3 Introducción.....	40
2.4 Materiales y métodos.....	41
2.4.1 Sitio de estudio.....	41
2.4.2 Sustrato	41
2.4.3 Inóculo	41
2.4.4 Cultivo en medio sólido.....	41
2.4.5 Análisis Químicos.....	42
2.4.6 Estudio de la degradación <i>in situ</i>	42
2.4.7 Diseño experimental y análisis estadístico	42
2.5 Resultados y discusión.....	44
2.6 Conclusión	51
2.7 Agradecimientos.....	51
2.8 Literatura citada	52
CONCLUSIONES GENERALES.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Página</u>
Tabla 1 Clasificación del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	11
Tabla 1.1 Composición química de los residuos.....	35
Tabla 1.2 Producción (g) <i>Pleurotus ostreatus</i> en tres tipos de sustratos.	35
Tabla 1.3 Eficiencia Biológica (%) de <i>Pleurotus ostreatus</i> en tres tipos de sustratos.	35
Tabla 1.4 Rendimiento (g) de <i>Pleurotus ostreatus</i> en tres tipos de sustratos. ..	36
Tabla 1.5 Tasa de Producción (%) de <i>Pleurotus ostreatus</i> en tres tipos de sustratos.	36
Tabla 2.1 Composición química de los residuos agrícolas tratados con <i>Pleurotus ostreatus</i>	44
Tabla 2.2 Efecto del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en los residuos agrícolas en la degradación efectiva de la MS, FDN y FDA.	45
Tabla 2.3 Efecto del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> en los residuos agrícolas en la tasa de degradación de la MS, FDN y FDA.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura 1: Estructura de la pared celular.....	7
Figura 2: Estructura de la lignina.	9
Figura 3: Hongo <i>Pleurotus ostreatus</i>	12

ABREVIATURAS USADAS

N	Nitrógeno	%	Porcentajes
°C	Grados Celsius	TP	Tasa de producción
mm	Milímetros	MS	Materia seca
T	Toneladas	PC	Proteína cruda
PF	Producción en fresco	FDN	Fibra detergente neutra
Kd	Tasa de degradación	FDA	Fibra detergente ácida
EB	Eficiencia biológica	DIMS	Degradación de la materia seca
cm	Centímetros	DEFDN	Degradación efectiva de la fibra detergente neutra
R	Rendimiento	DEFDA	Degradación efectiva de la fibra detergente ácida
G	Gramos	DEMS	Degradación efectiva de la materia seca
h	Hora	AOAC	Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists.
ha	Hectárea		

INTRODUCCIÓN GENERAL

Todo proceso agrícola genera en la cosecha residuos o desechos vegetales; el efecto negativo de estos residuos sobre el medio ambiente se debe a la acumulación de los mismos en las zonas de cultivo, convirtiéndose en fuente de malos olores (causados por procesos fermentativos), gases, hospedero de plagas y vectores de enfermedades, lo que hace necesaria la gestión adecuada de éstos con el fin de minimizar el impacto asociado a su producción (Carrión *et al.*, 2006). La práctica más común es quemar los residuos generando grandes cantidades de contaminantes tales como el bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) bióxido de nitrógeno (NO₂), hidrocarburos (NMHC) y otras partículas que tienen consecuencias en los efectos del cambio climático (Quintero y Moncada, 2008). En ese sentido, es útil saber que los residuos agrícolas generados en el país en 2009 fueron 864,144 t año⁻¹ (SIAP 2013).

Las características y composición química de los residuos agrícolas varían según el estado fisiológico de la planta. Todo esto hace que dichos residuos presenten un contenido de humedad variable, alto contenido de materia orgánica, composición mineral variable y generalmente, una elevada relación Carbono/Nitrógeno (Carrión *et al.*, 2006; Martínez, 2006; López y Boluda, 2008). Los residuos agrícolas son una fuente renovable de materia orgánica que puede ser transformada por métodos químicos y biológicos (hidrólisis enzimática, cultivo de microorganismos) en productos de interés alimenticio e industrial como biocombustibles, enzimas, químicos orgánicos, azúcares simples,

metabolitos secundarios y proteína celular (Howard *et al.*, 2003; Tengerdy y Szakacs, 2003).

La falta de valor económico de estos materiales residuales puede deberse tanto a la carencia de tecnologías adecuadas para su aprovechamiento como a la inexistencia de mercados para los productos recuperados, la utilización de microorganismos lignocelulolítico es una alternativa para minimizar el impacto ecológico.

I. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La escasez de forrajes en el trópico en la época de norte y seca (Aranda 2000). Es debido a que el crecimiento de las plantas forrajeras está influenciado por la temperatura, la precipitación y la radiación solar que imposibilita la obtención de materia seca con calidad nutricional, lo cual repercute en la producción de carne y leche.

Para evitar variaciones en la producción animal, se han implementado estrategias de suplementación asociadas principalmente con la utilización de granos. Sin embargo, el uso de concentrados comerciales no siempre está al alcance de los pequeños productores debido a su alto costo en el mercado, por lo cual es necesario buscar alternativas productivas y económicamente factibles.

Los residuos de la caña de azúcar son una alternativa viable para ser utilizado como un recurso forrajero (Aranda *et al.*, 2003), aunque presenta deficiencias nutricionales como el bajo contenido de nitrógeno (N), baja degradación de la fibra y reducido contenido de minerales (Aranda 2000).

La estructura de la pared celular pudiera modificarse a través de un tratamiento biológico que se ha desarrollado para mejorar la digestibilidad de los residuos agrícolas al separar el complejo lignocelulolítico ya sea por extracción o descomposición. Con el uso de la biotecnología, se han desarrollado diferentes alternativas para mejorar la calidad de los forrajes y subproductos agrícolas, destacando la utilización de bacterias, levaduras, hongos y enzimas para reducir los componentes fibrosos e incrementar la digestibilidad de los forrajes de baja calidad.

II. OBJETIVO GENERAL

Utilizar residuos agrícolas en la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* y estudiar el valor nutritivo del sustrato residual.

2.1 Objetivos Particulares

1: Evaluar la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre los residuos de las cosechas de maíz, frijol y caña de azúcar como sustratos.

2: Determinar el efecto del hongo *Pleurotus ostreatus* en la degradación de la fibra de residuos agrícolas inoculados.

III. HIPÓTESIS GENERAL

Los residuos de las cosechas de maíz, frijol y caña de azúcar favorecen la producción del hongo *Pleurotus ostreatus*.

3.1 Hipótesis particulares

1: Existen diferencias en la producción del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* en los diferentes residuos agrícolas.

2: La inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus* incrementará la degradación de los residuos agrícolas.

IV. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

4.1 La Teoría General de Sistemas

La presente investigación tomará en consideración la Teoría General de Sistemas que fue definida por Bertalanffy (1950). El concepto de sistemas ha invadido todos los campos de la ciencia los pensamientos y el habla popular en los medios de comunicación. El especialista en sistemas debe de considerar soluciones posibles que prometan optimizar con máxima eficiencia y mínimo costo en una red de interacción compleja.

La teoría general de sistema nos permite obtener la representación de la realidad desde un enfoque científico ya que esta nos permite incorporar disciplinas científicas para la solución de situaciones complejas Chechland (1990). De esta manera la teoría nos permitirá obtener esa fracción de los sistemas de producción

agrícola y analizarla científicamente sin perder los aspectos sociales y ambientales.

4.2 Los sistemas Complejos

Autores como (Miller, 1965; García, 2008) Mencionan que un sistema complejo es un conjunto de elementos que se encuentran relacionados entre sí, podríamos considerarlo como parte de una realidad (recorte) que nos permitirá conocer las interrelaciones que existe y no pueden ser analizado por separado.

Podríamos mencionar que los sistemas agrícolas (caña de azúcar, maíz y frijol) se tienen que analizar de una manera sin dejar a un lado la relación que existe en cada elemento tanto social como cultural, tomando en cuenta la importancia de las diversas disciplinas para el entendimiento de estos sistemas.

4.3 Agroecosistemas

Es el estudio de los fenómenos ecológicos en el campo y su objetivo principal es la de equilibrar estas relaciones a su vez pueden ser administrados de una forma que los impactos negativos sean menores en el medio ambiente y en la sociedad.

Bertalanffy (1976) menciona que los Agroecosistemas es un sistema ecológico por lo tanto se deben de analizar de tal manera sin dejar a un lado un componente ya que se tiene que analizar la interrelación que existe entre ellos.

V. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

5.1 Clasificación de residuos

Los residuos se clasifican de acuerdo a su naturaleza, en orgánicos e inorgánicos, destacando los orgánicos tanto por su elevado volumen de producción como por el fuerte impacto medioambiental que provocan (Costa et al., 1991; Abad y Puchades, 2002; Bernal y Gondar, 2008). Fuente renovable de materia orgánica que puede ser transformada por métodos químicos y biológicos.

5.2 Composición de la pared celular

La composición de la pared celular varía considerablemente entre las plantas y está influenciada por factores genéticos y ambientales. La celulosa, hemicelulosa y lignina son los principales componentes del material lignocelulósico (Malherbe y Cloete, 2002). Estos componentes están enlazados químicamente por fuerzas covalentes y no covalentes. En las fibras también se encuentran otros componentes como las pectinas, los taninos y minerales. Así, Jung y Allen (2011), plantean que la estructura de la pared celular de los forrajes es uno de los factores principales que limitan el consumo, la digestibilidad y por consiguiente la energía disponible en los rumiantes.

Los rumiantes han logrado desarrollar la habilidad de desdoblar las estructuras de las plantas para cubrir los requerimientos energéticos a través de la fermentación de las paredes celulares de los forrajes en el rumen por los microorganismos ruminales (Aman, 1993; Wilson, 1993). Los residuos agrícolas contienen principalmente paredes secundarias que le proporcionan rigidez y resistencia a la degradación ruminal

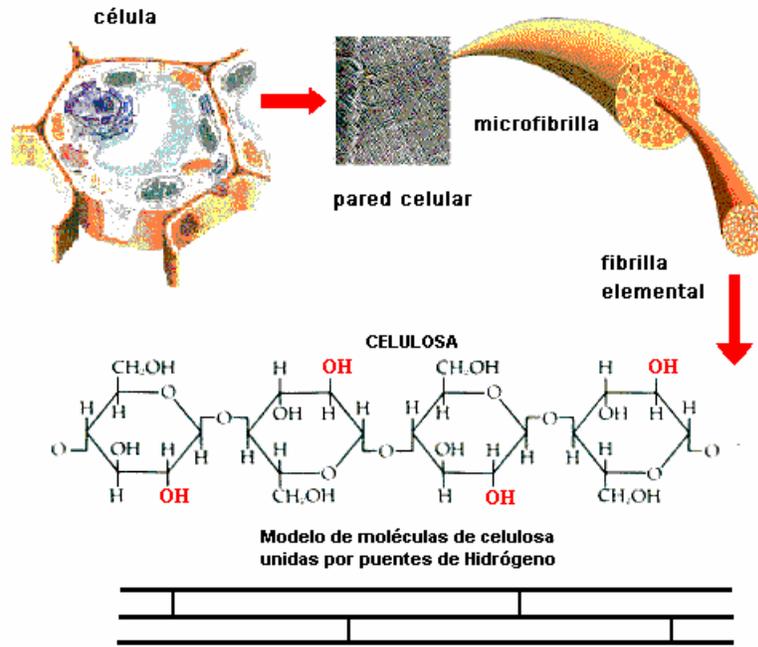


Figura 1: Estructura de la pared celular.

