



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

EVALUACIÓN DEL HONGO *Fomes sp.* EUM1 EN LOS RESIDUOS DE COSECHA MECANIZADA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

ALEX RICARDO OLIVERA DE LA CRUZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO

2013

La presente tesis, titulada: **Evaluación del Hongo *fomes sp. EUM1* en los residuos de cosecha mecanizada de la caña de azúcar**, 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:

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. Jesús Alberto Ramos Juárez

ASESOR: 
Dr. Emilio Manuel Aranda Ibáñez

ASESOR: 
Dr. Germán David Mendoza Martínez

ASESOR: 
Dr. Luis Manuel Vargas Villamil

H. cárdenas, Tabasco a 12 de Abril del 2013

**Evaluación del hongo *Fomes sp.* EUM1 en los residuos de cosecha
mecanizada de la caña de azúcar**

Alex Ricardo Olivera De la cruz, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

Los residuos de la caña de azúcar representan una alternativa viable para contrarrestar la escasez de forrajes en temporadas de nortes y/o secas, ya que se produce en promedio 18.2 Ton/MS/ha⁻¹ por parcela. Con el uso de la biotecnología se han desarrollado diferentes alternativas para reducir los componentes fibrosos e incrementar la degradación de los forrajes de baja calidad entre las que destacan la utilización de bacterias, levaduras, hongos y enzimas. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue evaluar la degradación de los residuos fibrosos de la caña de azúcar utilizando un tratamiento biológico a través del Hongo *Fomes sp.* EUM1, mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial en tres tiempos de crecimiento (7, 10 y 13 días) y el segundo factor con cuatro porcentajes de inóculo (0, 0.1, 0.2 y 0.3 %). Obteniendo interacción de las variables de la materia seca (MS) y la proteína cruda (PC) se incrementaron de acuerdo a la concentración del inóculo y a los días de crecimiento del hongo, el pH aumentó de acuerdo al porcentaje de inóculo independientemente a los días de crecimiento. La Fibra detergente neutra (FDN) no se vio reducida respecto a la concentración del inóculo y a los

días de crecimiento, en la Fibra detergente acida (FDA) se encontró efecto por la adición del hongo. Con respecto a la degradación *in situ* de la materia seca (DIMS), a la degradación *in situ* de la materia orgánica (DIMO), a la degradación *in situ* de la fibra detergente neutro (DIFDN), y a la degradación *in situ* de la fibra detergente acida (DIFDA), se obtuvo un incremento en la tasa de degradación (Kd) con la inoculación del hongo. Se concluye que la inoculación del Hongo *Fomes sp. EUM1* favorece la degradación de los componentes fibrosos y el incremento de la proteína.

Palabras claves: Hongo *Fomes sp. EUM1*, Residuo de cosecha de caña, degradación.

**Evaluation of the fungus *Fomes sp.* EUM1 in crop residues
mechanized sugarcane**

Alex Ricardo Olivera De la cruz. MC

Colegio de Postgraduados, 2013

The residues of sugarcane represent a viable alternative to counter the shortage of forage in seasons north and / or dry, as it occurs on average Ton/MS/ha-1 2.18 per parcel. With the use of biotechnology different alternatives have been developed for reducing the fibrous components and increase the degradation of low-quality fodder emphasizing the use of bacteria, yeasts, fungi and enzymes. Therefore the objective of this study was to evaluate the degradation of fibrous residue of sugarcane using a biological treatment through Fungus *Fomes sp.* EUM1, in the studied a completely randomized design with factorial arrangement in three stages of growth (7, 10 and 13 days) and the second factor with four seed rates (0, 0.1, 0.2 and 0.3%). The results show interaction of the variables of dry matter (DM) and crude protein (CP) the increased according to the concentration of the inoculum and the days of growth, the pH is increased according to the percentage of the day independently inoculum growth. The neutral detergent fiber (NDF) was reduced according to the concentration of the inoculum and days of growth, the acid detergent fiber (ADF) effect was found by adding the fungus. With respect to in situ

degradation of dry matter (DIMS), the in situ degradation of organic matter (DIMO), degradation in situ neutral detergent fiber (DIFDN) and the in situ degradation of the fiber acid detergent (DIFDA), there was an increase in degradation rate (Kd) the fungus. It is concluded that inoculation of fungus *Fomes* sp. EUM1 favor degradation of the fiber constituents, the protein increased was favored.

Key Words: Fungus *Fomes* sp. EUM1, cane crop residue, degradation.

DEDICATORIAS

A DIOS.

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

A mis padres

Constantino Olivera 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 de feliz matrimonio.

A mis hijos

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

A mis Hermanos

Son muchos para mencionarlos, esto es por ustedes por ser un ejemplo a seguir a delante gracias familia.

AGRADECIMIENTOS

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

Al **Dr. Jesús Alberto Ramos** por haber sido consejero de mi tesis y por todos esos conocimientos aportados para la realización de esta investigación.

Al **Dr. Emilio Manuel Aranda Ibáñez** por sus enseñanzas, su paciencia y haberme permitido realizar esta investigación bajo su tutela.

Al **Dr. Germán David Mendoza Martínez** por haber aceptado ser mi asesor y comentarios sobre el rumbo de esta investigación.

Al **Dr. Luis Manuel Vargas Villamil** por ser mi asesor, conocimientos transmitidos en sus clases y colaboración sincera en la revisión de esta tesis.

AL **Dr. Juan Manuel Zaldívar Cruz** por ser una persona excepcional, por su amistad, su apoyo incondicional y consejos acertados durante mi estancia en esta institución.

AL **Dr. Octavio Loera Corral** por sus conocimientos y tiempo aportado durante mi estancia en la UAM.

Al **Dr. Oscar Arce, MC. Jazmín Méndez, MC. Francisco Javier Martínez** por brindarme su amistad, ayuda desinteresada durante mi estancia en la UAM.

A mis compañeros y amigos **Beatriz Godínez, Cristel Silvan, Eduardo Capetillo, Ernesto Martínez, Gloria De dios, José Luis Jerónimo, Roberto Loyo** por su amistad brindada y fiestas realizadas para la relajación durante mi estancia en esta institución.

Muchas gracias por ser como son.

CONTENIDO

I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
2.3 Hipótesis	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Generalidades de la ganadería en el trópico.....	4
3.2 Importancia de los pastos en la alimentación	5
3.3 El cultivo de la caña de azúcar.....	6
3.4 Residuos de cosecha de la caña de azúcar.....	9
3.5 Limitantes nutricionales de los residuos de cosecha de la caña de azúcar	11
3.6 Estructura de la pared celular	11
3.6.1 Celulosa.....	12
3.6.2 Hemicelulosa	13
3.6.3 Lignina	13
3.7 Tecnologías para mejorar el valor nutritivo de los alimentos fibrosos	15
3.7.1 Tratamientos físicos	15
3.7.2 Tratamientos químicos.....	15
3.7.3 Tratamientos biológicos.....	16
3.8 El género Fomes	17
3.9 Antecedentes	18

3.10 Medio de cultivo sólido	19
3.11 Factores que afectan el cultivo sólido	20
3.11.1 Tamaño de partícula	20
3.11.2 El pH	21
3.11.3 Temperatura	21
3.11.4 Humedad y actividad de agua.....	21
IV. MATERIALES Y METODOS.....	22
4.1 Localización geográfica de los laboratorios de Alimento y de Ciencia Animal.....	22
4.2 Climatología.....	22
4.3 Microorganismo	23
4.4 Medio de cultivo.....	23
4.5 Determinación de biomasa.....	24
4.6 Cultivo en medio solido	24
4.6.1 Sustrato.....	24
4.6.2 Condiciones de cultivo	25
4.7 Tratamientos y diseño experimental.....	25
4.8 Recolección y procesamiento de las muestras.....	27
4.9 Determinación de parámetros fermentativos	27
4.9.1 pH	27
4.10 Determinación de parámetros bromatológicos	27
4.10.1 Materia seca (MS).....	27
4.10.2 Proteína cruda (PC)	28
4.10.3 Ceniza.....	28
4.10.4 Materia orgánica (MO)	28

4.10.5 Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)..	28
4.10.6 Contenido celular (CC)	28
4.10.7 Hemicelulosa	28
4.10.8 Degradación <i>in situ</i> de la materia seca (DIMS)	28
4.10.9 Degradación <i>in situ</i> de la fibra detergente neutra (DIFDN).....	29
4.10.10 Degradación <i>in situ</i> de fibra detergente ácida (DIFDA).....	30
4.10.11 Degradación <i>in situ</i> de la materia orgánica (DIMO).....	30
4.10.12 Energía metabolizable (EM)	31
4.11 Análisis estadístico para las variables de degradación.....	31
4.12 Tasa de degradación	32
V. RESULTADOS	34
5.1 Parámetros químicos	34
5.2 Parámetro fermentativo.....	44
VI. DISCUSION	47
VII. CONCLUSIONES.....	51
VIII. RECOMENDACIONES	52
IX. LITERATURA CITADA	53
X. ANEXO	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estudios de los subproductos de la caña	10
Cuadro 2. Clasificación del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1	17
Cuadro 3. Distribución de los tratamientos.....	26
Cuadro 4. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el contenido de MO de residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar..	35
Cuadro 5. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el contenido de Cenizas de residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.....	36
Cuadro 6. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el contenido de FDN de residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.	37
Cuadro 7. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el contenido de FDA de residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar.....	37
Cuadro 8. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el contenido de Hemicelulosa en residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.....	38
Cuadro 9. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el contenido de CC en residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la pared celular.	12
Figura 2. Estructura de la lignina	14
Figura 3. Localización del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco	22
Figura 4. Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i>	23
Figura 5. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i> y días de crecimiento en el contenido de la MS de residuos de cosecha mecanizada de la caña de azúcar.	34
Figura 6. DIMS (%) de residuos de la caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i>	40
Figura 7. DIFDN (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i>	41
Figura 8. DIFDA (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i>	42
Figura 9. DIMO (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i>	43
Figura 10. EM (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i>	44
Figura 11. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp. EUM1</i> y días de crecimiento en valor del pH en residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.	45

Figura 12. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de PC en residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar.....46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en su contenido de la MS de residuos de cosecha mecanizada de la caña de azúcar	67
Anexo 2. Degradación <i>in situ</i> de la materia seca (%) en residuos de caña mecanizada tratada con Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1	68
Anexo 3. Degradación <i>in situ</i> de la fibra detergente neutro (%) en residuos de caña mecanizada tratadas con Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1	69
Anexo 4. Degradación <i>in situ</i> de la fibra detergente acida (%) en residuos de caña mecanizada tratadas con Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1	70
Anexo 5. Degradación <i>in situ</i> de la materia orgánica (%) en residuos de la caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1	71
Anexo 6. Energía metabolizable (%) en residuos de caña mecanizada tratadas con Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1	72
Anexo 7. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el valor del pH en residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar	73
Anexo 8. Efecto de la concentración del Hongo <i>Fomes sp.</i> EUM1 y días de crecimiento en el contenido de PC de residuos de cosecha mecanizada de la caña de azúcar.	74

ABREVIATURAS USADAS

N	Nitrógeno	%	Porcentajes
°C	Grados Celsius	msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros	MS	Materia seca
t	Toneladas	PC	Proteína cruda
ha	Hectáreas	MO	Materia orgánica
FB	Fibra bruta	FDN	Fibra detergente neutra
Kd	Tasa de degradación	FDA	Fibra detergente ácida
AGV	Ácidos grasos volátiles	CC	Contenido celular
pH	Potencial de hidrogeno	DIMS	Degradación de la materia seca
cm	Centímetros	DIFDN	Degradación <i>in situ</i> de la fibra detergente neutra
ml	Milímetros	DIFDA	Degradación <i>in situ</i> de la fibra detergente ácida
g	Gramos	DIMO	Degradación <i>in situ</i> de la materia orgánica
h	Horas	EM	Energía metabolizable
Psi	Presión	AOAC	Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists.
min	Minutos	ARC	Agricultural Research Council

I. INTRODUCCION

Uno de los problemas fundamentales de la alimentación en los rumiantes en el trópico es la baja disponibilidad de los pastos en la época de norte y seca (Aranda 2000). La producción del forraje en las praderas es variable ya que está influenciada por la temperatura, la precipitación y la radiación solar que imposibilitan 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 representan una alternativa viable para contrarrestar la escasez de forrajes en temporadas de norte y seca. Estos son considerados como un recurso forrajero con potencial (Aranda *et al.*, 2003 y Martin 2004), aunque presenta deficiencias nutricionales como el bajo contenido de nitrógeno (N), baja digestibilidad de la fibra y reducido contenido de minerales (Martin 1997 y Aranda 2000). La producción de la biomasa aérea de la planta acumula un promedio de 5,000 a 6,000 kg ha⁻¹ (Manchado *et al.*, 1987).