5.3 Celulosa

La celulosa es el mayor componente del complejo lignocelulosa, constituido de 3,500 unidades de glucosa o más, unidas por enlaces glicosídicos β -1,4. La unión de cientos de unidades de este polímero forma las cadenas llamadas microfibrillas unidas entre sí por puentes de hidrogeno, las cuales se agrupan en fibras elementales que constituye la celulosa (Cullen y Kersten, 1992; Pérez *et al.*, 2002). La cual se encuentra unida a la lignina formando una mezcla de polímeros de ácido fenólico no aprovechables biológicamente (Church *et al.*, 2004).

5.4 Hemicelulosa

La hemicelulosa es un heteropolisacárido ramificado de cadenas cortas que, generalmente, se clasifica de acuerdo al principal residuo azucarado presente en el esqueleto del polímero, cubre las fibras de la celulosa, su estructura se

compone de unidades D-glucosa, D-galactosa, D-manosa, D-xilosa, L-arabinosa y ácido glucorónico. Es el principal componente de la pared celular pero no el más abundante. Su función es aglutinar las fibras cristalinas de celulosa, dando consistencia a la pared celular (Church 1993). Está compuesta de dos tipos de polisacáridos: I) celulosanas, polisacáridos de cadena corta que forman parte de la misma estructura de la celulosa y están orientadas en la estructura micelar. II) polisacáridos amorfos, incrustados y asociados a la lignina de la membrana celular.

5.5 Lignina

La palabra “lignina” se deriva de la palabra latina "*lignum*”, que significa madera. Anselme Payen en dos publicaciones en 1838 fue el primero en reconocer la composición de la madera y referirse a una sustancia rica en carbón integrada a la celulosa de la madera, polímero de difícil degradación por su estructura e insolubilidad en agua (McCarthy *et al.*, 2000). La lignina es un polímero estructural de las plantas vasculares que está compuesta de unidades de fenilpropano (alcohol coniferílico, sinapílico y cumarílico), unidas entre sí por enlaces carbono-carbono y aril-éter. Su función es conferir soporte estructural, impermeabilidad y resistencia al ataque por microorganismos (Howard *et al.*, 2003; Martínez *et al.*, 2005).

La molécula de la lignina presenta una estructura ramificada irregular. La lignina es un polímero aromático a diferencia de la mayoría de los polímeros de la pared celular, con un arreglo desigual de polímeros de fenilpropano que resiste la degradación química o enzimática, protectora de la celulosa.

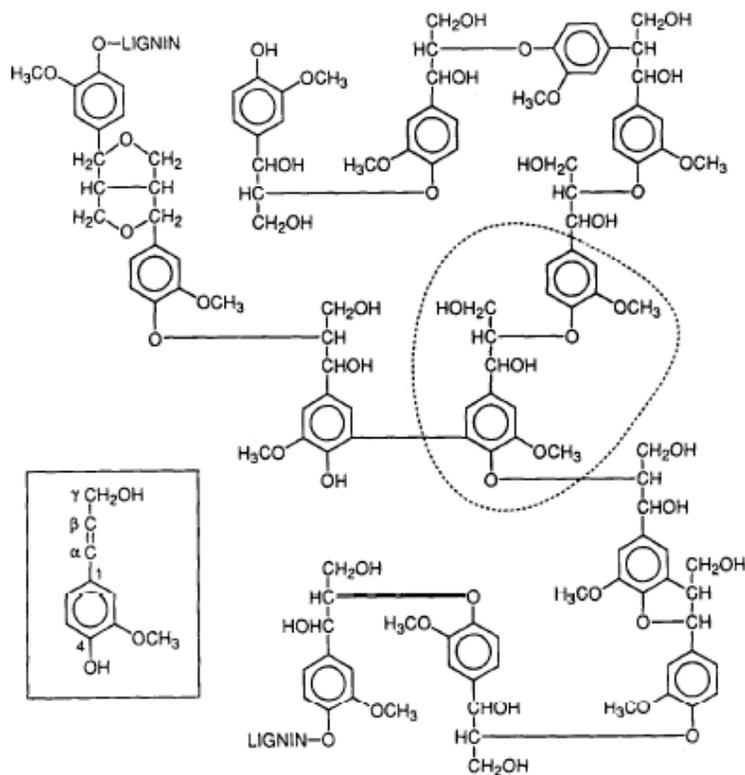


Figura 2: Estructura de la lignina.

5.6 Microorganismos capaces de degradar los enlaces lignocelulolíticos

Los microorganismos capaces de degradar los enlaces lignocelulolíticos principales componentes de la pared celular de los residuos (plantas) incluyen bacterias y hongos, aerobios, anaerobios, mesofílicos y termofílicos los cuales cuentan con acción enzimática necesaria para dicho propósito, por tal motivo, su aislamiento e identificación representa un importante recurso para lograr la disminución del impacto ambiental que estos generan.

Los hongos degradan la celulosa rompiendo los enlaces glicosídicos β 1-4, por medio de endoglucanasas que cortan las regiones internas amorfas de la celulosa

y exoglucanasas que cortan los extremos libres (Aro *et al.*, 2005; Sánchez, 2009; Bastias *et al.*, 2009; Dias *et al.*, 2010).

Para la degradación de la lignina, los microorganismos producen tres tipos de enzimas extracelulares para su degradación, las **lignin** y **manganeso** peroxidases que oxidan los anillos aromáticos utilizando el peróxido de hidrógeno como co-substrato y **laccasa** que oxida los residuos metoxilo laterales utilizando oxígeno molecular como co-substrato (Leonowicz *et al.*, 1999; Hobbie *et al.*, 2003; Sánchez, 2009; Días *et al.*, 2010).

5.7 Hongo *Pleurotus ostreatus*

El hongo *Pleurotus* es cultivado en diferentes partes del mundo y apreciado por su buen sabor, Mandeel *et al.* (2005) reportaron propiedades medicinales como son microbiana anticancerígena, antibiótica y como auxiliar en el control de problemas de colesterol por el contenido de lovastatin que presenta el *pleurotus*, es uno de los hongos comestible con mayor importancia a nivel mundial siendo china el principal productor (Zhang *et al.*, 2014).

Presenta otras características biológicas como es la capacidad de degradar residuos lignocelulósico para su crecimiento ya que produce grandes cantidades de enzimas lacasas para la degradación de la lignina. Estas enzimas son capaces de degradar compuestos orgánicos o industriales (Singh, 2006), es un basidiomiceto de la podredumbre blanca ya que secreta enzimas capaces de degradar los principales polisacáridos (celulosa, hemicelulosa y lignina).

Los de clase basidiomicetos de podredumbre blanca constituyen el grupo más hábil de microorganismos a la hora de llevar a cabo una eliminación rápida y

efectiva de la lignina. Asimismo, los hongos de la podredumbre blanca también degradan celulosa y hemicelulosa (fuente real de energía) y mejora la condición del material para su posterior uso como alimento de rumiantes (Flores, 1986; Chan y Milles, 2004). Según Rodríguez *et al.* (2006), el término podredumbre o pudrición blanca hace referencia a la celulosa blanca expuesta después de la degradación de la lignina por parte del microorganismo. Dentro de los denominados hongos de podredumbre blanca se incluyen una gran variedad de especies.

Entre ellas se encuentra, el hongo Comestible *Pleurotus ostreatus* comúnmente conocido como hongo ostra entre sus cualidades principales están: la proteína de alta calidad considerando también que no es comparada a la proteína animal, presenta cualidades medicinales (Miles y Chang, 1995), potencializa como forraje el sustrato que es usado para su cultivo ya que se ha encontrado mejoramiento de la digestibilidad de estos (Karunanandaa *et al.*, 1995; Okano *et al.*, 2007).

Taxonómicamente se le puede clasificar (Furci, 2007):

Tabla 1 Clasificación del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Reino	Fungi
División	Astigmaticomycetes
Subdivisión	Basidiomycotinas
Clase	Basidiomycetes
Subclase	Holobasidiomycetes
Orden	Agaricales
Familia	Pleurotaceae
Género	<i>Pleurotus</i>

El hongo presenta una forma de paraguas con un sombrero liso de 40 a 200 mm de diámetro de forma abierta convexa y un eje que lo sostiene de 10 a 25 mm. Crece de una forma fasciculada o imbricada, presenta colores muy variados de crema, blanquecino. La carne es de color blanca a grisácea (Breitenbach y Kränzlin, 1991).



Figura 3: Hongo *Pleurotus ostreatus*.

VI. LITERATURA CITADA

- Abad, M. y Puchades, R., 2002. Compostaje de residuos orgánicos generados en la hoya de Buñol (Valencia) con fines Hortícolas. Asociación para la Promoción Socio-Económica Interior Hoya de Buñol, Valencia.
- Aman, P., 1993. Composition and structure of cell wall polysaccharides in Forage. In: Forage Cell wall Estructure and Digestibility. H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, J. Ralph (Eds.). ASA-CSSA-SSSA, Madison Wisconsin, USA. pp: 183-199.
- Aranda, I. E. M. 2000. Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis en opción al grado de Dr. Cs. Vet. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Aranda, I.E. M., Ramos, A. J. y Mendoza M. G. D. 2003. Utilización de la caña de azúcar como suplemento en animales en pastoreo para la producción de carne en el trópico. Investigación en Caña de Azúcar. Folleto de Fundación Produce Tabasco. 13 p.
- Aro, N; T Pakula and B Penttilä. 2005. Transcriptional regulation of plant cell wall degradation by filamentous fungi, FEMS Microbiology Reviews 29: 719-739.
- Bastias, B; I Anderson; I Rangel-Castro; P Parkin; J Prosser and W Cairney. 2009. Influence of repeated prescribed burning on incorporation of ¹³C from cellulose by forest soil fungi as determined by RNA stable isotope probing, Soil Biology and Biochemistry 41(3): 467-472.