Los métodos físicos y químicos que se han desarrollado mejoran la digestibilidad de los residuos agrícola 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. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del hongo *Fomes sp.* EUM1 en los residuos de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), para el mejoramiento del valor nutritivo con fines de alimentación de rumiantes.

2.2 Objetivos específicos

1.- Evaluar las diferentes concentraciones del Hongo *Fomes sp.* EUM1 sobre la degradación de los componentes fibrosos de los residuos de la caña de azúcar.

2.- Evaluar las diferentes etapas de incubación del Hongo *Fomes sp.* EUM1 sobre la degradación de los componentes fibrosos de los residuos de la caña de azúcar.

2.3 Hipótesis

El tratamiento del material residual del cultivo de la caña con el hongo *Fomes sp.* EUM1 incrementará la degradación de los residuos de cosecha.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Generalidades de la ganadería en el trópico

En México, la región del trópico húmedo tiene una superficie de 24 millones de hectáreas (12 % del territorio y 43 % de las zonas tropicales de México). Se localiza principalmente en los estados de Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Chiapas, Campeche y Quintana Roo. Se caracteriza por las fuertes precipitaciones pluviales que alcanzan los 4,000 mm anuales, con una media anual de 1,729 mm y una temperatura entre 24 y 45°C.

En el año 2011 el trópico húmedo y trópico seco produjo 981,738 toneladas de carne, que representan el 28.8 % de la producción del país. Destacan por su importancia los estados de Veracruz, Chiapas y Tabasco (SIAP, 2011).

El estado de Tabasco se encuentra localizado en la zona del trópico húmedo en el sureste de la República Mexicana, ubicado entre los 17° 15' y 18° 39' de latitud Norte, y los 91° 00' y 94° 17' de longitud Oeste. El estado colinda al norte con el Golfo de México y Campeche; al este con Campeche y la República de Guatemala; al sur con Chiapas y al oeste con Veracruz. Predomina el clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, tiene un promedio de precipitación y temperatura de 2,317.5 mm y 27°C, respectivamente (INEGI, 2010).

El inventario pecuario para el estado de Tabasco en el 2011 fue de 1, 511,922 cabezas de bovinos (carne y leche) (SIAP, 2011). Tabasco es el

décimo productor de ganado bovino con un volumen de producción de 131,494 t que representa el 3.63 % de la producción nacional.

3.2 Importancia de los pastos en la alimentación

La alimentación bovina en el trópico se sustenta principalmente con el uso de forrajes y pastos, que es la fuente más barata para la alimentación de los animales en la región (Ruiz, 2005). Sin embargo, todo esto se ve afectado debido a que la producción forrajera tiene una serie de limitantes relacionados con la calidad de los suelos, la competencia con los cultivos y malezas (Hernández, 2002), y la marcada estacionalidad, causada por la época de seca y de nortes, lo que genera escasez de forraje y baja calidad del alimento disponible (Sosa *et al.*, 2000). Produciendo principalmente, una baja producción de carne y leche.

Betancourt y Caraballo (2005) indican que dicha situación ha ocasionado en los sistemas de producción ganadera una alta dependencia del alimento concentrado, estos alimentos son elaborados principalmente con materias primas importadas, lo que lo hace cada día más costoso y en muchos casos, una práctica no rentable por los niveles de producción. Para mejorar la producción ganadera es factible establecer estrategias de suplementación a los animales en pastoreo que permiten reducir las pérdidas de peso vivo y producción de leche en las épocas críticas, especialmente en el período poco lluvioso y mantener una mejor tasa de crecimiento. Por tal motivo cada día cobra más importancia el desarrollo

de tecnologías para la elaboración de alimentos con los recursos naturales locales (Elías y Herrera, 2008).

3.3 El cultivo de la caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta originaria de Nueva Guinea, conocida por la humanidad quizá hace más de 8,000 años y transportada al continente americano por Cristóbal Colón a finales del siglo XV (Tecnicaña 1986). Es una gramínea perenne que tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 o 6 cm de diámetro, adaptada a zonas tropicales y sub-tropicales, y su persistencia está asociada a su manejo. Se considera como un recurso con potencial forrajero en los trópicos debido su alta producción de biomasa por unidad de superficie, ya que es un cultivo eficiente en la captura de la energía solar durante la fotosíntesis. Además, se puede emplear en las etapas críticas de disponibilidad de pastos y forrajes, sobre todo en la época de secas ya que es cuando tiene la mayor producción de biomasa, debido a que este cultivo requiere poca agua cuando está en edad adulta (Alexander 1988, Mena 1988, Molina 1990 y Martín 2004). También, en la época de secas se puede usar como heno en pie y no requiera lugar de almacenaje, ya que su almacenamiento es el propio terreno.

Una serie de características permiten reconocer en la caña azucarera ventajas comparativas apreciables frente a otras plantas forrajeras:

- Amplio rango de adaptación agroecológica
- Alta producción de biomasa por unidad de superficie
- Capacidad de rebrote
- Tolerancia a la sequía
- Alta concentración de azúcares solubles
- Resistencia a plagas y enfermedades
- Tolerancia a la quema
- Flexibilidad en su uso

En el 2010, México ocupó el quinto lugar a nivel mundial en producción de caña de azúcar con una producción total de 50, 421,600 t (FAO, 2011). En el país existen 57 ingenios o fábricas azucareras localizadas en 15 estados cañeros donde vive el 13 % de la población nacional. En el estado de Tabasco el cultivo de caña cuenta con 32,079 ha sembradas, de las cuales se cosechan 29,448 ha con una producción de 1, 437,264.44 t y un promedio de 48.81 t/ha (SIAP, 2011).

Con todo lo anterior, la caña de azúcar tiene un gran potencial para ser utilizada en la ganadería para las épocas de escasos forrajes.

Con respecto al valor nutritivo y a la composición del forraje de la caña de azúcar estas varían con respecto a la edad de la caña de azúcar, el número de tallo y hojas, contenido de proteína, extracto etéreo, azúcares y lignina. Los factores antes citados pueden aumentar o disminuir con la edad a diferencia de otros forrajes, así mismo la digestibilidad de la materia seca

se incrementa con la edad, debido a que existe una mayor acumulación de azúcares solubles (Aranda y Losada, 1980).

La alta concentración de azúcares solubles de la caña de azúcar (sacarosa, glucosa y fructosa) puede inhibir la celulolisis ruminal e influir negativamente en la digestibilidad de la fibra y el consumo voluntario (Elías 1983 y Galindo 1988), lo cual pudiera limitar el uso de la caña de azúcar como fuente básica energética por los rumiantes.

Presenta bajo contenido de proteína (<4 %), bajo contenido de minerales y una ausencia casi total de grasa y almidones lo que limita su aprovechamiento (Aranda *et al.*, 2004). Por ello las raciones alimenticias con caña de azúcar se deben enriquecer con fuentes proteicas y minerales para mejorar su valor nutricional y no se recomienda como única fuente de alimento.

Según Aranda *et al.* (2004), su uso se ve limitado principalmente por su bajo contenido de nitrógeno, minerales y la baja digestibilidad de la fibra, Urdaneta (2005) evaluó su contenido nutricional encontrando valores promedios de 26-28 % de materia seca (MS), 2-4 % de proteína cruda (PC), entre 36-48 % de Fibra bruta (FB) y una digestibilidad de la materia seca (DIMS) de 50-60 % . Freitas *et al.* (2006), mencionan que la caña de azúcar constituye una alternativa de alimentación para bovinos durante el periodo de secas.

3.4 Residuos de cosecha de la caña de azúcar

Se conoce como residuos de cosecha al material que queda después de que se separa el tallo de las hojas y el cogollo (puntas). Según se realice el corte y procesamiento de la caña de azúcar ya sea manual o mecanizado.

En el corte mecanizado, desde el punto de vista físico los residuos son un material heterogéneo y están compuestos principalmente por: cogollos y hojas verdes, hojas secas, vainas, trozos de caña e impurezas (Martin 2004). Por otro lado Miléo *et al.* (2011) evaluaron la composición química de la paja de caña encontrando valores promedio de 38.1 % de celulosa, 29.2 % de hemicelulosa, 24.7 % de lignina y 3.4 % de cenizas.

Bajos en azúcar pero que tienen un alto contenido de fibra (de baja digestibilidad). Son también bajos en grasas y cuando se fermentan en el rumen, el perfil de AGV es extremadamente bajo en ácidos propiónicos.

Salgado *et al.* (2011) estiman que después de cosechar una parcela mecánicamente pueden quedar 18 t/MS/ha⁻¹ de residuos.

Diferentes autores han estudiado la composición química y digestibilidad de subproductos de la caña de azúcar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estudios de los subproductos de la caña

Residuo	% Digestibilidad	Método	Fuente
Cogollo	60.3	In vivo	Butterworth (1963)
Cogollo	53.9	In vivo	Sánchez et al (1974)
Cogollo	60.2	In vivo	Montpellier y Preston (1977)
Cogollo	54.3	In vivo	Kevelenge (1983 ^a)
Residuo de centros de limpieza	31.9	In vivo	Hanke y Martín (1985)
Residuos de cosechadoras	38.2	In vivo	Díaz Casas et al (1986)
Residuos de cosechadoras	35.2	In vivo	Días Casas et al (1986)
Residuos de centro de limpieza	26.6	In vivo	Días Casas et al (1986)

La caña de azúcar acumula una gran concentración de carbohidratos solubles, la cual puede constituir del 30 a 40 % de la materia seca (Aranda y Losada, 1980). La concentración de lignina se incrementa con la madurez de la caña de azúcar, de 4 a 6 % de la materia seca (Aranda y Losada, 1980).

3.5 Limitantes nutricionales de los residuos de cosecha de la caña de azúcar

Los factores que limitan la digestión de los residuos de la caña de azúcar en los rumiantes son: bajo contenido de nitrógeno y alto contenido de fibra, mezclando los efectos negativos por reducción del pH ruminal, presencia de azúcares solubles y baja digestibilidad de la fibra (Hoover, 1986 y Leng, 1989).

González (1995) utilizó caña de azúcar como único alimento encontrando que el contenido de azúcares solubles reducía la actividad de las enzimas celulolíticas. Los bovinos alimentados con caña de azúcar mantuvieron un pH ruminal elevado y estable de 6.8 y 7.3 con pequeñas variaciones atribuidas a las altas tasas de flujo de saliva producidas durante el consumo y rumia.

3.6 Estructura 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). Químicamente están enlazados por fuerzas covalentes y no covalentes. En las fibras también se encuentran otros componentes como las pectinas, los taninos y minerales (Figura 1).

Aproximadamente del 35 al 80 % de la materia orgánica de los tejidos vegetales se encuentran en la pared celular (Valenciaga y Chongo, 2004). Sin embargo, los rumiantes que dependen exclusivamente del consumo de pastos, obtienen solo del 30 al 40 % de la energía digestible consumida de la pared celular del forraje (Ramírez *et al.*, 2002).

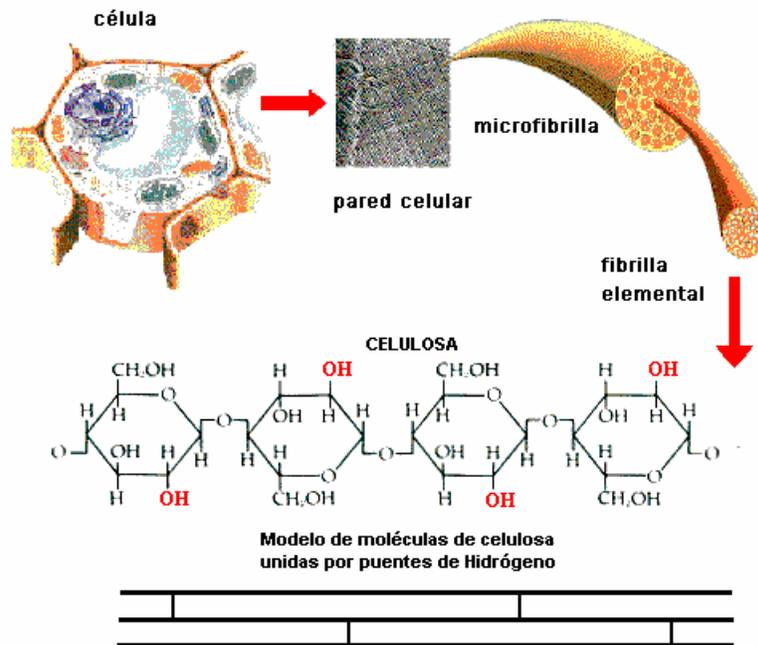


Figura 1. Estructura de la pared celular.