- Bernal, P. y Gondar, D., 2008. Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). Compostaje. Pp. 9-41. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Bertalanffy, L. 1950. The theory of Open Systems in Physics and Biology. Science, vol. III. Pp 23-29.
- Bertalanffy, L. V. 1976. Teoría General de los Sistemas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. Pág. 1-24.
- Breitenbach, J., Kränzlin, F. (1991). Fungi of Switzerland, Vol. 3. Agarics. 1st part, Boletes and Agarics, Strobilomycetaceae, Boletaceae, Paxillaceae, Gomphidiaceae, Hygrophoraceae, Tricholomataceae, Polyporaceae (Lamellate).
- Carrión, C., Abad, M. y Puchades, R., 2006. Desarrollo de Nuevos Sustratos de Cultivos para la producción de planta ornamental en maceta a partir de compost de residuos de cultivos Hortícolas. Tesis Doctoral. Valencia.
- Chang, SH. y Miles, P. 2004. Mushrooms cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. CRC Press. USA. ISBN 0-8493-1043-1.431p.
- Chechland, P. 1990. La materia de los sistemas. In: Pensamiento de sistemas, Práctica de Sistemas. Grupo Noriega Editores. México. Pág. 1-35.
- Church, D.C., 1993. El rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición. Zaragoza, España. Ed. Acribia.
- Church, D.C., Pond, K.R. y Pond, W.G., 2004. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. 2a Edición. México, D.F. Limusa.

- Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A., 1991. Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización. CSIC-Consejo Superior de Investigación Científicas, CEBAS-Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia.
- Cullen, D. y Kersten P., 1992. Fungal enzymes for lignocellulose degradation. In Kinghorn J.R, Turner G., eds. Applied molecular genetics of filamentous fungi. New York.
- Dias, A; G Freitas; G Marques; A Sampaio; I Fraga; M Rodrigues; D Evtuguin and R Bezerra. 2010. Enzymatic saccharification, of biologically pre-treated wheat straw with white-rot fungi. Bioresource technology 101(15): 6045-6050.
- Flores. M.J., 1986. Manual de alimentación animal, vol 3, Ciencia y Técnica. 528-538 pp.
- Furci G. 2007. Fungí Austral: Guía de campo de los hongos más vistosos de Chile. Ed. Corporación Chilena de la Madera. Concepción, Chile, 1-200.
- Garcia, R. 2008. Sistemas Complejos. Conceptos, Método y Fundamentación Epistemológica de la Investigación Interdisciplinaria. Editorial Gedisa. Barcelona, España. 200 pág.
- Hobbie, E; L Watrud; S Maggard; T Shiroyama and P Rygiewicz. 2003. Carbohydrate use and assimilation by litter and soil fungi assessed by carbon isotopes and BIOLOG® assays. Soil Biology & Biochemistry 35: 303-311.

- Howard R.L., Abotsi E., Jansen van Rensburg E.L., and Howard S., 2003. Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. *African Journal Biotechnology* 2(12):602-619.
- <http://www.siap.gob.mx> Consultado: 20 de abril del 2013.
- Jung, H.G., 2011. Forage digestibility: the intersection of cell wall lignification and plant tissue anatomy. In: III International Symposium Advances on Research Techniques for Ruminant Nutrition, March 24-25, 2011, Pirassununga, Brazil. pp. 137 – 160
- Karunanandaa K, Varga GA, Akin DE, Rigsby LL, Royse DJ. 1995. Botanical fractions of rice straw colonized by white-rot fungi: changes in chemical composition and structure. *Animal Feed Science and Technology*. 55:179-199.
- Leonowicz, A; A Matuszewska; J Luterek; D Ziegenhagen; M Wojtaoe Wasilewska; N Cho; M Hofrichter & J Rogalski. 1999. Biodegradation of lignin by white rot fungi. *Fungal Genetics and Biology* 27: 175-185.
- López, M.J y Boluda, R., 2008. Residuos agrícolas en: Moreno, J. y Morales, R. (Eds.). *Compostaje*. PP. 489 – 518. Edición Mundi – Prensa, Madrid.
- Maherbe, S., y Cloete, T.E., 2002. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications. *Rev. Environ Sci Biotechnol*. Vol. 1 pp. 105 – 114.
- Mandeel Q.; Al-Laith A.A. and Mohamed S.A. 2005. Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus spp.*) on various lignocellulosic wastes. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 601-607 p.

- Martínez, F.X., 2006. Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. Revista técnica del medio ambiente 111, pp. 62-75.
- Martínez, T.A., Esperanza, M., Ruiz-Dueñas J.F., Ferreira, P., Camarero S., Guillén, F., Martínez, J.M., Gutiérrez, M., Del Río C.J., 2005. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. International. Vol. 1(1): pp. 36-50.
- McCarthy, J., and Islam, A., 2000. Lignin chemistry, technology and utilization; a brief history. In Glasser, W., Northey G.R., Schultz T.P. (Eds.), Lignin Historical, Biological, and Materials Perspectives. American Chemical Society, Washington, DC. Vol. 8: pp. 2-99.
- Miles PG, and, Chang ST. 1995. Biología de las setas: Fundamentos básicos y acontecimientos actuales, Bogotá. World Scientific. pg. 206.
- Miller, J. G. 1965. Living systems: basic concepts. Behavioral Science 10: 193-237.
- Okano K, Fukui S, Kitao R, Usagawa T. 2007. Effects of culture length of *Pleurotus eryngii* grown on sugarcane bagasse on in vitro digestibility and chemical composition. Anim. Feed Sci Technol. 136:240-247.
- Pérez, J., Muñoz, J., Rubia, T. and Martínez, J., 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: overview International Microbiology, pp 53 – 63.
- Quintero M. y Moncada A. (2008). Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California. RyS XX, 3-24.

- Rodríguez, P.S, Bermúdez, S.R.C, Serrat, D.M Y Kourouma, A. 2006. Selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* para la decoloración de afluentes industriales. Rev. MexMicol. Vol. 23: pp. 9 -15.
- Sánchez, C. 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. Biotechnology Advances 27(2): 185-194.
- Singh, H. (2006). Biorremediation: Fungal remediation. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- Tengerdy R.P. and, Szakacs G., 2003. Bioconversion of lignocellulose in solid substrate fermentation. Biochemical Engineering Journal 13: 169–179.
- Wilson, J.R., 1993. Organization of forage plant tissues. In H. G Buxton, R.D. Hatfield, and J. Ralph (Eds.). Forage Cell Wall Structure and Digestibility. ASA-CSSA-SSSA, Madison WI, USA. pp: 1-32.
- Zhang, Y., Geng, W., Shen, Y., Wang, Y. and, Dai, Y. C. (2014). Edible Mushroom Cultivation for Food Security and Rural Development in China: Bio-Innovation, Technological Dissemination and Marketing. Sustainability, 6(5): 2961-2973.

Capítulo I. Producción de hongo *Pleurotus ostreatus* en residuos agrícolas

Mushroom production of *Pleurotus ostreatus* in agricultural waste

Alex Olivera D, ¹ M.Sc, Eusebio Ortega J, ^{1*} Ph.D, Pablo Díaz R, ¹ Ph.D, Emilio Aranda I, ² Ph.D, German Mendoza M, ³ Ph.D, Daniel Utrera ⁴ Ing.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Carretera Xalapa – Veracruz, Predio Tepetates entre Puente Julia y Paso San Juan, C.P. 91690. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco, México C.P. 86500. ³Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco Biotechnology Department, Xochimilco, DF. México. ⁴ KM 4.5 Carretera Cardel Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz.

*Correspondencia: eortegaj@colpos.mx

Artículo enviado a la revista MVZ Colombia

1.1 Resumen

Objetivo. Evaluar la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre residuos de las cosechas de maíz, frijol y caña de azúcar como sustratos. Materiales y métodos. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos (Residuos de maíz, frijol y caña de azúcar) y cuatros repeticiones usando medidas repetidas. Los residuos se molieron a un tamaño de 2 a 5 cm de diámetro. La producción se realizó de una manera artesanal, se midieron las variables producción en fresco del hongo (PF), eficiencia biológica (EB), rendimiento (R) y tasa de producción (TP). Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) con el paquete estadístico SAS. Resultados. Se encontró diferencia estadística ($p < 0.05$) significativa en la primera cosecha de las variables estudiadas presentando los valores más alto los residuos de frijol en PF 299.5 g por Kg, EB 39.9 %, R 8.7g por Kg y TP 0.66 %. En las dos cosechas posteriores las variables no presentaron diferencia significativa en los sustratos utilizados. Conclusiones. Se determinó que los residuos utilizados como sustrato

para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* demostraron ser una alternativa para la producción y de esta manera darles un aprovechamiento integral a dichos residuos.

Palabras clave: Eficiencia biológica, Frijol, Maíz, Producción, Rendimiento (Fuente: AGROVOC).

1.2 Abstract

Objective. To evaluate the production of the fungus *Pleurotus ostreatus* on crop residues of corn, beans and sugar cane as substrates. Materials and methods. A completely randomized experimental design was used with three treatments (corn, bean and sugar cane residues) and four repetitions using repeated measures. The residues were ground to a size of 2 to 5 cm in diameter. The production was carried out in an artisanal way, the variables were measured fresh production of the fungus (PF), biological efficiency (EB), yield (R) and production rate (TP). The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) with the statistical package SAS. Results A statistically significant difference ($p < 0.05$) was found in the first crop of the studied variables, the highest values being bean residues in PF 299.5 g per Kg, EB 39.9%, R 8.7g per Kg and TP 0.66%. In the two subsequent harvests the variables did not present significant difference in the substrates used. Conclusions It was determined that the residues used as substrate for the cultivation of *Pleurotus ostreatus* proved to be an alternative for the production and in this way give them an integral use to said residues.

Keywords: Biological efficiency, beans, corn, Production, Yield (Source: AGROVOC).

1.3 Introducción

El hongo *Pleurotus ostreatus* es conocido con el nombre comercial de “ostra” saprofito que pertenece a la clase basidiomicetes, es uno de los degradadores primarios más efectivos que presenta gran versatilidad, adaptación a diferentes rangos de temperatura y sustratos lignocelulósicos (1).

La bioconversión de los residuos lignocelulolítico en la producción de hongo, se considera como una alternativa viable para la producción de alimento para consumo humano ya que contiene un alto valor proteínico, fibra, vitaminas del complejo B, vitamina C, calcio y fosforo (2, 3). Se caracteriza por reducir los niveles de colesterol en la sangre, sustancias antioxidantes, inmuno estimulante, antivirales y antiinflamatorio (4).

El *P. ostreatus* es utilizado en tratamientos biológico de residuos agrícolas para generar un complemento en la dieta animal o biofertilizante por su alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (5,6), se ha observado que en sustratos que se utilizaron para la producción de hongos se redujo un 80 % en el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina (7)

Actualmente la producción de hongos comestibles en México ofrece notables ventajas económicas y ecológicas, se estima que la producción comercial en fresco en México es de aproximadamente 1,973.95 t año⁻¹ (8). La importancia ecológica radica en la utilización de más de 474,000 t año⁻¹ de subproductos

agrícolas, agroindustriales y forestales (9,10) ya que en los últimos años el sistema de producción de hongos comestibles constituye una alternativa en la producción de alimentos en el medio rural ya que este no afecta los valores, ni las actividades centrales de la vida campesina y tampoco daña su entorno ecológico (11)

Cada año en Veracruz se generan 65,150 t⁻¹, junto a los estados de Chiapas, Oaxaca y Puebla aportan el 25 % de los residuos generados en el país (8). Una de las prácticas comunes es quemar los residuos agrícolas generando grandes cantidades de emisiones gaseosas que contaminan la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero. En el cultivo de la caña de azúcar se generan 18 t/MS/ha de residuos (hojas, puntas, tallos, cogollo), que queda en el campo (12).

El cultivo del *Pleurotus ostreatus* en residuos agrícolas representa una alternativa para la producción de un alimento de alto valor nutricional en un espacio relativamente pequeño y de bajo costo que puede ser aceptado a nivel urbano y rural (13). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* en los residuos de maíz, frijol y caña de azúcar.

1.4 Materiales y métodos

1.4.1 Sitio de estudio

El presente trabajo fue realizado en el laboratorio de Biotecnología del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván ubicado en la Carretera Cardel Chachalacas Kilómetro 4.5 Úrsulo Galván, Veracruz México.

1.4.2 Microorganismo utilizado

Se utilizó la cepa *Pleurotus ostreatus* donada por el Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (ITUG).

1.4.3 Preparación del sustrato e inoculación

Los sustratos utilizados para el cultivo del hongo fueron residuos de cosecha de maíz, frijol y caña de azúcar. Los residuos fueron recolectados en las comunidades de Puente Jula y Salmoral Veracruz, México.

Los residuos fueron picados en un molino marca (Nogueira modelo DPM-500.1.2.4), obteniendo partículas entre 2 y 5 cm de diámetro, posteriormente, se hidrataron para ser esterilizados en agua hirviendo a una temperatura de 100 °C durante 1 h, fueron retirados y colocados en una mesa para que se enfriaran y se drenara el agua, posteriormente, se colocaron 3 kg en base húmeda (con 80 % de humedad) en bolsas de polietileno de 90 x 120 cm. Para el proceso de inoculación se utilizaron 90 g de inóculo preparado sobre semilla de sorgo. Después de realizar la mezcla, las bolsas fueron cerradas y perforadas.

1.4.4 Fase de incubación

Las bolsas fueron colocadas en anaqueles previamente desinfectados, donde estuvieron en oscuridad, las bolsas permanecieron 8 días sin ser tocadas, posterior a estos días, se monitorearon diariamente para checar si el micelio colonizaba el sustrato.

1.4.5 Fase de fructificación

Las bolsas colonizadas fueron colocadas en el área de fructificación para ser expuestas a cambios de temperatura a través de aspersiones de agua dos veces al día, estimulando la aparición de los primordios. Las cosechas se realizaron manualmente cuando los hongos alcanzaron la forma plana del sombrero.

1.4.6 Variables de producción

Se determinó la producción en fresco (PF) de cada cosecha realizada, eficiencia biológica (EB) la cual se calculó dividiendo el peso de los hongos frescos entre el peso del sustrato seco utilizado y multiplicado por 100, la variable rendimiento (R) se obtiene mediante la división del peso de los hongos secos entre el peso del sustrato seco utilizado y multiplicado por 100, la tasa de producción (TP) se estimó dividiendo la EB entre el tiempo transcurrido desde el momento de la inoculación hasta el último corte de hongos realizado de acuerdo a la metodología propuesta por Sánchez (14).

1.4.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos y 4 repeticiones cada uno haciendo un total de 12 unidades experimentales, usando medidas repetidas. Se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%, posteriormente se realizó una prueba de comparación múltiple de medias con el método de Tukey (15). La información fue procesada con ayuda del software para análisis estadístico SAS versión 9.3 (16).

1.5 Resultados

Con respecto a la producción en fresco, solo se encontró significancia estadística ($p \leq 0.05$) en la cosecha 1, presentando mayor producción de hongos, en los residuos de frijol con 299.5 g y el de menor producción los residuos de caña de azúcar con 59 g (Tabla 1.2). En las cosechas 2 y 3 no se encontraron diferencias estadísticas presentando una homogeneidad en la producción.

Los resultados de la EB, se muestran en la Tabla 1.3. Se observa diferencias con significancia estadística sólo en la primera cosecha ($p \leq 0.05$), mostrando una mayor EB en los residuos de frijol con 39.9 % y la menor en los residuos de caña de azúcar con el 7.8 %. Las demás cosechas no presentaron diferencias estadísticas.

Con respecto al rendimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*, los resultados se muestran en la Tabla 1.4, en la cual se aprecia que el rendimiento de los tratamientos presenta diferencias con significancia estadística ($p \leq 0.05$) solo la cosecha 1, en donde se obtuvo mejor rendimiento en los residuos de frijol con 8.8 g. Mientras en las demás cosechas, no se encontraron diferencias estadísticas entre los residuos utilizados.

La tasa de producción de *Pleurotus ostreatus* en los residuos utilizados solo fue significativamente ($p \leq 0.05$) mayor en los residuos de frijol, pero solo en la primera cosecha, con un tasa de producción del 0.7 %. En las cosechas 2 y 3 los tratamientos no presentaron significancia estadísticas (Tabla 1.5).

1.6 Discusión

La producción del hongo en los residuos agrícolas solo tuvo significancia estadística en la primera cosecha y tiende a incrementar la producción en la segunda y tercera cosecha en los residuos de maíz y caña de azúcar, pero no presentaron significancia estadística entre los residuos. Vargas *et al* (17) reportaron disminución en la producción de *Pleurotus ostreatus* a partir de la primera cosecha en bagazo de caña. En un estudio realizado por Arias *et al* (18) en residuos de caña fermentada con *P. ostreatus-pulmonarius* reportaron una disminución en la producción después de la primera cosecha; datos que difieren a los que se encontraron en esta investigación.

La disminución de la producción en los residuos de frijol puede deberse al empobrecimiento y las diferencias en la composición química entre los sustratos, ya que esta condición puede variar drásticamente en la pérdida de la materia orgánica por el efecto del microorganismo sobre el sustrato; por lo tanto, se pierden los nutrientes necesarios para que el hongo siga creciendo, lo que se ve reflejada en la producción (19). López-Rodríguez *et al* (20) reportaron producciones totales de 567 g en tusa (la hoja que cubre a la mazorca) de maíz superiores a las encontradas en residuos de maíz (total 495.3 g), atribuyéndose al alto contenido de carbono que puede ser utilizado para el crecimiento y formación de biomasa.

La EB presenta una semejanza a la producción en las tres cosechas con tendencia a incrementar particularmente en los residuos de maíz y caña de azúcar, pero no se encontró significancia estadística en las cosechas 2 y 3.

Varnero *et al* (21) reportaron EB 32.94 % total en cosechas de 30 días en paja de trigo menores a las encontradas en los residuos agrícolas utilizados en esta investigación. En un estudio realizado por Romero *et al* (22) reportaron EB total inferiores (76.9 %) en pajilla de frijol con la cepa (CP-50) de *P. ostreatus* a las que se obtuvieron (110.6 %) en este trabajo con los residuos de frijol. Asimismo Ríos *et al* (23) reportaron EB superiores al 40 % en la segunda y tercer cosecha en bagazo de caña inoculados con semilla proveniente del medio de cultivo extracto de salvado de trigo, a los encontrados en esta investigación. Contrariamente, otros reportes revelaron EB inferiores de 4 – 16.8 y 0 – 0.5 % en bagazo de caña y tallo de maíz respectivamente (24). Sánchez *et al* (25) reportaron datos superiores en rastrojo de tomate a los encontrados en esta investigación. Esto podría deberse a la diferencia en el contenido de nutrientes y composición química que presentan los diferentes residuos utilizados para producción del *Pleurotus ostreatus*. Los índices de EB son atribuidos al contenido y agotamiento de nutrientes en el sustrato (26). Se considera como una buena calidad productiva a partir de la eficiencia biológica del 50 % (27, 28). Aunque la EB en las cosechas presentaron valores inferiores a las consideradas como buena calidad productiva, en la EB total presentaron valores superiores por lo tanto los residuos estudiados en este trabajo pueden considerarse aptas para la producción del *Pleurotus ostreatus*.

El residuo de frijol presentó mayor rendimiento en la primera cosecha encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, aunado a estos resultados el rendimiento presenta la misma tendencia que la

producción y la EB que tienden a incrementar en las cosechas 2 y 3 pero no presentaron diferencias estadísticas, Gómez y Andrade (24) reportaron rendimientos superiores 47.1 g en bagazo de caña a los encontrados en el residuo de caña de azúcar 1.7 g, en tallo de maíz el rendimiento fue de 1.5 g, lo cual difiere a lo encontrado en residuo de maíz (2.2 g), en esta investigación; pero el rendimiento en la investigación realizada tendió a disminuir en los dos sustratos después de la primera cosecha estos resultados difieren a los encontrados en nuestro estudio ya que el rendimiento tiene una tendencia a incrementar en las siguientes cosechas, esto sugiere que los sustratos aportan nutrientes necesarios para el desarrollo micelial y estado fructífero del *Pleurotus ostreatus*. Romero *et al* (29) reportaron datos inferiores en el rendimiento del *Pleurotus ostreatus* cultivado en paja de caña atribuyéndolo a la composición del sustrato, de igual manera Arias *et al* (18) reportaron rendimientos menores a este estudio en un cultivo de 60 días de *Pleurotus ostreatus-pulmonarius* en residuos de cosecha cañera refieren que la disminución es dada por el agotamiento del sustrato con el tiempo en la producción.

Forero *et al* (7) reportaron TP similares del 0.55-0.57 % en sustratos de mezclas de residuos de ají, cascarilla de arroz, pasto de King grass y salvado de trigo a las encontradas en esta investigación, contrastando los resultados obtenidos en paja de cebada, con TP de 0.63-1.13 % y en viruta de pino la TP fueron superiores a las encontradas en este estudio 0.13-0.66 % (30). Romero *et al* (31) reportaron TP superiores en residuos de maíz y frijol (0.93 y 1.28 %). La variación de la TP en esta investigación podría deberse al grado de madurez de la planta.

1.7 Conclusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en las variables estudiadas en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* en los residuos agrícolas concluimos que los sustratos utilizados demostraron ser una alternativa para la producción del *Pleurotus ostreatus*, de esta manera darles un aprovechamiento integral a dichos residuos para la generación de un alimento con un alto valor nutricional.