3.6.1 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, las cuales se agrupan en fibras elementales que constituye la celulosa (Cullen y Kersten, 1992; Pérez *et al.*, 2002).

Se encuentra unida a la lignina formando una mezcla de polímeros de ácido fenólico no aprovechables biológicamente (Church *et al.*, 2004).

3.6.2 Hemicelulosa

Hemicelulosa es un polímero complejo que 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.

3.6.3 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 (McCarthy *et al.*, 2000). La lignina es un polímero estructural de las plantas vasculares que está compuesta de unidades de fenilpropano (alcohol coniferílico, sinaprílico 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. (Figura 2) con un arreglo desigual de polímeros de fenilpropano que resiste la degradación química o enzimática, protectora de la celulosa.

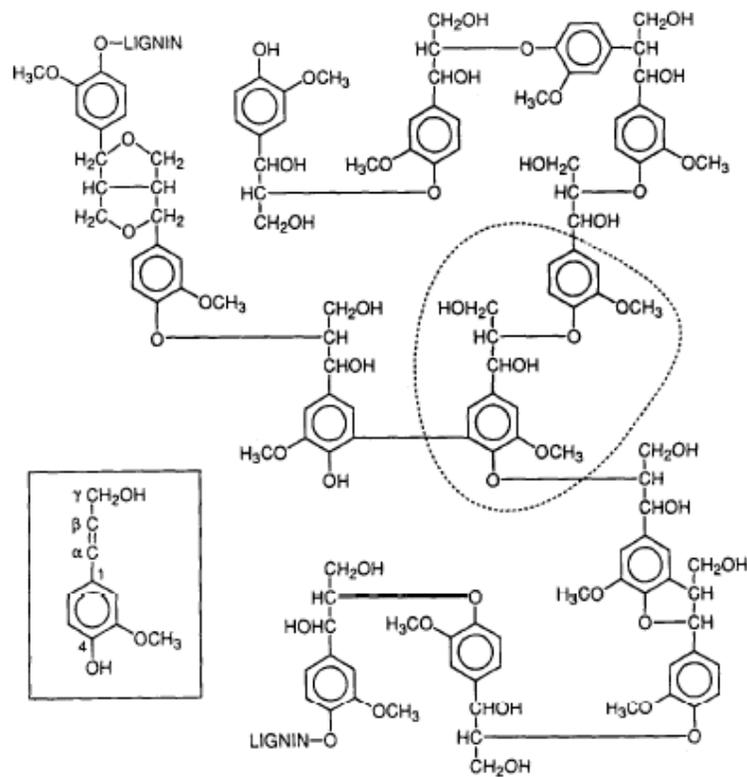


Figura 2. Estructura de la lignina

3.7 Tecnologías para mejorar el valor nutritivo de los alimentos fibrosos

3.7.1 Tratamientos físicos

El más generalizado de los tratamientos físicos es la disminución del tamaño de partícula. El objetivo de este tratamiento es aumentar la cantidad de energía retenida y, por ende, mejorar el comportamiento animal. Cuando se reduce el tamaño de partícula de los forrajes fibrosos, aumenta el consumo voluntario (Donefer, 1973). La molienda tiene por objeto disminuir el tamaño de la partícula del esquilmo e incrementar la superficie de exposición del forraje a la acción de los microorganismos ruminales. También se utiliza el peletizado y la humectación.

3.7.2 Tratamientos químicos

Este proceso consiste en tratar los residuos con sustancias alcalinas (hidróxido de sodio, hidróxido de potasio y amoníaco) para solubilizar la fibra y mejorar su degradación ruminal. Shimada (1987) menciona que todos aquellos sistemas que impliquen inmersión de material en soluciones químicas para su posterior lavado y secado tienen pocas posibilidades de ser aceptados por los productores, ya que involucran altos costos por concepto de agua, maquinaria y mano de obra. El material tratado debe lavarse para eliminar el residuo de dicho álcali que es tóxico para el animal que lo consuma (Flores, 1986).

Owen *et al.*, (1984) mencionan que tratamientos químicos con amonio, hidróxido de sodio y urea mejoran el valor nutritivo de algunas pajas de residuos agrícolas.

3.7.3 Tratamientos biológicos

En este proceso se utilizan principalmente hongos y bacterias que solubilizan los enlaces de lignina y mejoran la digestibilidad de la fibra de los subproductos lignocelulósicos. Los basidiomicetos, hongos de la pudrición blanca, son un ejemplo de este tratamiento; éstos degradan lignina y se obtienen sustratos para la alimentación animal, azúcares o etanol, disminuyendo así los problemas de digestibilidad que este compuesto le produce a los rumiantes.

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).

Los hongos de podredumbre blanca del género *Trametes* (EUM1) son mesófilos que tienen potencial para producir enzimas lignocelulolíticas en cultivo sólido para la alimentación de rumiantes (Ordaz *et al.*, 2011).

Según Rodríguez *et al* (2006), el termino podredumbre o pudrición blanca hace referencia a la celulosa blanca expuesta después de la degradación de la lignina por parte del microorganismo.

3.8 El género *Fomes*

La siguiente clasificación la proporcionaron Herrera y Ulloa (2004) para el género *Fomes*:

Cuadro 2. Clasificación del Hongo *Fomes* sp. EUM1

Reino	Fungi
División	Eumycota
Subdivisión	Basidiomycota
Clase	Holobasidiomycetes
Subclase	Hymenomycetidae
Orden	Polyporales
Familia	Polyporaceae
Género	<i>Fomes</i>

Este orden es de gran importancia económica localizado principalmente en América del Norte y Europa, de un color marrón, gris o beige, comprende especies saprobias y fito patógenas, comestibles y tóxicas; muchas de ellas son lignocelulolíticas es decir que causan pudrición en la madera. Esta especie del género *Fomes* son mesofílica, ya que sus temperaturas óptimas de crecimiento se encuentran entre los 20°C y 36°C, muy pocas especies son termo tolerantes (Campbell, 1938).

El Hongo *Fomes sp.* EUM1 es capaz de crecer en un rango de temperatura que va desde los 20 a los 40°C, sin embargo se ha determinado su temperatura óptima de crecimiento en 30°C (Ordaz *et al.*, 2011).

3.9 Antecedentes

Los hongos de la podredumbre blanca son conocidos como eficientes degradadores de lignina y son usados para el tratamiento de pajas ya que poseen diferentes complejos enzimático lignocelulolítico.

El género *Fomes* ha sido utilizado para la producción de lacasas, celulasas y xilanasas que son enzimas lignocelulolíticas por cultivo sólido. En este sentido, los sustratos utilizados para su producción han sido las semillas de uva, la paja de cebada, la paja de trigo y las cáscaras de frutas. Sánchez (2010) no encontró diferencias en la producción de xilanasas en *Fomes sp.* EUM1 y *Pleurotus* pero sí mayor producción de celulasas en el género *Fomes sp.* EUM1 en cultivos con bagazo de caña de azúcar. Datos similares fueron reportados por Rodríguez-Couto *et al.*, 2003; Moldes *et al.*, 2003; Rosales *et al.*, 2002; Sun *et al.*, 2004; Jing *et al.*, 2007).

El tratamiento de la paja con hongo aumenta significativamente la formación de masa microbiana lo cual es importante en la nutrición de rumiantes (Villegas 2010).

Según Henzkill *et al.* (1998), una de las propiedades del genero *Fomes sp.*, es la degradación de la lignina para facilitar la digestión de la celulosa.

Wei *et al.* (2008), mencionan que el cuerpo fructífero de *Fomes fomentarius* se utiliza en la medicina tradicional china para enfermedades gastrointestinales, ulcera bucal, hepatocirrosis, inflamación, varios tipos de cáncer y efectos antioxidantes.

3.10 Medio de cultivo sólido

El cultivo sólido puede definirse como un proceso donde los microorganismos crecen sobre el material sólido con muy pocos niveles de agua. El material puede ser subproductos generados por las prácticas agrícolas y forestales (Nigam y Robinson, 2004; Krishna, 2005). Por su bajo contenido de humedad la fermentación se lleva a cabo por levaduras y hongos, lo que permite obtener metabolitos que pueden ser incorporados como aditivos, suplementos o catalizadores de reacciones como en el caso de las enzimas (Rodríguez, 2006).

Este tipo de cultivo mejora algunas características nutricionales de los esquilmos agrícolas cuando son utilizados como sustratos (Peláez *et al.*, 2008). Utilizando caña integral ensilada inoculada con *P. sapidus* mejoraron la desaparición de la materia seca *in vitro* las variables fermentativas del ensilaje.

El cultivo sólido presenta algunas ventajas sobre el cultivo líquido ya que se utiliza sustratos baratos como fuentes de carbono, el rendimiento del producto es más alto, tiene baja demanda de agua y energía, fácil aireación (Viniestra-González *et al.*, 2003).

3.11 Factores que afectan el cultivo sólido

En el cultivo sólido se debe tener en cuenta diversos factores que pueden limitar su utilización a escala industrial como el tamaño de partícula, el pH, la temperatura, la humedad y la actividad de agua.

3.11.1 Tamaño de partícula

Es un factor muy importante ya que esto determinará el área de contacto del micelio de los microorganismos y el sustrato. Con tamaños de partículas pequeñas el área de contacto entre el micelio y el sustrato se incrementa, pero a su vez, limita el intercambio de gases al reducirse el espacio entre las partículas.

Por el contrario, con tamaños de partícula grandes el área de contacto entre el micelio y el sustrato se reduce, pero el intercambio gaseoso mejora al incrementarse el espacio entre las partículas del sustrato (Barrios-González *et al.*, 1993).

Membrillo *et al.*, (2010), mencionan que el uso de distintos tamaños de partículas y una fuente de nitrógeno adicional para el bagazo de caña de azúcar, incrementa la concentración de proteína en comparación con otros tratamientos sin nitrógeno, además del incremento en la producción de enzimas xilanasas.

3.11.2 El pH

Es un factor muy importante en el cultivo sólido. El pH óptimo para hongos de 3.8 y 6 permite el control de la contaminación de bacterias patógenas.

3.11.3 Temperatura

Es uno de los factores que influye en el crecimiento que oscila entre 20 y 45°C en dependencia del microorganismo utilizado. Al haber un incremento en la temperatura: I) la actividad se desacelera o se detiene, II) se deshidrata el medio sólido, III) el metabolismo se desvía como mecanismo de defensa ante el calor (Gutiérrez, 1995). Además se puede tener pérdidas de agua afectando seriamente la producción de enzimas lignocelulolíticas (Mazutti *et al.*, 2007).

3.11.4 Humedad y actividad de agua

Son los factores que más influencia tienen en el medio de cultivo sólido. Los niveles de humedad óptima para un adecuado crecimiento son menor del 90 % y mayor del 50 %. Si los niveles aumentan o disminuyen respecto a este rango pueden reducir el crecimiento de hongos o levaduras (Azin *et al.*, 2007). Los requerimientos de humedad dependerán del microorganismo y del sustrato a utilizar.

Según Gutiérrez (1995), el agua cumple funciones tales como disolver los nutrientes homogéneamente para facilitar su acceso a las células y mantener las condiciones adecuadas del medio del cultivo sólido.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Localización geográfica de los laboratorios de Alimentos y de Ciencia Animal

El presente estudio se realizó en los laboratorios de Alimentos y de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Están ubicados en el km 3.5 Periférico Carlos A. Molina s/n, Carretera Cárdenas-Huimanguillo en la región de la Chontalpa en el municipio de Cárdenas Tabasco (Figura 3).