1.8 Literatura citada

1. Giuliana FG. Fungí Austral: Guía de campo de los hongos más vistosos de Chile. Ed. Corporación Chilena de la Madera. Concepción, Chile 2007; 1-200.
2. Guillamón E, García-Lafuente A, Lozano M, D'Arrigo M, Rostagno MA, Villares A, Martínez JA. Edible mushrooms: role in the prevention of cardiovascular diseases. *Rev Fitoterapia* 2010; 81:715-723.
3. Mandeel Q, Al-Laith A, Mohame SA. Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus spp.*) on various lignocellulosic wastes. *World J Microbiol and Biotechnol* 2005; 21:601-607.
4. Sarangi I, Ghosh D, Bhutia SK, Mallick SK, Maiti TK. Anti-tumor and immunomodulating effects of *Pleurotus ostreatus* mycelia-derived proteoglycans. *Int Immunopharmacol* 2006; 6:1287-1297.
5. García-Oduardo N, Bermúdez-Savón RC, Serrano-Alberni M. Formulaciones de sustratos en la producción de setas comestibles *Pleurotus*. *Tec Quím*, XXXI 2011; 3:15-22.
6. Chang ST, Miles PG. *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect and Environmental Impact*. CRC Press, Boca Raton 2004; 451
7. Forero CL, Hoyos OL, Bazante WE. Evaluación de residuos de ají (*Capsicum spp.*) como sustrato en la producción de setas comestibles (*Pleurotus ostreatus*). *Facultad de Cienc Agropec* 2008; 6:42-53.

8. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera [en línea]. 2014. (acceso febrero del 2015). URL Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351.
9. Martínez-Carrera D. Current development of mushroom biotechnology in Latin America. *Micol. Apl. Int* 2002; 14: 61-74.
10. Martínez-Carrera DP, Morales M, Sobal M, Bonilla, Martínez W. 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 2006; 6:1-20.
11. Naranjo Jiménez NJ, Herrera Corral JA, Ávila Reyes N, Almaraz Abarca I, Ávila Flores F, Sánchez Alvarado A, Delgado Alvarado M, Quintos Escalante. Catálogo de hongos de la región del Salto Pueblo Nuevo, Durango. CIIDIR. México 2002.
12. Lal R. Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production. *Soil Tillage Res* 2009; 102:233-241.
13. Rivera ORL, Martínez MCA, Morales VS. Evaluación de residuos agrícolas como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Luna Azul* 2013; 37:89-100.
14. Sánchez A, Ysunza F, Beltran-Garcia MJ, Esqueda M. Biodegradation of viticulture wastes by *Pleurotus*: a source of microbial and human food and its potential use in animal feeding. *J Agric Food Chem.* 2002; 50:2537-2542.

15. Steel GDR, Torrie HJ, Dickey DA. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 3ra Ed. Michigan, USA: McGraw Hill Companies, Inc.; 1997.
16. SAS/STAT® (programa de computadora). Versión 9.3. SAS Institute Inc; 2013.
17. Vargas PS, Hoyos JL, Mosquera SA. Uso de hojarasca de roble y bagazo de caña en la producción de *Pleurotus ostreatus*. Biotecnol en el Sector Agropec y Agroind 2012; 10:136–145.
18. Arias GM, Bueno G, Betancourt D, Álvarez I, González AL. Biotransformación de Residuos Lignocelulósicos con Hongos *Pleurotus*. Rev CENIC Cienc Biol 2005; 36:1-7.
19. Montoya BS, Rastrepo FGM, Tabares LLA. Rendimientos en el cultivo de los hongos *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius* utilizando como sustratos diversos residuos agroindustriales. Rev De inv Univ Cat de Manizales 2009; 14:16-26.
20. López-Rodríguez C, Hernández-Corredor R, Suárez-Franco C, Borrero M. Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca. Univ Sci 2008; 13:128–137.
21. Varnero MT, Quiroz MS, Álvarez CH. Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Inform Tecnol 2010; 21:13–20.

22. Romero O, Huerta M, Damián MA, Macias A, Tapia AM, Parraguirre JF, Juárez J. Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* con el uso de hoja de plátano (*Musa paradisiaca* L., cv. Roatan) deshidratada, en relación con otros sustratos Agrícolas. *Agron costarricense* 2010; 34:53-63.
23. Ríos MP, Hoyos JL, Mosquera SA. Evaluación de los parámetros de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. *Facultad de Cienc Agropec* 2010; 8:86-94.
24. Gómez JPG, Andrade JLC. Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. *NOVA Publ En Cienc Bioméd* 2008; 6:126-140.
25. Sánchez A, Esqueda M, Gaitán-Hernández R, Córdova A, Coronado ML. Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. *Rev Mex Micol* 2008; 28:17-24.
26. Cardona LF. Anotaciones acerca de la bromatología y el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. *Crónica forestal y del medio ambiente*, 2001, 16 pp.99-115.
27. Sánchez JE, Orozco GM, Hernández D, Nieto MG, Márquez FJ. Capacidad del género *Pleurotus* para la degradación del insecticida endosulfán. *El Cromosoma*. *Boletín del Colegio de Biotecnólogos de Chiapas*. 2006; 2:31-120.

28. Aguilar-Rivera, N., De Jesús-Merales, J. (2010). Edible mushroom *Pleurotus ostreatus* production on cellulosic biomass of sugar cane. Sugar Tech, 12(2), 176-178.
29. Romero AM, Pérez MR, Rodríguez AS, Lois CA. Estudio de la utilización de paja de caña combinada con otro sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Centro Azucarero 2005; 32:25-29.
30. Pérez-Merlo R, Mata G. Cultivo y selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* y *P. pulmonarius* en viruta de pino: obtención de nuevas cepas y evaluación de su producción. Rev Mex Micol 2005; 20:53-59.
31. Romero-Arenas O, Hernández TI, Lezama JF, Márquez SMN, Amaro LJS. Evaluación de bagazo de café (*Coffea arabica*) como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus*. Rev Mex Agronegocios 2013; 3:472-481.

Tabla 1.1 Composición química de los residuos.

Componentes (%)	Residuos agrícolas		
	Maíz	Frijol	Caña de azúcar
Proteína cruda	4.6	4.1	4.1
Fibra detergente neutra	77.4	71.2	70.4
Fibra detergente acida	62.2	59.9	49.9
Materia orgánica	95.0	94.3	82.5
Hemicelulosa	15.2	11.3	20.4

Tabla 1.2 Producción (g) *Pleurotus ostreatus* en tres tipos de sustratos.

Tratamientos	Producción			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Total
Residuos de Maíz	75.7 ^b	142.0 ^a	277.5 ^a	495.3 ^a
Residuos de Frijol	299.5 ^a	291.5 ^a	238.8 ^a	829.8 ^a
Residuos de Caña de Azúcar	59.0 ^b	110.0 ^a	112.5 ^a	281.5 ^a
EE ±	9.15	16.37	16.17	27.11

^{ab} Para cada sustrato, medias con distintas letras son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de medias de Tukey (p <0.05) aplicada después de un anova.

Tabla 1.3 Eficiencia Biológica (%) de *Pleurotus ostreatus* en tres tipos de sustratos.

Tratamientos	Eficiencia Biológica			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Total
Residuos de Maíz	10.1 ^b	18.9 ^a	37.0 ^a	66.0 ^a
Residuos de Frijol	39.9 ^a	38.8 ^a	31.8 ^a	110.6 ^a
Residuos de Caña de Azúcar	7.8 ^b	14.6 ^a	15.0 ^a	37.5 ^a
EE ±	1.22	2.18	2.16	3.61

^{ab} Para cada sustrato, medias con distintas letras son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de medias de Tukey (p <0.05) aplicada después de un anova.

Tabla 1.4 Rendimiento (g) de *Pleurotus ostreatus* en tres tipos de sustratos.

Tratamientos	Rendimiento			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Total
Residuos de Maíz	2.2 ^b	4.1 ^a	8.1 ^a	14.5 ^a
Residuos de Frijol	8.7 ^a	8.5 ^a	7.0 ^a	24.3 ^a
Residuos de Caña de Azúcar	1.7 ^b	3.2 ^a	3.3 ^a	8.3 ^a
EE ±	0.27	0.48	0.47	0.79

^{ab} Para cada sustrato, medias con distintas letras son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de medias de Tukey (p <0.05) aplicada después de un anova.

Tabla 1.5 Tasa de Producción (%) de *Pleurotus ostreatus* en tres tipos de sustratos.

Tratamientos	Tasa de Producción			
	Cosecha 1	Cosecha 2	Cosecha 3	Total
Residuos de Maíz	0.17 ^b	0.31 ^a	0.61 ^a	1.10 ^a
Residuos de Frijol	0.66 ^a	0.64 ^a	0.53 ^a	1.84 ^a
Residuos de Caña de Azúcar	0.13 ^b	0.24 ^a	0.25 ^a	0.62 ^a
EE ±	0.02	0.04	0.04	0.06

^{ab} Para cada sustrato, medias con distintas letras son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de medias de Tukey (p <0.05) aplicada después de un anova.

Capítulo II. Efecto de la inclusión del hongo *Pleurotus ostreatus* en la degradación de los residuos agrícolas

Effect of the inclusion of *Pleurotus ostreatus* in the degradation of agricultural wastes

Alex R. Olivera-De la cruz¹, Eusebio Ortega-Jiménez¹, Pablo Díaz-Rivera¹, Emilio Aranda-Ibáñez², Jesús A. Ramos-Juarez², Germán Mendoza-Martínez³.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Carretera Xalapa – Veracruz, Predio Tepetates entre Puente Jula y Paso San Juan, C.P. 91690. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tabasco, México C.P. 86500. ³Universidad Autónoma Metropolitana–Xochimilco Biotechnology Department, Xochimilco, DF. México.

*Correspondencia: earanda@colpos.mx

Artículo enviado a la revista Agrociencia

2.1 Resumen

La insuficiente cantidad de alimento para los rumiantes en el trópico es causada por la baja disponibilidad de los pastos en época críticas (norte y seca), sin embargo, los residuos agrícolas son una alternativa viable para ser utilizados en dicha alimentación. Con la hipótesis de que la inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus* incrementará la degradación de la fibra, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto del hongo *Pleurotus ostreatus* en la degradación de la fibra de residuos agrícolas. Se emplearon para cultivar *P. ostreatus*, residuos de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) por 30, 45 y 60 d. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo factorial tres por tres. Los factores, que se evaluaron fueron los sustratos de maíz, frijol y caña de azúcar y el tiempo de crecimiento del hongo (30, 45 y 60 d). Para describir la cinética ruminal de la degradación efectiva se

realizó un ajuste no lineal con el modelo de Orskov y McDonald. Las variables evaluadas, fueron materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y las degradaciones efectivas de la MS, FDN y FDA. Los sustratos generaron diferencias significativas por días de crecimiento en MS, FDN y FDA; PC presentó diferencia en el factor sustrato, en la degradabilidad efectiva se observó significancia en los sustratos y los días de crecimiento con MS, FDN y FDA. Los residuos agrícolas con hongo *Pleurotus ostreatus* mejoran la calidad de los sustratos, por el efecto de degradación en la FDA.