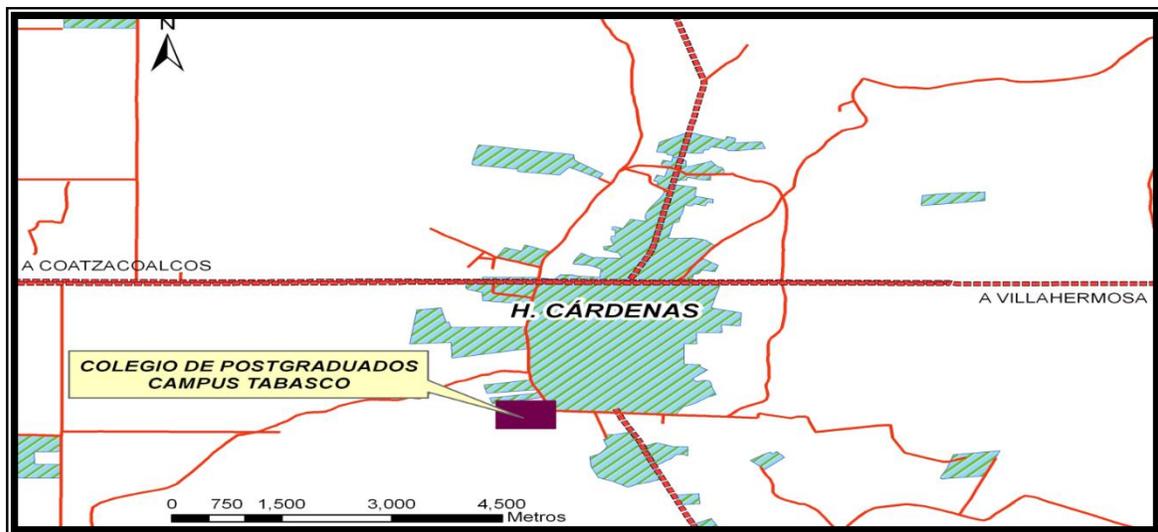


Figura 3. Localización del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco

4.2 Climatología

Ubicado en las coordenadas de 18° 00' latitud norte y 93° 30' de longitud oeste y una altitud de 9 msnm; el clima es cálido húmedo con lluvias en verano; la precipitación promedio anual es de 2,163 mm y la temperatura

media anual de 25°C con humedad relativa promedio de 80 % (INEGI, 2010).

4.3 Microorganismo

Se utilizó el hongo de la podredumbre blanca *Fomes sp.* EUM1 (Figura 4), para evaluar el efecto que tiene en la degradación de los componentes de la pared celular en los residuos de caña de azúcar. El hongo fue proporcionado por la Universidad Autónoma Metropolitana Campus Iztapalapa y fue aislado en Mérida, Yucatán por Medina (2000).



Figura 4. Hongo *Fomes sp.* EUM1

4.4 Medio de cultivo

Para la propagación del macromiceto se utilizó extracto de malta como fuente de carbono y como fuente de nitrógeno extracto de levadura ambos reactivos de la marca BD BIOXON El medio de cultivo se preparó disolviendo los siguientes componentes en agua destilada: extracto de malta (40 g/L), extracto de levadura (3g/L) y agar bacteriológico (18 g/L) (Schlosser *et al.*, 1997).

Se esterilizó en autoclave Visión Scientific durante 15 minutos a 120°C para eliminar la presencia de organismos contaminantes. El medio estéril se vertió en cajas petri en la cuales posteriormente fueron inoculadas con un disco de 0.6 cm de diámetro con micelio. Para el crecimiento se dejaron incubar a 30°C durante 7 días en una incubadora LAB-LINE imperial II.

4.5 Determinación de biomasa

Se realizó a los 7 días del crecimiento del micelio en base seco. La biomasa se separó del agar lavando la caja Petri con agua destilada en ebullición. Una vez separada la biomasa, se colocó en papel filtro (Whatman No. 541) y se secó en estufa de aire forzado SHEL LAB a 60°C hasta lograr un peso constante. El valor de la biomasa se obtuvo por diferencia de peso (Ashok *et al.*, 2001).

4.6 Cultivo en medio solido

4.6.1 Sustrato

El sustrato empleado fue el residuo de la cosecha mecanizada de caña de azúcar recién cortada de la variedad CP 20-86, en el poblado C-31 de Cárdenas Tabasco. El cual fue molido en el laboratorio de Ciencia Animal con molino de tracción para obtener partículas de 2 a 5 cm de diámetro.

4.6.2 Condiciones de cultivo

Se utilizaron Matraces Erlenmeyer de 500 ml, a los cuales se les agregó 105 g de sustrato seco (residuo mecanizado de caña de azúcar) fue humedecido 24 h antes de ser inoculado el sustrato con agua destilada al 1 % de urea. Al tratamiento testigo solo se le agregó agua destilada al 1 % de urea. La humedad alcanzada fue de 77 %. Posteriormente todos los matraces se esterilizaron en autoclave (120°C, 15 psi, 20 min) y se inocularon con el hongo *Fomes sp.* EUM1 con distintos porcentajes de inóculo de acuerdo al tratamiento 0 %, 0.1 % (1.5 g), 0.2 % (2.1 g), 0.3 % (3.15 g). Se incubaron a una temperatura de 35°C durante 7, 10 y 13 días en una incubadora LAB-LINE imperial II.

4.7 Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 4 con variable de respuesta al incremento en Y. El primer factor estudiado fue los días de crecimiento en matraz (7, 10 y 13), el segundo factor fue el % de inóculo (0, 0.1, 0.2 y 0.3) formando así 12 tratamientos. Al realizar cuatro repeticiones por tratamiento se tuvo un total de 48 unidades experimentales.

Cuadro 3. Distribución de los tratamientos

Factor A Días de crecimiento	Factor B % Inóculos			
	0	0.1	0.2	0.3
7	T1	T2	T3	T4
10	T5	T6	T7	T8
13	T9	T10	T11	T12

Para el análisis estadístico de la media de los datos se aplicó la d6cima de Tukey (1953). Para el procesamiento de los datos se utiliz6 el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System, Versi6n 9.3, 2011) aplicando el modelo siguiente.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

D6nde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta en la repetic6n k, con el i-6simo nivel de A, el j-6simo nivel de B y la repetic6n k-6sima.

μ = Media general

A_i = Efecto del i-6simo nivel del factor A (Días de crecimiento en matraz)

B_j = Efecto de j-6simo nivel del factor B (% de in6culos)

AB_{ij} = Efecto de la interacci6n del i-6simo nivel del factor A y el j-6simo nivel de factor B en su repetic6n κ

ϵ_{ijk} = Error aleatorio

4.8 Recolección y procesamiento de las muestras

Transcurrido el tiempo de conservación de la paja según los diferentes tratamientos aplicados, se sacaron los contenidos de los matraces y se extendieron en charolas de plástico se tomaron muestras para análisis fermentativo (10 g), para MS (20 g) y posteriormente se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h. Transcurrido el tiempo, se molieron las muestras en un molino de martillo marca Thomas Willey adaptado con una malla de 2 mm, se conservó dicho material en bolsas de plástico, previamente identificadas para su posterior análisis químico.

4.9 Determinación de parámetros fermentativos

4.9.1 pH

Se tomaron 10 g de la paja de cada matraz, se depositaron en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, en donde se le adicionó 90 ml de agua destilada y se agitó durante 30 min en un agitador mecánico marca Thermo scientific modelo SP-131325. Posteriormente se filtró y se midió inmediatamente el pH con un potenciómetro marca Ultra BASIC.

4.10 Determinación de parámetros bromatológicos

4.10.1 Materia seca (MS)

Para determinar la MS se pesaron 20 g de muestra de los matraz se colocaron en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h de acuerdo al método de la AOAC (2000).

4.10.2 Proteína cruda (PC)

Para determinar esta variable se pesaron 0.30 g de muestra utilizando la metodología de Kjeldahl propuesta por la AOAC (2000).

4.10.3 Ceniza

Para obtener esta variable se pesaron 2 g de muestra y se utilizó la metodología propuesta por la AOAC (2000).

4.10.4 Materia orgánica (MO)

Esta variable se calculó por diferencia 100-% ceniza

4.10.5 Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)

Para determinar esta variable (FDN y FDA) se utilizaron bolsitas de tela nylon (5 x 10 cm) a las cuales se les agregó 0.6 g de muestra, previamente sometidas a estufa de aire forzado para mantener peso constante fueron selladas y se sometieron a la acción del detergente neutro y detergente ácido utilizando la metodología propuesta por (Van Soest *et al.*, 1991).

4.10.6 Contenido celular (CC)

Esta variable se calcula por diferencia 100 – FDN

4.10.7 Hemicelulosa

Se calculó por diferencia de peso en FDN – FDA

4.10.8 Degradación *in situ* de la materia seca (DIMS)

Para determinar la variable de la DIMS se procedió a utilizar la metodología descrita por Orskov *et al.* (1992). Se pesaron 5 g de muestra

que anteriormente habían sido molidas en malla de 2 mm y sometidas a estufa de aire forzado para tener peso constante, se colocaron en bolsas de poliseda (10 x 20 cm) y se incubaron en tres toros fistulados (tomados como repetición cada animal y duplicación por bolsita) en horarios de 6, 12, 24, 48, 72, y 96 h. Todas las muestras fueron retiradas y lavadas hasta que se eliminó todo residuo. Posteriormente fueron colocadas en una estufa de aire forzado a 60°C. Al estar secas, se pesaron y por diferencia de peso se determinó la DIMS, mediante la siguiente fórmula:

$$(PI-PF/PI) * 100$$

Dónde:

PI= peso inicial de la muestra

PF= peso residual obtenido

4.10.9 Degradación *in situ* de la fibra detergente neutra (DIFDN)

Para calcular esta variable en los residuos de la DIMS se siguió la metodología Van Soest *et al.* (1991) para obtener FDN (residual). Para obtener los gramos iniciales de FDN, se multiplicó el total de gramos utilizados en la DIMS por el porcentaje de FDN inicial y se dividió entre cien. Para obtener los gramos residual de FDN se utilizó el peso del residuo de la DIMS se multiplicó por el porcentaje de FDN residual y se dividió entre cien.

$$\% \text{ DIFDN: } (FDNi-FDNr/FDNi) * 100$$

Dónde:

FDNi= FDN inicial

FDNr= FDN residual

4.10.10 Degradación *in situ* de fibra detergente ácida (DIFDA)

Para calcular esta variable a los residuos de la DIMS se siguió la metodología Van Soest *et al.* (1991) para así obtener FDA (residual). Para obtener los gramos iniciales de FDA, se multiplicó el total de gramos utilizados en la degradación *in situ* de la materia seca por el porcentaje de FDA inicial y se dividió entre cien. Para obtener los gramos residual de FDA se utilizó el peso del residuo de la DIMS, se multiplicó por el porcentaje de FDA residual y se dividió entre cien.

% DIFDA: $(\text{FDAi}-\text{FDAr}/\text{FDAi}) * 100$

Dónde:

FDAi= FDA inicial

FDAr= FDA residual

4.10.11 Degradación *in situ* de la materia orgánica (DIMO)

Para calcular esta variable de la DIMO, los residuos de las bolsas que fueron incubadas en el rumen en horarios de 6, 12, 24, 48, 72, y 96 h, se tomaron sub muestras (2 g) para determinar el contenido de cenizas y materia orgánica de acuerdo al método de la AOAC (2000). Para obtener los gramos iniciales de materia orgánica se multiplicó el total de gramos utilizados en la DIMS por el porcentaje de materia orgánica inicial y se dividió entre cien. Para obtener los gramos residual de materia orgánica se

utilizó el peso del residuo de la DIMS, se multiplicó por el porcentaje de materia orgánica residual y se dividió entre cien.

$$\% \text{ DIMO: } (\text{MOi}-\text{MOr}/\text{MOi}) * 100$$

Dónde:

MOi= MO inicial

MOr= MO residual

4.10.12 Energía metabolizable (EM)

Para determinar esta variable de la EM se aplicó la fórmula propuesta por el ARC (1980):

$$\text{EM} = (\text{DMO} \times 3.616)/100$$

4.11 Análisis estadístico para las variables de degradación

Para el análisis estadístico de los datos relativos a la degradación en el rumen se aplicó la dócima de Tukey (1953). El procesamiento de los datos se realizó mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.3, 2011) con medidas repetidas usando proc mixed, para lo cual se utilizó el modelo siguiente.

$$\mathbf{Y}_{ijkl} = \mu + \mathbf{A}_i + \mathbf{B}_j + \mathbf{A}*\mathbf{B}_{ij} + \mathbf{d}_{ji} + \mathbf{P}_k + (\mathbf{AP})_{ik} + (\mathbf{BP})_{jk} + (\mathbf{A}*\mathbf{B}*\mathbf{P})_{ijk} + \mathbf{\epsilon}_{ijkl}$$

Dónde:

\mathbf{Y}_{ijkl} = Variable de respuesta

μ = Media general

\mathbf{A}_i = Efecto del factor A (Días de crecimiento)

\mathbf{B}_j = Efecto nivel del factor B (% de inóculos)

P_k = Efecto de r-ésimo nivel del factor C (Días de incubación en rumen)

D_{ji} = Error aleatorio dentro de efectos principales (Tratamientos)

(AB)_{ij}, (AP)_{ik}, (BP)_{jk}, (ABP)_{ijk}, (AB)_{ij} = Efecto de la interacción

€_{ijk} = Error aleatorio

4.12 Tasa de degradación

Para la determinación de esta variable se utilizó el modelo propuesto por Mertens *et al.* (1979).

$$\mathbf{FA} = \mathbf{D}e^{-\mathbf{K}t} + \mathbf{U}$$

e = Base del logaritmo natural

FA = Porcentaje de la fracción de fibra residual

-K = Pendiente, tasa de degradación

t = Tiempo de incubación

D = Fracción de fibra potencialmente digerible en el rumen

U = Fracción de fibra indigestible

Los resultados se analizaron de acuerdo con un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Para el análisis estadístico de los datos se aplicó la dócima de Tukey (1953); el procesamiento de los datos se realizó con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.3, 2011). El modelo estadístico aplicado fue el siguiente.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta en la repetición k, con el i-ésimo nivel de A, el j-ésimo nivel de B y la repetición k-ésima.

μ = Media general

A_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Días de crecimiento en matraz)

B_j = Efecto de j-ésimo nivel del factor B (% de inóculos)

AB_{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A y el j-ésimo nivel de factor B en su repetición κ

ϵ_{ijk} = Error aleatorio

V. RESULTADOS

5.1 Parámetros químicos

Se encontró interacción ($P < 0.05$) en el contenido de la MS de los factores estudiados (Figura 5, Anexo 1). En general, los tratamientos sin inóculo, independiente de los días de crecimiento del hongo, presentan los valores más bajos. Los mayores valores de MS se obtuvieron en los tratamientos con 0.1 % de inóculo a los 7 y 10 días de crecimiento del hongo, (31.2 y 30.6, respectivamente), 0.2 % de inóculo a los 7 días de crecimiento del hongo (33.8 %), y 0.3 % de inóculo a los 10 días de crecimiento del hongo (30.9 %), sin diferencia estadística entre ellos.

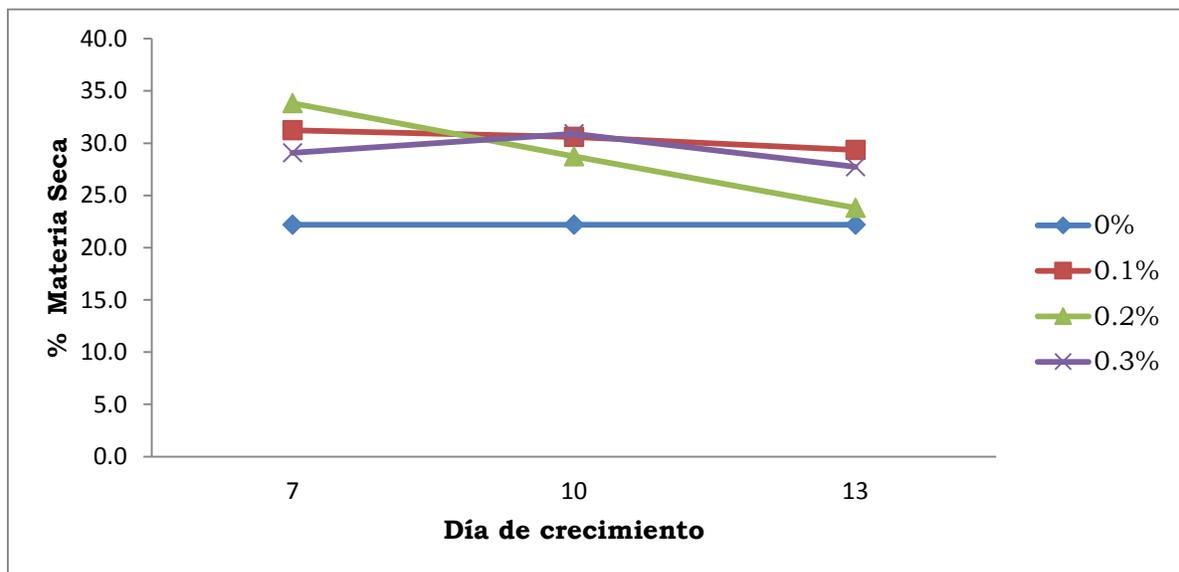


Figura 5. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de la MS de residuos de cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

En cuanto a la MO de los residuos de la cosecha mecanizada, no se encontró interacción entre los factores estudiados. No se observó diferencia estadística para los porcentajes de inóculo utilizados ni para los días de crecimiento del hongo (Cuadro 4).

Con respecto al contenido de cenizas de los residuos de la cosecha mecanizada, no se encontró interacción entre los factores estudiados. No se encontró diferencia estadística para los porcentajes de inóculo utilizados ni para los días de crecimiento del hongo (Cuadro 5).

Cuadro 4. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de MO de residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.

Factores y niveles	MO %
% Inóculo	
0	90.6 ^a
0.1	90.8 ^a
0.2	90.4 ^a
0.3	90.5 ^a
EE ±	0.11
Días de crecimiento	
7	90.4 ^a
10	90.8 ^a
13	90.6 ^a
EE ±	0.11

^a Media con el mismo superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

Cuadro 5. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de Cenizas de residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.

Factores y niveles	Cenizas %
% Inóculo	
0	9.4 ^a
0.1	9.2 ^a
0.2	9.6 ^a
0.3	9.5 ^a
EE ±	0.11
Días de crecimiento	
7	9.6 ^a
10	9.2 ^a
13	9.4 ^a
EE ±	0.11

^a Media con el mismo superíndice en la misma columna difieren a $P < 0.05$ (Tukey 1953).

Con respecto al contenido de FDN de los residuos de la cosecha mecanizada, no se encontró interacción entre los factores estudiados. No se encontró diferencia estadística para los porcentajes de inóculo utilizados ni para los días de crecimiento del hongo (Cuadro 6).

En relación al contenido de FDA de los residuos de la cosecha mecanizada, no se encontró interacción entre los factores estudiados. La presencia de inóculo incremento el contenido de FDA, sin observarse diferencias entre las concentraciones utilizadas. No se encontró diferencia en la variable días de crecimiento del hongo (Cuadro 7).

Cuadro 6. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de FDN de residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.

Factores y niveles	FDN %
% Inóculo	
0	82.8 ^a
0.1	82.7 ^a
0.2	80.8 ^a
0.3	81.8 ^a
EE ±	0.40
Días de crecimiento	
7	81.7 ^a
10	82.6 ^a
13	81.8 ^a
EE ±	0.40

^a Media con el mismo superíndice en la misma columna difieren a $P < 0.05$ (Tukey 1953).

Cuadro 7. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de FDA de residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar.

Factores y niveles	FDA %
% Inóculo	
0	46.7 ^b
0.1	51.5 ^a
0.2	53.0 ^a
0.3	52.1 ^a
EE ±	0.37
Días de crecimiento	
7	49.8 ^a
10	51.6 ^a
13	51.1 ^a
EE ±	0.37

^{ab} Medias con diferentes superíndices en la misma columna difieren a $P < 0.05$ (Tukey, 1953).

En cuanto a la hemicelulosa, no se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.05$). Aunque la adición del inóculo disminuye el porcentaje de hemicelulosa en los residuos de la cosecha mecanizada, observando los menores valores con 0.2 y 0.3 % de inóculo, no se registran diferencias estadísticas entre ellos. Tampoco se encontraron diferencias en los días de crecimiento del hongo (Cuadro 8).

Con respecto al CC de los residuos de la cosecha mecanizada, no se encontró interacción entre los factores estudiados. No se encontró diferencia estadística para los porcentajes de inóculo utilizados ni para los días de crecimiento del hongo (Cuadro 9).

Cuadro 8. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de Hemicelulosa en residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.

Factores y niveles	Hemicelulosa %
% Inóculo	
0	36.0 ^a
0.1	31.2 ^b
0.2	27.9 ^c
0.3	29.7 ^{bc}
EE ±	0.45
Días de crecimiento	
7	32.0 ^a
10	31.0 ^a
13	30.6 ^a
EE ±	0.45

^{ab} Medias con diferentes superíndices en la misma columna difieren a $P < 0.05$ (Tukey, 1953).

Cuadro 9. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de CC en residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.

Factores y niveles	CC %
% Inóculo	
0	17.2 ^a
0.1	17.3 ^a
0.2	19.2 ^a
0.3	18.2 ^a
EE ±	0.40
Días de crecimiento	
7	18.3 ^a
10	17.4 ^a
13	18.2 ^a
EE ±	0.40

^a Media con el mismo superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

Respecto a las muestras incubadas en rumen utilizando 6 periodos: I (6 h), II (12 h), III (24 h), IV (48 h), V (72 h) y VI (96 h),

En relación a la DIMS se encontró interacción (P<0.001) entre los factores estudiados. En los periodos **I**, **II** y **III** la mejor DIMS fue para el tratamiento de 0.1 % de inóculo y 13 días de crecimiento del hongo. En los periodos **IV**, **V** y **VI** el tratamiento con el valor más alto fue para el 0.3 % de inóculo y 13 días de crecimiento. Sin embargo el valor más alto de acuerdo a la Kd se obtiene con el tratamiento con 0.3 % de inóculo con 10 días de crecimiento del hongo (Figura 6, Anexo 2).

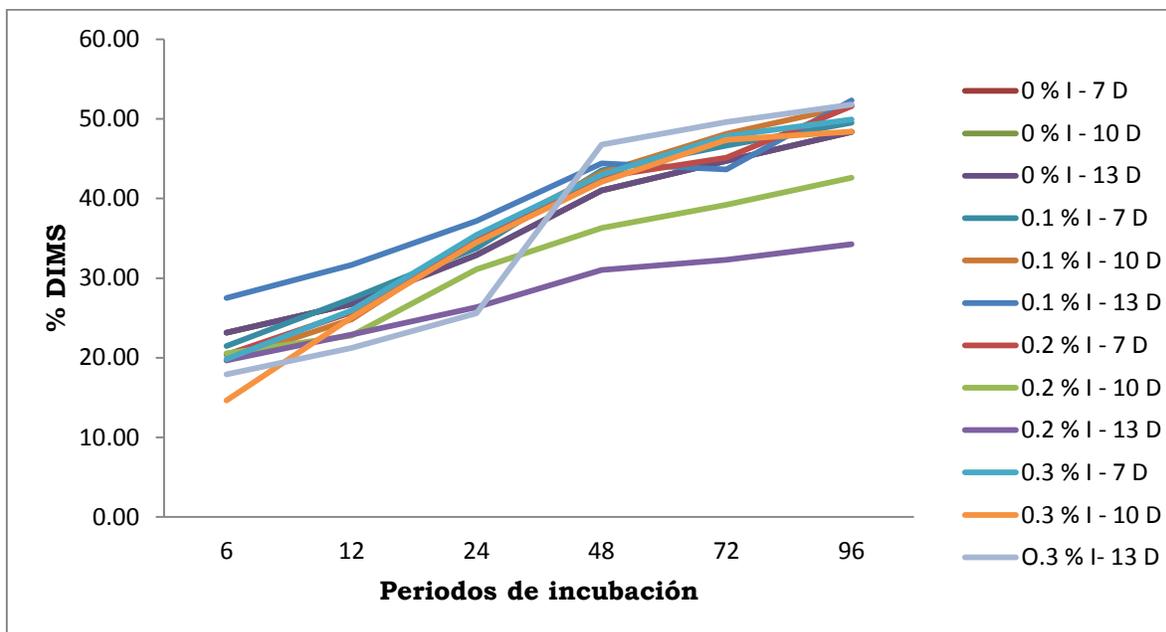


Figura 6. DIMS (%) de residuos de la caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo *Fomes sp.* EUM1.