Palabras clave: degradabilidad efectiva, hidrólisis, enzima

2.2 Abstract

The insufficient amount of food for ruminants in the tropics is caused by the low availability of grasses at critical times (north and dry), however, agricultural residues are a viable alternative to be used in such feeding. With the hypothesis that the inoculation of the fungus *Pleurotus ostreatus* will increase the degradation of the fiber, the objective of this study was to determine the effect of the fungus *Pleurotus ostreatus* on the degradation of agricultural waste fiber. Residues of maize (*Zea mays*), beans (*Phaseolus vulgaris*) and sugar cane (*Saccharum officinarum*) for 30, 45 and 60 d were used to cultivate. A completely randomized experimental design was used, with a three-by-three factorial arrangement. The factors that were evaluated were the substrates of corn, beans and sugarcane and the time of growth of the fungus (30, 45 and 60 d). To describe

the ruminal kinetics of the effective degradation, a non-linear adjustment was made with the Orskov and McDonald model. The evaluated variables were dry matter (DM), crude protein (PC), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and effective degradations of MS, NDF and FDA. The substrates generated significant differences by days of growth in MS, NDF and FDA; PC presented a difference in the substrate factor, in the effective degradability, significance was observed in the substrates and growth days with MS, NDF and FDA. The agricultural residues with fungus *Pleurotus ostreatus* improve the quality of the substrates, due to the effect of degradation in the FDA.

Keywords: effective degradability, hydrolysis, enzyme

2.3 Introducción

En México se generan alrededor de 27, 955,407 t año⁻¹ de residuos agropecuarios de ellos 864,144 t año⁻¹ son residuos agrícolas. En Veracruz, México se obtienen 65,150 t año⁻¹, y junto con los estados de Chiapas, Oaxaca y Puebla aporta 25 % de los residuos del país (SIAP 2013). Es común quemar los residuos agrícolas, esto produce abundantes emisiones gaseosas contaminantes abundantes a la atmósfera y contribuyendo al calentamiento global (Lemieux *et al.*, 2004; Quintero-Nuñez *et al.*, 2008).

Los residuos agrícolas son una fuente importante de alimento para rumiantes, ya que estos consumen materiales con altos contenidos de fibras. Generalmente, los restos agrícolas son de baja calidad por su contenido elevado de lignina, que permite formar un complejo lignocelulolítico difícil de degradar por los microorganismos del rumen Henics (1987). Hay métodos que favorecen la deslignificación de las fibras e incrementan la digestibilidad de los subproductos agrícolas (Yescas-Yescas *et al.*, 2004). La inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus* en residuos para la deslignificación es una alternativa para modificar estos materiales y utilizarlos en la alimentación de rumiantes.

El *Pleurotus ostreatus* es un hongo capaz de degradar lignina, celulosa y hemicelulosa a través de un complejo enzimático extracelular, tales como lacasas que tienen la capacidad de degradar la lignina Saparrat *et al.* (2008). Con la hipótesis de que la inoculación del hongo incrementa la degradación de la fibra, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la incorporación del hongo *Pleurotus ostreatus* en la degradación de la fibra de residuos agrícolas.

2.4 Materiales y métodos

2.4.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en el laboratorio de Biotecnología del Instituto Tecnológico Úrsulo Galván ubicado en la Carretera Cardel Chachalacas Km 4.5 Veracruz, México, y en el laboratorio de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en Cárdenas, Tabasco, México.

2.4.2 Sustrato

Los residuos que se utilizaron fueron de cosechas de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), se recolectaron en las comunidades de Puente Jula, municipio de Paso de Ovejas y de Salmoral, municipio de La Antigua, Veracruz, México. Los residuos se trituraron en molino (Nogueira modelo DPM-500.1.2.4), con motor de gasolina, para obtener partículas entre 2 y 5 cm de largo.

2.4.3 Inóculo

El micelio de *Pleurotus ostreatus* (multiplicado en semillas de sorgo *Sorghum bicolor*) lo proporcionó el Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván de Veracruz México. Este hongo es reconocido como productor de enzimas lignocelulolíticas (Martínez *et al.*, 2005).

2.4.4 Cultivo en medio sólido

Los residuos se picaron, posteriormente se hidrataron para ser esterilizados en agua hirviendo a una temperatura de 100 °C durante 1 h, fueron retirados y colocados en una mesa para que se enfriara y se drenará el agua. Posteriormente se colocaron 3 kg en base húmeda (con 80 % de humedad) en bolsas de

polietileno de 90 x 120 cm; para el proceso de inoculación se utilizaron 90 g de inóculo preparado sobre semilla de sorgo. Después de realizar la mezcla, las bolsas fueron cerradas y perforadas. Las cuales se incubaron a una temperatura de 35°C durante 30, 45 y 60 días.

2.4.5 Análisis Químicos

Se determinó la materia seca (MS) y proteína cruda (PC) de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC. (2005), así como el fraccionamiento en fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), utilizando la metodología propuesta por Van Soest (1991).

2.4.6 Estudio de la degradación *in situ*

Para la determinación de la degradación *in situ* de la materia seca (DIMS) se utilizó la metodología descrita por Orskov *et al.* (1992).

2.4.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones, con un arreglo factorial 3X3 de los tratamientos, productos de la combinación de los siguientes factores: el factor (A), sustratos maíz, frijol y caña de azúcar; el factor (B) días de crecimiento del hongo, fue evaluado en tres niveles: 30, 45 y 60 días, generándose nueve combinaciones de tratamientos. La información fue procesada con ayuda del software para análisis estadístico SAS versión 9.3 y los procedimientos GLM. (SAS, 2013). Las variables químicas analizadas fueron (MS, PC, FDN y FDA).

Para describir la cinética ruminal de la MS, FDN y FDA se realizó un ajuste no lineal con el modelo de Orskov y McDonald (1979).

$$P = A + B (1 - e^{-ct})$$

donde:

P = degradación a tiempo de incubación t

A = Fracción soluble

B = Fracción insoluble, pero potencialmente degradable en el tiempo

c = Tasa de degradación de B

A + B = Degradabilidad potencial de la muestra para t igual a 96 h.

Los resultados de la técnica de degradación *in situ* no reflejan lo que ocurre en las condiciones normales de alimentación si los datos no son corregidos tomando en cuenta la tasa de pasaje, por lo tanto se estimó la degradación efectiva (DE) de la MS, FDN y FDA. Para esto se utilizó la tasa de pasaje (K) de 0.03 hora⁻¹ (Van vuuren *et al.*, 1986). Utilizando la fórmula propuesta por Orskov y McDonald (1979).

$$\text{Degradabilidad efectiva} = A + B [(B \cdot C) / (C + K)]$$

donde:

A = Fracción soluble

B = Fracción insoluble, pero potencialmente degradable en el tiempo

C = Tasa de degradación de B

K = Tasa de pasaje % h⁻¹

Para la degradación efectiva (DEMS, DEF DN y DEF DA) se realizó un experimento completamente al azar con arreglo factorial 3X3; donde el factor (A), fueron los sustratos maíz, frijol y caña de azúcar; el factor (B) días de crecimiento del hongo,

fue evaluado en tres niveles: 30, 45 y 60 días; un total de nueve tratamientos. Se realizó un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico SAS.

2.5 Resultados y discusión

Se encontró significancia estadística en los factores estudiados, sustratos (A), días de crecimiento (B), en las variables MS, FDN, FDA ($p \leq 0.0001$), en cambio para la variable PC sólo se encontró significancia estadística ($p \leq 0.0037$) en el factor sustrato (Cuadro 2.1).

Tabla 2.1 Composición química de los residuos agrícolas tratados con *Pleurotus ostreatus*.

Factores	MS %	PC %	FDN %	FDA %
Sustratos				
Maíz	26.8 ^a	4.6 ^a	77.4 ^a	62.2 ^a
Frijol	16.4 ^b	4.1 ^b	71.2 ^b	59.9 ^a
Caña	14.3 ^b	4.1 ^b	70.4 ^b	49.9 ^b
EE	0.32	0.03	0.33	0.27
Días de crecimiento				
30	16.3 ^b	4.2 ^a	77.7 ^a	61.2 ^a
45	22.8 ^a	4.2 ^a	72.1 ^b	56.9 ^b
60	18.4 ^b	4.4 ^a	69.2 ^b	54.1 ^b
EE	0.32	0.03	0.33	0.27

^{ab} Para cada sustrato y días de crecimiento, medias con distintas letras minúsculas en superíndice son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$) aplicada después de un anova.

MS: materia seca, PC: proteína cruda, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, EE: error estándar de la media.

En la DE se encontró significancia estadística en los factores estudiados, sustrato (A), días de crecimiento (B), en las variables MS, FDN, FDA ($p \leq 0.0001$), presentando la mejor DE el residuo de caña en las variables de MS, FDN en los diferentes días de incubación (Cuadro 2.2).

Tabla 2.2 Efecto del hongo *Pleurotus ostreatus* en los residuos agrícolas en la degradación efectiva de la MS, FDN y FDA.

Variables	Sustratos	Días de crecimiento			
		0	30	45	60
MS (%)	Residuo de Maíz	29.9 ^b	23.9 ^c	33.2 ^c	40.2 ^c
	Residuo de Frijol	32.7 ^a	29.7 ^b	41.5 ^b	43.1 ^b
	Residuo de Caña	28.3 ^c	40.9 ^a	41.6 ^a	46.4 ^a
	EE	0.998			
FDN (%)	Residuo de Maíz	26.7 ^b	21.4 ^c	25.2 ^c	29.2 ^c
	Residuo de Frijol	26.9 ^a	25.9 ^b	29.2 ^b	32.5 ^b
	Residuo de Caña	22.1 ^c	30.2 ^a	31.8 ^a	33.4 ^a
	EE	0.541			
FDA (%)	Residuo de Maíz	23.0 ^c	14.3 ^c	20.7 ^c	29.1 ^b
	Residuo de Frijol	26.9 ^a	23.8 ^b	27.0 ^a	42.5 ^a
	Residuo de Caña	24.7 ^b	26.0 ^a	26.3 ^b	28.5 ^c
	EE	0.911			

^{abc} Medias con diferente superíndice en la misma columna difieren en $p < 0.05$ aplicada después de un anova.

MS: materia seca, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, EE: error estándar de la media.