También se encontró interacción ($P < 0.001$) en el contenido de la DIFDN de los factores estudiados (Figura 7, Anexo 3). En los periodos **I**, **II** y **III**, la mejor DIFDN fue para el tratamiento de 0.1 % de inóculo y 13 días de crecimiento del hongo, en el periodo **IV**, el tratamiento con el valor más alto es el 0.3 % de inóculo y 13 días de crecimiento; en los periodos **V** y **VI** el tratamiento con el valor más alto se encontró con 0.1 % de inóculo y 10 días de crecimiento. Sin embargo la mejor Kd de la DIFDN se obtuvo con el 0.3 % de inóculo con 13 días de crecimiento del hongo (5.2 %).

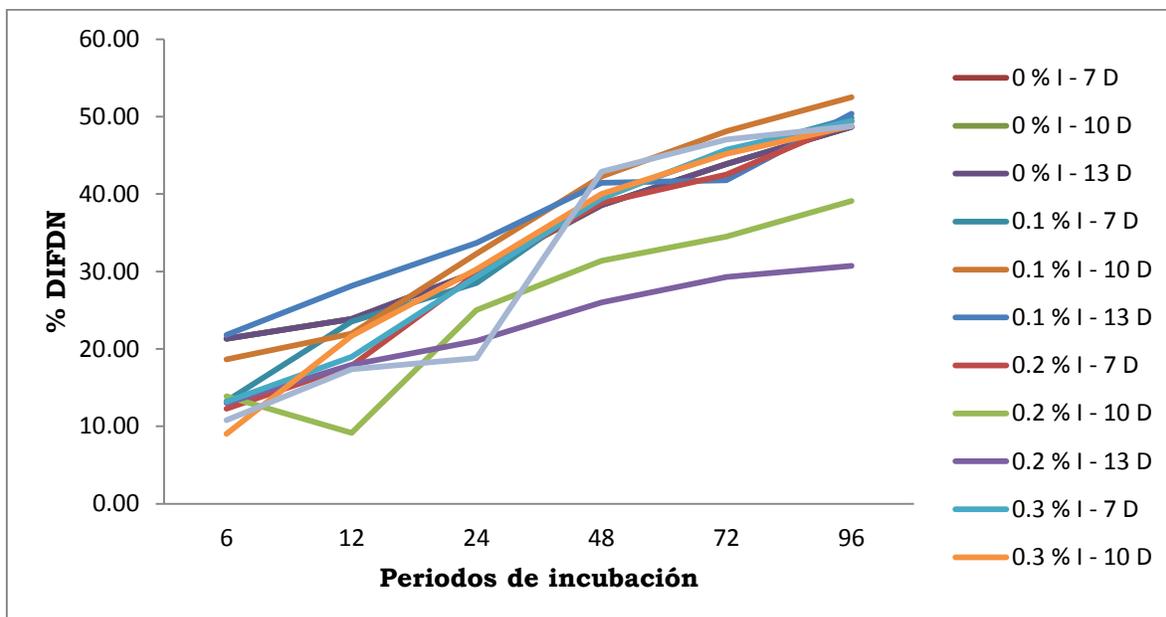


Figura 7. DIFDN (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo *Fomes sp.* EUM1.

Con respecto a la DIFDA se observó interacción ($P < 0.001$), entre los factores estudiados (Figura 8, Anexo 4). En los periodos **I**, **II** la mejor DIFDA fue para el tratamiento de 0.1 % de inóculo y 13 días de crecimiento del hongo, en el periodo **III**, el valor más alto se obtuvo con 0.1 % de inóculo y 10 días de crecimiento; el valor más alto en el periodo **IV** es el 0.3 % de inóculo y 13 días de crecimiento; en los periodos **V** y **VI**, la mejor DIFDA fue para el tratamiento de 0.1 % de inóculo y 10 días de crecimiento. Sin embargo la mejor Kd de la DIFDN de los residuos de la cosecha mecanizada se obtuvo con el 0.1 % de inóculo con 7 días de crecimiento del hongo (5.8 %).

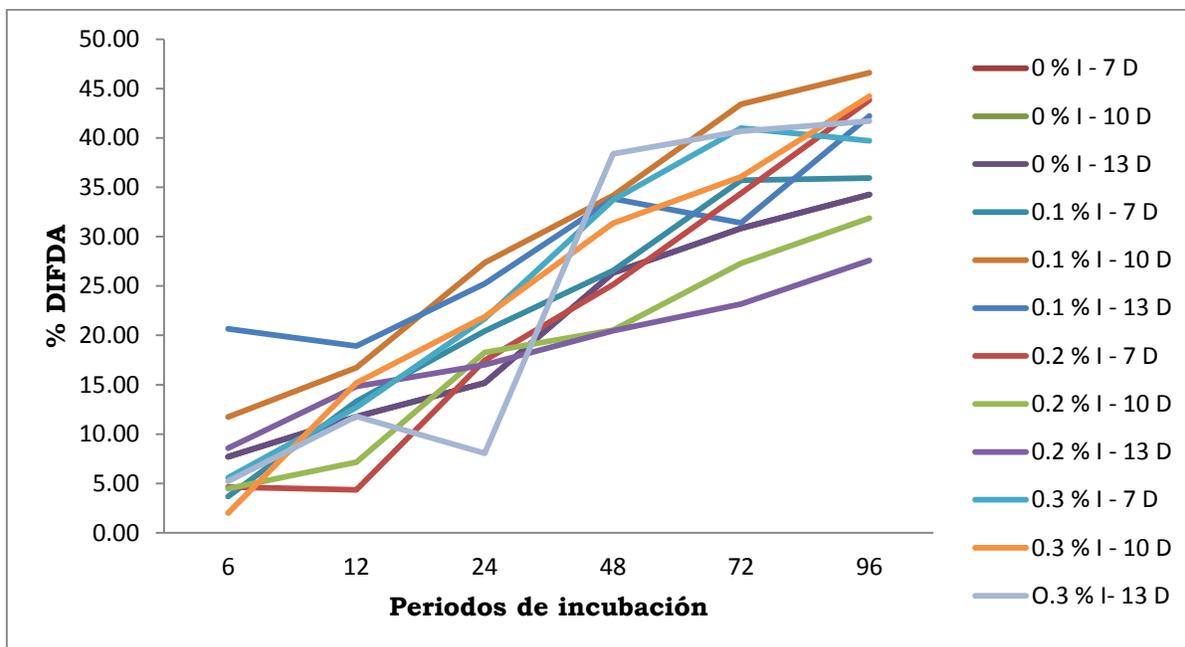


Figura 8. DIFDA (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo *Fomes sp.* EUM1.

En relación a la DIMO se obtuvo interacción con los factores estudiados ($P < 0.001$). En los periodos **I**, **II** y **III** la mejor DIMO fue para el tratamiento de 0.1 % de inóculo y 13 días de crecimiento del hongo; en los periodos **IV** y **V**, el tratamiento con el valor más alto es el 0.3 % de inóculo y 13 días de crecimiento; en el periodo **VI**, el tratamiento con el valor más alto se encontró con 0.1 % de inóculo y 13 días de crecimiento (Figura 9, Anexo 5). Sin embargo la mejor Kd de la DIMO de los residuos de la cosecha mecanizada se obtuvo con el 0.3 % de inóculo con 13 días de crecimiento del hongo (4.7 %).

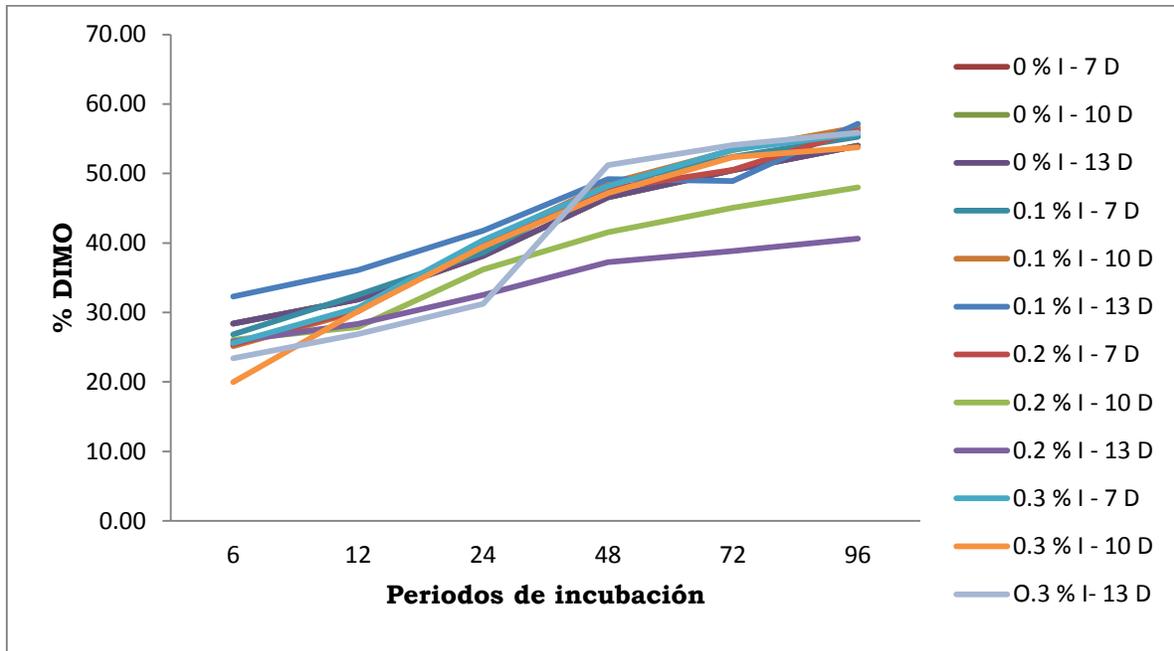


Figura 9. DIMO (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo *Fomes sp. EUM1*.

Con referente al contenido de EM se encontraron interacciones entre los factores estudiados ($P < 0.001$). En los periodos **I**, **II** y **III** la mejor EM fue para el tratamiento de 0.1 % de inóculo y 13 días de crecimiento del hongo; para los periodos **IV** y **V**, el tratamiento con el valor más alto es el 0.3 % de inóculo y 13 días de crecimiento; en el periodo **VI**, el tratamiento con el valor más alto se encontró con 0.1 % de inóculo y 13 días de crecimiento del hongo (Figura 10, Anexo 6).

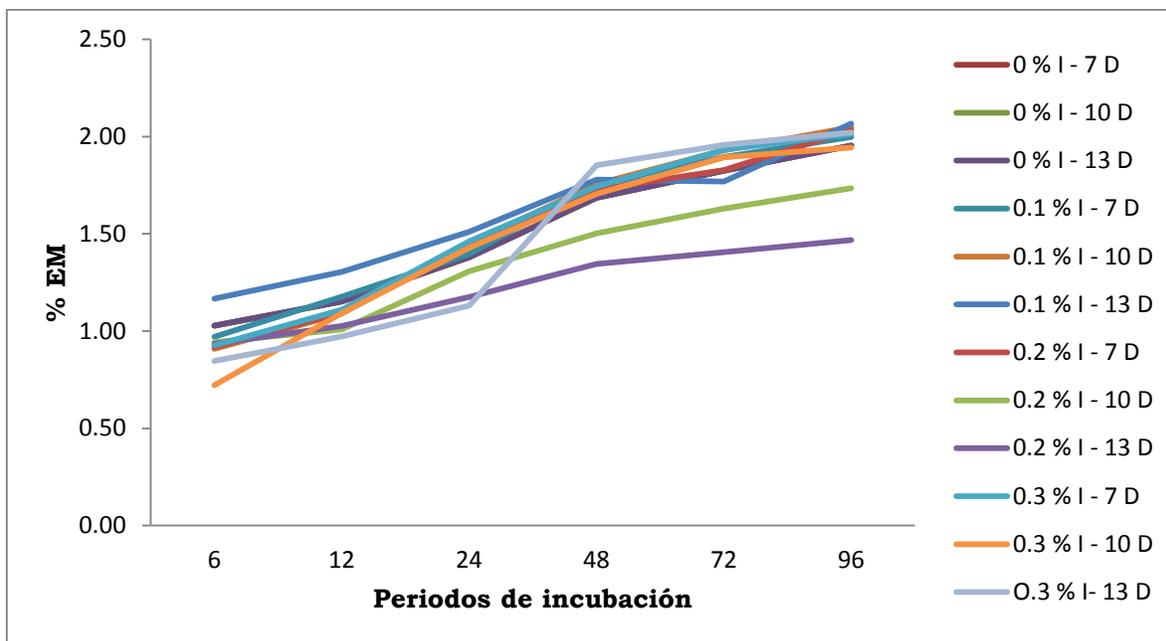


Figura 10. EM (%) de residuos de caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo *Fomes sp.* EUM1.

5.2 Parámetro fermentativo

En relación al pH se encontró interacción ($P < 0.01$), entre los factores estudiados. El que presenta mayor valor de pH fue el de 0.1% de inóculo con 10 días de crecimiento del hongo. Siendo el 0.3 % de inóculo con 13 días de crecimiento que presentó menor valor de pH (Figura 11, Anexo 7).

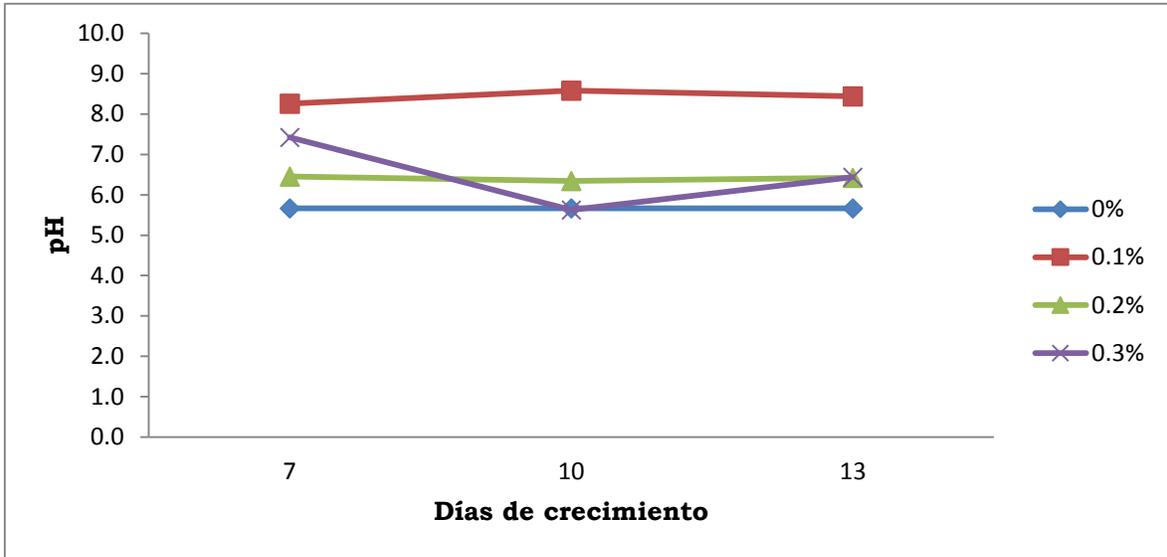


Figura 11. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp. EUM1* y días de crecimiento en valor del pH en residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar.

Con referente al contenido de PC se encontró interacción ($P < 0.001$) entre los factores estudiados. La concentración 0.2 % de inóculo con 10 días de crecimiento mayor valor (6.2 %). Obteniendo los menores valores las concentraciones del 0 y 0.1 % de inóculo con 13 días de crecimiento no encontrándose diferencia entre ellos (Figura 12, Anexo 8).

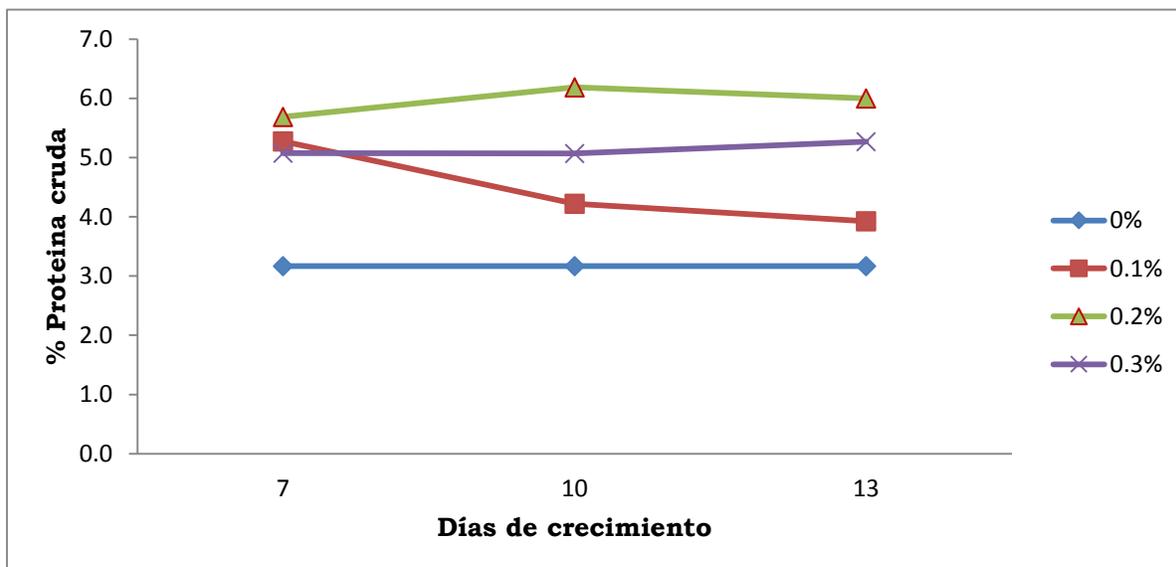


Figura 12. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de PC en residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar.

VI. DISCUSION

El incremento de la MS con respecto al tratamiento testigo, pudo deberse crecimiento micelio durante los días de fermentación en estado sólido y a su vez la síntesis de ácidos orgánicos. Peláez *et al.* (2011) reportó incremento de la MS y disminución de la hemicelulosa en ensilaje de caña de azúcar tratada con *Pleurotus sapidus*.

En relación al contenido de cenizas se observó un incremento en el sustrato que pudo deberse por el intercambio de minerales entre el sustrato y el Hongo que se forma en el proceso de la fermentación. Arias-Carbajal *et al.* (2005) menciona que el incremento de cenizas en residuos fermentados con *Pleurotus* se debe al intercambio de minerales

La FDA se vió afectada por el inóculo y no por los días de incubación esto pudo deberse que la hemicelulosa es el polímero más degradado en la fermentación ya que es consumida por el Hongo como fuente de energía y para el crecimiento a pesar de que (Pal *et al.*, 1995; Sánchez *et al.*, 2005) mencionen que este hongo es capaz de degradar lignina, también mencionan que el Hongo *Fomes sp.* EUM1 utilizan carbohidratos solubles (hemicelulosa) para su crecimiento, antes de empezar a degradar lignina y que la máxima producción enzimática de celulasas y xilanasas está entre los días 9 y 15, por lo que para estudios posteriores es necesario incrementar los días de crecimiento del hongo en los residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

Según Martínez *et al.* (1994) demostraron que *Pleurotus ostreatus* y *Fomes EUM1* tienen comportamiento similares en la producción de enzimas encargadas en la degradación de hemicelulosa y lignina.

En bagazo de caña tratada con la cepa *Trichoderma viridae* M5-2, Valiño *et al.* (2004), reportaron una disminución de la FDN, FDA y hemicelulosa en cinco, tres y dos unidades porcentuales, respectivamente, estos resultados difieren a los encontrados en nuestro estudio, ya que la FDN no disminuyó, la FDA se incrementó y la hemicelulosa disminuyó en 8.1 unidades porcentuales. Datos similares fueron reportados anteriormente por García *et al.*, (2002).

Salcedo *et al.* (2010) reportaron efecto en la degradación de la hemicelulosa en residuos de caña de azúcar tratadas con enzimas lignocelulósicos comerciales utilizando previamente un tratamiento de deslignificación.

Membrillo *et al.* (2010) encontró efecto en la degradación de la FDN utilizando enzimas de *Pleurotus ostreatus* IE-8 en bagazo de caña de azúcar con diferentes medidas de partículas del sustrato.

Con respecto a la DIMS se obtuvo un incremento en los diferentes horarios de incubación en el rumen. Lo anterior pudiera estar relacionado al efecto de las enzimas fibrolíticas y de lacasas producida por el hongo. En este sentido Giraldo *et al.*, (2007) publicaron el efecto de la degradación en un compuesto de heno utilizando el 15 y 30 % de enzimas fibrolíticas para la degradación *in vitro* de la MS

Ángeles C. *et al.* (1998) reportaron efecto en la degradación de la MS en rastrojo de maíz aplicando un tratamiento biológico (levadura comercial) *Saccharomyces cerevisiae*.

Sin embargo de acuerdo a la tasa de degradación el mejor tratamiento en la DIMS fue el 0.3 % de inóculo y 10 días de crecimiento del hongo en los residuos de cosecha mecanizada de azúcar (5.4 %).

Con respecto a la DIFDN y DIFDA se obtuvieron un incremento en los diferentes horarios de incubación en el rumen. Sin embargo de acuerdo a la tasa de degradación el mejor tratamiento en la DIFDN fue el 0.3 % de inóculo y 13 días de crecimiento del hongo en los residuos de cosecha mecanizada de azúcar con un 5.4 %. De esta manera el mejor tratamiento de acuerdo a la tasa de degradación en la DIFDA es el 0.1 % de inóculo con 7 días de crecimiento. Pinos *et al.* (2002) reportaron datos similares en la degradación de las paredes celulares del heno de alfalfa y pasto ballico tratadas con enzimas fibrolíticas en *in vitro*.

Miranda *et al.* (1996) reportaron efectos en la DIFDN utilizando tratamientos de *Saccharomyces cerevisiae* y *aspergillus oryzae* en heno de alfalfa.

De esta manera Márquez *et al.* (2008) reportó efecto en la DIFDN utilizando concentraciones de 2 ml de enzimas fibrolíticas a heno de paja y pasto ovillo encontrando una relación del pH con las horas de incubación.

Con respecto a la DIMO se incrementa por el efecto del hongo. Ángeles C. *et al.* (1998) reportó datos similares de acuerdo a la DIMO. Según Valiño *et*

al. (2004) el tratamiento con biológicos favorece la DIMO. En relación al pH se observó un incremento en la fermentación sólida cuando se le adiciono el hongo al 0.1 % de inóculo con 7,10 y 13 días de crecimiento esto pudo deberse a la acumulación de amonio que incrementó considerablemente el pH y a su vez afectar el crecimiento del hongo. García *et al.* (2002) reportó que factores como la humedad, el pH pudieran estar relacionados con la disminución de la actividad celulolíticas. Con respecto al contenido de PC se observó un incremento atribuido al crecimiento significativo de masa microbiana y las enzimas obtenidas de la fermentación datos similares reportaron Arias-Carbajal *et al.* (2005) en residuos lignocelulósicos tratados con hongos de la pudrición blanca puede mejorar el contenido de proteína pudiendo aumentar del 10-15 %, reportado por Akinfemi *et al.* (2008) también Pal M *et al.* (1995) reportaron un incremento de la proteína en paja de trigo fermentada *Trametes versicolor* y *Pleurotus ostreatus*.

VII. CONCLUSIONES

Con la adición de inóculo del hongo *Fomes sp.* EUM1 en residuos de caña de azúcar se obtuvo un incremento en el contenido de la MS, FDN, de igual forma se encontró una Disminución en la FDA debido a que el hongo utiliza la hemicelulosa como fuente de energía, la utilización del Hongo *Fomes sp.* EUM1 favoreció el incremento de la PC en todos los tratamientos aplicados en residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar. En el rumen se incrementó la degradación de los componentes fibrosos por efecto de la inoculación del Hongo *Fomes sp.* EUM1.

VIII. RECOMENDACIONES

Es recomendable alargar los días de incubación del Hongo *Fomes sp.* EUM1 en los residuos de la caña de azúcar para que el macromiceto tenga un buen crecimiento y se obtenga la máxima producción de enzimas y un mayor efecto en la degradación de la FDA. Debido a que el macromiceto en los primeros días utiliza los carbohidratos de fácil degradación para su crecimiento y por lo tanto deja un producto altamente fibroso.