Con respecto a la tasa de degradación se encontró significancia estadística entre los factores estudiados en las variables de MS, FDN, FDA presentando la mayor tasa de degradación el residuo de frijol en todas las variables estudiadas y en los diferentes días de crecimiento evaluados (Cuadro 2.3).

Tabla 2.3 Efecto del hongo *Pleurotus ostreatus* en los residuos agrícolas en la tasa de degradación de la MS, FDN y FDA.

Variables	Sustratos	Días de Crecimiento			
		0	30	45	60
MS (%)	Residuo de Maíz	0.0132 ^c	0.0309 ^c	0.0191 ^c	0.0281 ^b
	Residuo de Frijol	0.0403 ^a	0.0499 ^a	0.0504 ^a	0.0533 ^a
	Residuo de Caña	0.0169 ^b	0.0312 ^b	0.0216 ^b	0.0275 ^c
	EE	0.0019			
FDN (%)	Residuo de Maíz	0.0150 ^c	0.0238 ^c	0.0292 ^b	0.0370 ^b
	Residuo de Frijol	0.0354 ^a	0.0523 ^a	0.0415 ^a	0.0582 ^a
	Residuo de Caña	0.0189 ^b	0.0321 ^b	0.0274 ^c	0.0323 ^c
	EE	0.0018			
FDA (%)	Residuo de Maíz	0.0091 ^c	0.0181 ^c	0.0249 ^c	0.0369 ^c
	Residuo de Frijol	0.0329 ^a	0.0552 ^a	0.0403 ^a	0.0646 ^a
	Residuo de Caña	0.0205 ^b	0.0442 ^b	0.0330 ^b	0.0436 ^b
	EE	0.0022			

^{abc} Medias con diferente superíndice en la misma columna difieren en $p < 0.05$ aplicada después de un anova.

MS: materia seca, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, EE: error estándar de la media.

Se observa un valor bajo en el contenido de MS, pero es necesario que la humedad sea menor del 90 % y mayor del 50 % si los niveles aumentan o disminuyen respecto a este rango pueden reducir el crecimiento del hongo (Azin *et al.*, 2007). En trabajos similares, Peláez-Acero *et al.* (2011) reportaron un incremento en la MS en ensilaje de caña de azúcar tratada con *Pleurotus sapidus* atribuido principalmente a los restos del hongo y síntesis de ácidos orgánicos que se produjeron durante los días de fermentación. Ruiz *et al.* (2006) reportaron disminución de la MS en cascarilla de arroz tratadas con urea y aditivo enzimático de igual manera Olivera *et al.* (2014) reportaron una disminución en la MS de residuos de caña de azúcar tratadas con *Fomes* sp. Con diferentes

porcentajes de inclusión y días de fermentación. Sin embargo, Montañez *et al.* (2004) no encontraron un efecto en el contenido de la MS en paja de trigo tratada con *Pleurotus florida* durante 60 días.

Con respecto al contenido de PC de los sustratos estudiados se encontró un incremento en su contenido, con respecto al material proveniente del campo sin embargo este incremento no es suficiente para cubrir los requerimientos de los animales de acuerdo a su etapa fisiológica productiva. Gómez Urrego *et al.* (2013) reportaron un incremento en el contenido de PC en la mezcla de residuos utilizados para el cultivo de *Agaricus bisporus*, que difieren a los datos encontrados en esta investigación, puesto que sólo se encontró un efecto en los sustratos y no en los días de crecimiento esto pudo deberse a que no existía un crecimiento micelial al momento de utilizar los sustratos. Arias-Carbajal *et al.* (2005) reportaron un incremento en el contenido de PC en residuos de caña fermentados con *Pleurotus-pulmonarius* atribuido a la presencia de los tallos y los cuerpos fructíferos del hongo. Aguirre *et al.* (2013) reportaron un incremento en el contenido de PC en residuos de caña quemada fermentados sin la inclusión de algún agente biológico. En cultivo de *Pleurotus ostreatus* en heno de transvala (*Digitaria decumbens* Stent., cv. Transvala) reportaron datos similares en el contenido de proteína a los encontrados en esta investigación (WingChing-Jones y Retana, 2009).

En la concentración de FDN y FDA presentaron significancia estadística en los factores sustratos y días de crecimiento, presentando la misma tendencia a disminuir conforme se incrementaron los días de crecimiento del hongo. La

disminución de la FDN pudo deberse a la habilidad del hongo de utilizar la hemicelulosa como fuente de energía para su crecimiento, antes de empezar a degradar lignina esto por presencia de enzimas hidrolíticas y lignolíticas (Velázquez-Cedeño *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 2005). Resultados similares se han encontrado con *Pleurotus-pulmonarius* en residuos de caña fermentada durante 60 días Arias-Carbajal *et al.* (2005). Giraldo *et al.* (2007) reportaron el efecto de la enzima xilanasas en la disminución de FDN y FDA en heno de alfalfa (*Medicago sativa*). Valiño *et al.* (2004) reportaron datos similares a las encontradas en esta investigación en el bagazo de caña tratada con la cepa *Trichoderma viride* M5-2, donde se observó una disminución de la FDN, FDA en 5, 3%.

Peláez-Acero *et al.* (2011) reportaron un incremento de la FDN y FDA en caña de azúcar tratada con *Pleurotus sapidus* resultados que difieren a los encontrados en esta investigación, atribuido esto, al consumo de carbohidratos solubles por el hongo durante la fermentación en estado sólido. Aguirre *et al.* (2013) de igual manera reportaron una disminución en el contenido de FDN y FDA en residuos de caña quemada fermentados. De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación es posible que los cambios de la fibra estén influenciados por la calidad del sustrato utilizado para el hongo.

Se observó un incremento en la DE (MS, FDN y FDA) presentando significancia estadística en todos los residuos agrícolas conforme se incrementaron los días de crecimiento del hongo.

La DEMS de todos los residuos tuvo un incremento favorable conforme se pasan más los días de crecimiento, presentando los valores más altos los residuos de caña de azúcar, esto pudo deberse al efecto de las enzimas fibrolíticas que son producidas por el hongo Saparrat *et al.* (2008). La degradación de la pared celular está influenciada por el contenido de enlaces lignocelulolítico del sustrato y el tiempo de exposición del hongo en el sustrato. La degradación se desarrolla en las capas de la pared secundaria y lamina media por el efecto de las enzimas lacasas que degradan la lignina a través de la oxidación de los compuestos fenólicos (Loera *et al.*, 2006).

WingChing-Jones y Retana (2009) reportaron un incremento en la degradación *in vitro* de la MS de heno de transvala (*Digitaria decumbens* Stent., cv. Transvala) utilizado para la cosecha de *Pleurotus ostreatus* durante 45 días. De igual forma Gómez Urrego *et al.* (2013) reportaron una DEMS similar a las encontradas en esta investigación, en una mezcla de residuos utilizados para el cultivo de *Agaricus bisporus* utilizando una tasa de pasaje del 3 %. Delgado *et al.* (2011) encontraron DEMS del 36.78 – 37.13 % con tasa de pasaje del 2 y 5 % en heno de bermuda cruzada (*Cynodon dactylon*) similares a las encontradas en esta investigación.

La degradación FDN tuvo un comportamiento similar a la degradación de la MS, Salem *et al.* (2012) reportaron un incremento en la degradación de esta fracción utilizando enzimas exógenas en arbustos del desierto *Atriplex halimus*. Similarmente Membrillo *et al.* (2011) encontraron un aumento en la degradación de la FDN en bagazo de caña de azúcar tratada con *Pleurotus ostreatus* IE-8. En

otro trabajo, se encontró un aumento en la degradación de la FDN en heno de pastos tropicales tratadas con enzimas fibrolíticas (Krueger *et al.*, 2008). Delgado *et al.* (2011) reportaron una degradación efectiva de la FDN similar a las encontradas en esta investigación. De igual manera Pinos *et al.* (2002) encontraron un incremento en la degradación de la FDN y FDA en heno de alfalfa (*Medicago sativa*) y ballico (*Lolium perenne*) tratada con enzimas fibrolíticas exógenas.

Asimismo, Montañez *et al.* (2004) y Rodríguez *et al.* (2008) reportaron un incremento en la degradación de la FDA de la paja de trigo tratadas con enzimas de hongos de la podredumbre blanca. Los efectos positivos en la degradación de las fracciones fibrosas pudieron deberse al efecto de la hidrólisis en la pared celular (FDN y FDA) por las enzimas fibrolíticas que produce el hongo para tener acceso a los compuestos que necesita para su crecimiento.

En lo que se refiere a la tasa de degradación Td disminuyó en las variables FDN y FDA en los sustratos de frijol y caña de azúcar de un 15 a 27 % conforme aumentó de 30 a 45 días el crecimiento, posteriormente a estos días, se observó un incremento en la Td en todos los sustratos. Esto pudo deberse al cambio de las estructuras de los carbohidratos solubles como la disminución de la hemicelulosa conforme se aumentaron los días de crecimiento se reduce una fracción que tienen una alta degradación (Peláez-Acero *et al.*, 2011). En un estudio similar Olivera *et al.* (2014) reportaron disminución en la Td en las fracciones de MS, FDN y FDA en residuos de caña de azúcar tratadas con *Fomes*

sp. Delgado *et al.* (2011) encontraron datos similares en la Td de la MS y FDN en heno de bermuda cruzada (*Cynodon dactylon*).

2.6 Conclusión

Los residuos de frijol, maíz y caña de azúcar inoculados con el *Pleurotus ostreatus* en la producción de hongos indujo a una menor concentración de FDN y FDA en caña de azúcar y mayor degradación de la MS, FDN y FDA. Estos residuos son factibles de utilizarlos en la alimentación de rumiantes, una vez tratados con *Pleurotus ostreatus*, sin embargo, se deberían realizar pruebas de consumo animal.

2.7 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-253680-México) por la beca que proporciona para el estudio del postgrado en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, al Instituto Tecnológico Úrsulo Galván la colaboración por el aporte de la cepa que se utilizó.

2.8 Literatura citada

- Aguirre, J., R. Magaña, S. Martínez, A. Gómez, J.C. Ramírez, R. Barajas, A. Plascencia, R. Bárcena, and D.E. García. 2013. Nutritional characterization and use of cane sugar and processed waste in diets for sheep. *Zootecnia Tropical* 28: 489-497.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis* (18th Ed). Washington D.C.: O.A.C International.
- Arias-Carbajal, G M O; Bueno García, G; Betancourt Rodríguez, D; Álvarez, I; González, A L. 2005. Biotransformación de Residuos Lignocelulósicos con Hongos *Pleurotus*. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 36.
- Azin, M., Moravej, R y Zareh, D. 2007. Production of xylanase by *Trichoderma longibrachiatum* on a mixture of wheat bran and wheat straw: Optimization of culture condition by Taguchi method. *Enzyme and Microbial Technology*, 40: 801-805.
- Delgado, D.C., Neto, R.F., Gomide, C.A., 2011. Efecto del nivel de proteína no degradable en rumen en la degradación ruminal *in situ* del heno de bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) cv. Coast cross en búfalos. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 45: 135–139.
- Giraldo, L.A., Carro, M.D., Ranilla, M.J., Tejido, M.L., 2007. Influence of fibrolytic enzymes on *in vitro* methane production and rumen fermentation of a substrate containing 60% of grass hay. *Gas* 44, 44–9.

- Gómez Urrego, Juan Miguel, Yepes Jaramillo, Sergio Andrés, & Barahona Rosaless, Rolando. 2013. Caracterización nutricional del residuo del cultivo de la seta *Agaricus bisporus* como alimento potencial para bovinos. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 8(1), 34-56.
- Henics, Z. 1987. Wheat straw upgraded by *Pleurotus ostreatus*. World Rev. Anim. Prod. 23:56.
- <http://www.siap.gob.mx>. Consultado: 12 de julio del 2017.
- Krueger, N.A., A.T., Adesogan, C.R., Staples, W.K., Krueger, D.B., Dean, and R.C., Littell. 2008. The potential to increase digestibility of tropical grasses with a fungal, ferulic acid esterase enzyme preparation. Anim. Feed Sci. Technol. 145: 95–108.
- Lemieux, P.M., C.C. Lutes, and D.A. Santoianni. 2004. “Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review”, Progress in Energy and Combustion Science, 30: 1-32.
- Loera C.O., Pérez P.M.C.I., Barbosa R.J.R and Villaseñor O.F. 2006. Laccases. Adv Agric Food Biotechnol, 323-340.
- Martínez, A., Speranza, M., Ruiz-Dueñas, F., Ferreira, P., Camarero, S., Guillén, F., Martínez, M., Gutiérrez, A., del Río, J. 2005. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. International microbiology the official journal of the Spanish Society for Microbiology 8: 195-204.

- Membrillo, I., Sánchez, C., Meneses, M., Favela, E., Loera, C.O. 2011. Particle geometry affects differentially substrate composition and enzyme profiles by *Pleurotus ostreatus* growing on sugar cane bagasse. *Bioresour. Technol.* 102: 1581–1586.
- Montañez, O.D., Ortega, M.E., Cobos, M.A., Larqué, A., Garcia, J.E. 2004. Efecto de la alimentación con paja de trigo tratada con *Pleurotus florida* en la flora ruminal de ovinos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 38, No. 3: 249 – 257.
- Olivera, D., Aranda, I., Ramos, J., Vargas, V., Zaldívar, C., Mendoza, M. 2014. Evaluation of the nutritive value of sugarcane residues inoculated with fungus *Fomes* sp. *Rev. MVZ Córdoba* 19: 4047–4058.
- Orskov E.R., McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agr Sci*; 92: 499-503.
- Orskov, E.R., Hovell, F.D. y Mould. 1992. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. *Prod. Anim. Trop.* 5: pp: 195-213
- Peláez-Acero, A., Meneses-Mayo, M., Miranda-Romero, L.A., Ayala-Martínez, M., Crosby-Galván, M.M., Loera-Corral, O., Megías-Rivas, M.D. 2011. Enzimas fibrolíticas producidas por fermentación en estado sólido para mejorar los ensilajes de caña de azúcar. *Agrociencia* 45: 675–685.

- Pinos, J., González, S., Mendoza, G., Bárcena, R., Cobos, M. 2002. Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la digestibilidad *in vitro* de la pared celular de heno de alfalfa (*Medicago sativa*) o de ballico (*Lolium perenne*). *Interciencia*; 27: 28-32.
- Quintero-Núñez, M., y A. Moncada A. 2008. “Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California”, *Región y Sociedad*, 43: 3-24.
- Rodríguez, M.A.M., Pinto, P., Bezerra, R.M.F., Dias, A.A., Guedes, C.V.M., Cardoso, V.M.G., Cone, J.W., Ferreira, L.M.M., Colaço, J., Sequeira, C.A. 2008. Effect of enzyme extracts isolated from white-rot fungi on chemical composition and *in vitro* digestibility of wheat straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 141: 326–338.
- Ruiz, O., Castillo, Y., Aguilera, J.I., Arzola, C., Rodríguez, C., Jiménez, J.A., Rubio, H. 2006. Cascarrilla de avena tratada con urea y un aditivo enzimático en el consumo, la digestibilidad y la cinética ruminal de novillos. *Rev. Cuba. Cienc. Agríc.* 40: 433–438.
- Salem, A.Z.M., Hassan, A.A., Khalil, M.S., Gado, H.M., Alsersy, H., Simbaya, J. 2012. Effects of sun-drying and exogenous enzymes on nutrients intake, digestibility and nitrogen utilization in sheep fed *Atriplex halimus* foliages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 171: 128–135.
- Sánchez A, Ysunza F, Beltrán M, Esqueda M. Cultivo del hongo comestible *Pleurotus* sobre residuos vitivinícolas y su manejo pos cosecha. [Tesis de Maestría]. Hermosillo, México: Universidad de Sonora; 2005.

- Saparrat, M.C.N., Mocchiutti, P., Liggieri, C.S., Aulicino, M.B., Caffini, N.O., Balatti, P.A., Martínez, M.J. 2008. Ligninolytic enzyme ability and potential biotechnology applications of the white-rot fungus *Grammothele subargentea* LPSC no. 436 strain. *Process Biochem.* 43: 368–375.
- SAS/STAT® (programa de computadora). Versión 9.3. SAS Institute Inc; 2013.
- Valiño, E.C., Elías, A., Torres, V., Carrasco, T., Albelo, N. 2004. Mejoramiento de la composición del bagazo de caña de azúcar por la cepa *Trichoderma viride* M5-2 en un biorreactor de fermentación en estado sólido. *Rev Cuba. Cienc Agric* 38: 145–153.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.P. and Lewis, B.A. 1991. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* Vol. 74: pp. 3583 – 3597.
- Van Vuuren, A.M., C.J. Van Der Koelen and J. Vroons-De Bruin. 1986. Influence of level and composition of concentrate supplements on rumen fermentation patterns of grazing dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 34: 457-467.
- Velázquez-Cedeño, M., Farnte, A., Ferré, E. 2004. Variations of lignocellulosic activities in dual culture of *Pleurotus ostreatus* and *Trichoderma longibrachiatum* on unsterilized wheat straw. *Mycologia* 96: 712-719.
- WingChing-Jones, R., Retana, G.A. 2009. Valor nutricional del heno de transvala inoculado con el hongo *Pleurotus ostreatus* sp. *Agron. Costarric. Rev. Cienc. Agríc.* 33: 147–153.

Yescas-Yescas, R., Barcena-Gama, R., Mendoza-Martínez, G. D., González-Muñoz, S.S., Cobos-Peralta, M., Ortega, M.E. 2004. *In situ* digestibility of corn stover or oat straw diets with fibrolytic enzymes. *Agrociencia* 38: 23-31.

CONCLUSIONES GENERALES

El resultado obtenido de los residuos de frijol, maíz y caña de azúcar demostraron ser una alternativa para la producción del *Pleurotus ostreatus*, para un aprovechamiento integral a estos residuos para la generación de un alimento con un alto valor nutricional a un costo muy bajo.

Se demostró que el efecto de inclusión del hongo *Pleurotus ostreatus* en los residuos de frijol, maíz y caña de azúcar indujo a una menor concentración de FDN y FDA en caña de azúcar y mayor degradación de la MS, FDN y FDA. Estos residuos son factibles de utilizarlos en la alimentación de rumiantes, una vez tratados con *Pleurotus ostreatus*.

Finalmente, los resultados obtenidos del análisis del trabajo realizado demostraron la utilidad de esta metodología para estudiar, en futuros experimentos con animales consumo y ganancia de peso de los residuos agrícolas utilizados en el cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

Dr.

EUSEBIO ORTEGA JIMENEZ

Cordial saludo:

Acuso el recibo de su artículo **“Production of *Pleurotus ostreatus* fungus on agricultural wastes”**, el cual será sometido a la verificación de las correcciones por nuestro equipo editorial.

En caso de que su artículo sea finalmente aprobado, durante el proceso de edición se le estará contactando para la corrección y aprobación definitiva del documento.

Le agradecemos su interés por publicar en la Rev. MVZ Córdoba.

Cordialmente,

MARCO GONZALEZ TOUS., MVZ., M.Sc.

Editor Rev.MVZ Córdoba ISSN 0122-0268

Categoría A1 – PUBLINDEX- COLCIENCIAS - COLOMBIA

<http://revistas.unicordoba.edu.co/revistamvz/>



Editorial del Colegio de Postgraduados

3 de octubre de 2016

CARTA DE RECEPCIÓN

DR. EMILIO MANUEL ARANDA IBAÑEZ
earanda@colpos.mx

Le comunico haber recibido la siguiente contribución para iniciar el proceso editorial en la revista AGROCIENCIA.

Título: EFECTO DE LA INCLUSIÓN DEL HONGO *Pleurotus ostreatus* EN LA DEGRADACIÓN DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS.

Autores: Alex R. Olivera-De la Cruz, Eusebio Ortega-Jiménez, Pablo Díaz-Rivera, Emilio Aranda-Ibañez, Germán Mendoza-Martínez.

Su contribución ha sido formalmente recibida, asignándole la clave:16-227. Copias de la misma serán enviadas a dos árbitros y a un editor, quienes evaluarán su contenido. Oportunamente se le comunicará los dictámenes respectivos.

Asimismo, le agradeceré que en toda correspondencia: a) Indique la clave asignada; b) notifique cualquier cambio de domicilio por correo electrónico.

Le recuerdo que como **autor responsable**, usted debe recabar las autorizaciones de los coautores (de haberlos) de que están conformes con el contenido de cada una de las versiones requeridas durante el proceso editorial y mantenerlos informados oportunamente de los avances respectivos. Es decir, **el suscrito sólo extenderá constancias a usted** por lo que le agradeceré que, de requerirse, sea el conducto para hacerle llegar copias a los interesados,

Finalmente le anticipo que, en caso de ser aprobada para publicación, su contribución deberá ser traducida al idioma inglés. Para tal efecto la dirección de Agrociencia ha seleccionado un grupo de traductoras que han probado su competencia en esa tarea. La traducción será asignada por el suscrito a una de ellas, en el entendido de que el pago que se convenga será hecho directamente por el autor responsable a la traductora. Ninguna persona de la oficina de Agrociencia actuará como intermediaria en los aspectos financieros involucrados.

SERGIO S. GONZÁLEZ MUÑOZ
DIRECTOR DE AGROCIENCIA

❖ SSGM/yfm