IX. LITERATURA CITADA

- Akinfemi, A., Ogunnwole, O. A., Lapidó, M. K., Adu, O. A., Osineye, O.M., 2008. Enhancement of the nutritive value of maize leaf treated with white-rot fungi: *Pleurotus sajor caju* and *Pleurotus pulmonarius*, and the effects on chemical composition and *in vitro* digestibility. Production Agriculture and Technology.
- Alexander, A.G. 1988. Sugarcane as a source of biomass In Sugarcane as feed. FAO animal production and health paper. Rome. 46 – 60 pp.
- Márquez, A., Mendoza, G., Pinos, J. M., Zavaleta, H., González, S., Buntinx, S., Loera, O., Meneses, M. 2008. Effect of fibrolytic enzymes and incubation pH on *in vitro* degradation of NDF extracts of alfalfa and orchardgrass, ITAL.J.ANIM.SCI.VOL.8 pp. 221-230
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemistry Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 17thEd. Gaithersburg. United States of América.
- 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. & 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.
- Aranda, I.E., Losada C.H. 1980. Efecto de la edad de diferentes secciones de la caña de azúcar sobre la composición, digestibilidad y valor nutritivo. Informe Departamento de nutrición. CSAT.
- Aranda, I.E.M., Ruiz, P., Mendoza, G.D., Marcoff, C.F., Ramos, J.A. y Elías, A. 2004. Cambios en la digestión de tres variedades de caña de azúcar y sus fracciones de fibra. Rev. Cubana Cienc. Agric. 38:137-147
- Arias, C., Ortega, G.M., Bueno, G.G., Betancourt, R.D., Álvarez, I., González, A.L. 2005. Biotransformación de Residuos. CENIC. Ciencias Biológicas, vol. 36: pp. 1 – 15.
- Ashok, P.C., Rodriguez-Leon, J.A, poonam, N. 2001. Solid-state fermentation in biotechnology. Fundamentals and Applications. 1th Ed. Asistech Publishers, INC. New Delphi, pp: 14 – 18.
- Azin, M., Moravej, R., 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.

- Barrios- González, J., González, H., Mejía, A. 1993. Effect of size particle, parking density and agitation on penicillin production in solid state fermentation. *Biotechnology Advances* 11: 539-547.
- Betancourt, M., Caraballo A. 2005. Henificación y ensilaje: aspectos operativos y tecnológicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Zulia 7^a Edición. Venezuela.
- Campbell, W.A. (1938). The cultural characteristics of the species of *Fornes*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 65: 31 – 69 pp.
- Church, D.C., Pond, K.R. y Pond, W.G., 2004. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. 2^a Edición. México, D.F. Limusa.
- Church, D.C., 1993. *El rumiante: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Zaragoza, España. Ed. Acribia.
- 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.
- Donefer, E.1973. Effect of processing on the nutritive value of roughages. En: *Effect of processing on the nutritive value of feeds*. National Academy of Science, Washington, D.C.
- Elías, A. 1983. Digestión de pastos y forrajes tropicales En: *Los pastos en cuba*, tomo 2, Utilización, Capítulo IV. Ed. EDICA. La Habana, Cuba.

- Elías, A. y Herrera, F.R. 2008. Producción de alimento para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos con el empleo de Microorganismos Beneficiosos Activados (MEBA). Vitafert. Instituto de Ciencia Animal Habana Cuba. 82 p. en imprenta.
- FAO. 2011 www.faostat.fao.org Consultado: el 12 de Noviembre del 2012.
- Flores. M.J., 1986. Manual de alimentación animal, vol 3, Ciencia y Técnica. 528-538 pp.
- Freitas, A.W., Pereira, J.C., Rocha, C.F., Detmann, E., Ribeiro, M.D., Costa, M.G. y De Paula, F.L. 2006. Characteristics of sugarcane silage treated with bacterial inoculant, sodium hydroxide or soybean crop residue. Rev. Bras. Zootec. 35(1): 48-59 pp.
- Galindo, B. 1988. Efecto de la zeolita en la población de bacterias celulolíticas y su actividad en vacas que consumen ensilajes. Tesis de doctorado en ciencias veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.
- García, Y., Ibarra, A., Valiño, E.C., Dustet, J.C., Oramas, A., Albelo, N. 2002. Estudio de un sistema de fermentación sólida con agitación en la Biotransformacion del bagazo de caña de azúcar por la cepa *Trichoderma viride* M5-2 Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 36(3):pp. 265-270.
- González, R.F. 1995. Contribución al estudio de los factores que limitan el consumo de forraje de caña de azúcar integral por los bovinos. Tesis de doctorado. Instituto de Ciencia Animal. La Habana.

- Gutiérrez, M. 1995. Escalamiento de procesos con fermentación sólida
Curso avanzado sobre procesos biotecnológicos del Instituto de
Biotecnología de la UNAM, México.
- Heinzkill, M., Beach, L., Halkier, T., Schneider, P. y Anke, T. 1998.
Characterization of laccases and peroxidases from Wood-rotting
fungi (family coprinaceae) Applied and Environmental Microbiology.
Vol. 64(5): pp. 1601-1666.
- Hernández, J. 2002. Boletín informativo sobre el uso de subproductos
avícolas. Costa Rica. Disponible en: hernandezj@rootnet.go.cr.
Consultado: el 12 de febrero del 2012.
- Herrera, T., Ulloa, M., 2004. El reino de los hongos, Micología Básica y
aplicada. Ed. Fondo de cultura económica. México D.F.
- Hoover, W. H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion.
J. Dairy Sci. 69: pp. 2755 - 2766
- Howard, R.L., Abotsi E., Rensburg, E.L., y Howard S., 2003. Lignocellulose
biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production.
African Journal Biotechnology. Vol. 2 (12), pp. 602-619
<http://www.siap.gob.mx> Consultado: 12 de Noviembre del 2012.
- INEGI. 2010 <http://www.inegi.gob.mx> Consultado: de 12 Noviembre del
2012.
- Membrillo, I., Sánchez, C., Meneses, M., Favela, E., Loera, O. 2010.
Particle geometry affects differentially substrate composition and
enzyme profiles by *Pleurotus ostreatus* growing on sugar cane

- bagasse, *Journal of Microbiology and Biotechnology* Vol. 102. pp. 1581–1586.
- Jing, D., Li P., Stagnitti, F., Xiong, X., 2007. Optimization of laccase production from *Trametes versicolor* by solid fermentation. *Canadian Journal of Microbiology* vol. 53 (2): pp. 245-251.
- Krishna, C., 2005. Solid state fermentation systems: an overview *Critical Reviews in Biotechnology* vol. 25 (1/2): pp.1–30.
- Giraldo, L.A., Carro, M.D., Ranilla M.J., y Tejido, M.L. 2007. Influence of fibrolytic enzymes on *in vitro* methane production and rumen fermentation of a substrate containing 60% of grass hay. Vol. 19(12): pp. 263- 267.
- Leng, R. A. 1989. Restricciones metabólicas para la utilización de la caña de azúcar y sus subproductos para el crecimiento y producción de leche en rumiantes mayores. Colección Geplacea, Serie Diversificación PNND. Grupo de países Latinoamericanos y del Caribe exportador de azúcar. Pp. 23-57.
- Maherbe, S., y Cloete, T.E., 2002. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications. *Rev. Environ Sci Biotechnol.* Vol. 1 pp. 105 – 114.
- Manchado, E.C., Perciraq, A.R., Fahl, J.I., Arruda, H.V., Cione, J. 1987. Índices Biométricos de duas. Variedades de caña de azúcar, *pesquisa agropecuaria Brasil.* Vol. 41(2): pp.11 – 25.

- Martín, P. C. 1997. Forraje de caña en la alimentación del ganado vacuno. Rev. Cubana Cienc. Agríc. Vol. 27 (3): pp. 273 -278.
- Martín, P.C. 2004. La alimentación del ganado con caña de azúcar y sus Subproductos. Ed. EDICA. La Habana, Cuba. Vol. 13(3): pp. 3 – 10.
- 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.
- Martínez, T.A., Camarero, S., Guillen, F., Gutiérrez, A., Muñoz, C., Varela, E., 1994. Progres in biopulping of non-woody materials: chemical, enzymatic and ultra structural aspects of wheat straw deslignification with ligninolytic fungi from the genus *Pleurotus*. FEMS Microbiology Reviews 13: pp. 265-75.
- Mazutti, M., Ceni, G., Di Luccio, M., Treichel, H., 2007. Production of inulinase se by solid-state fermentation: effect of process parameters on production and preliminary characterization of enzyme preparations. Bioprocess of Biosystems Engineering. Vol. 30: pp. 297–304.
- McCarthy, J., 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

- Medina, E., 2000. Aislamiento y selección de hongos hemofílicos productores de lacasas a partir de desechos de madera. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Mérida, Yucatán. México.
- Mena, A. 1988. Utilización del jugo de la caña de azúcar para la alimentación animal: sinopsis. En: La caña de azúcar como pienso. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO). 153 – 163 pp.
- Mertens, D.R, Ely, L.O. A 1979. Dynamic model of fiber digestion and passage in the rumen for evaluating forage quality. J Anim Sci; 49: pp. 1085-1095.
- Miléo, P.C., Mulinari, D.R., Baptista, C.A., Rocha, G.J. y Goncalves, A.R. 2011. Mechanical Behaviour of Polyurethane from Castor oil Reinforced Sugarcane Straw cellulose composites. Procedia Engineering. Vol. 10, pp. 2068-2073.
- Moldes D., Gallego P.P., Rodríguez-Couto S., Sanromán A., 2003. Grape seeds: the best lignocellulosic waste to produce laccase by solid state cultures of *Trametes hirsute*. Biotechnology Letters. Vol. 25: pp. 491-495.
- Molina, A. 1990. Potencial forrajero de la caña de azúcar para la ceba de ganado bovino. Producción de carne en el trópico. EDICA Cuba. Vol. 37 (4): pp. 225-245.

- Nigam, P., y Robinson, T., Arora, K.D., Bridge D.P., Bhatnagar D. 2004. Solid state fermentation: an overview. En: Handbook of Fungal Biotechnology. Mycology V. 20, Second Edition. Editores. Editorial Marcel Dekker, Inc., New York pp: 267-274.
- Ordaz, A., Favela, E., Meneses, M., Mendoza, G., Loera, O. 2011. Hyphal morphology modification in the thermal adaptation by the white rot fungus *Fomes sp.* EUM1. Journal of basic Microbiology. Vol. 52 (2): pp. 167-174.
- 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
- Owen, E., Klopfenstein, T.J., N., 1984. Treatment with other chemicals. In: sundstol, F., Owen, E. (Eds.), Straw and Other Fibrous By- Products as Feed Elsevier, Amsterdam. Vol. 6(3): pp. 129 - 138
- Pal, M., Calvo, A.M., Terrón, M.C. y González, A.E. 1995. Solid state fermentation of sugarcane bagasse with *Flam mulina velutipes* and *Trametes versicolor*. World Valmaseda, M.; Martinez, M.J. y Martinez, Journal of Microbiology and Biotechnology. Vol. 11, pp. 541-545
- Peláez, A. A., Meneses, M., Miranda, R. L., Megias, R. M., Barcena, G. R., Loera, O. 2008. Ventajas de la fermentación sólida con *Pleurotus sapidus* en ensilaje de caña de azúcar. Archivos de Zootecnia. Vol. 57 (217): pp. 25-33.

- Peláez, A., Meneses, M., Miranda, L.A., Ayala, M., Crosby, M., Loera, O., Mejías, M.D. 2011. Enzimas fibrolíticas producidas por fermentación en estado sólido para mejorar los ensilajes de caña de azúcar Agrociencia, vol. 45(6): pp. 675-685.
- Pérez, J., Muñoz, J., Rubia, T. y Martínez, J., 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: overview International Microbiology, pp 53 - 63
- 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, enero, vol. 27(1): pp. 28-32
- Miranda, R.L.A., Mendoza, M.G.D., Bárcena, J .R., González, M.S.S., Ferrara, R., Ortega, C.M.E., Cobos, P.M.A. 1996. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* or *Aspergillus oryzae* cultures and NDF level on parameters of ruminal fermentation, Animal Feed Science Technology 63, pp. 289-296
- Ramírez, R., Ramírez, R.G. y López, F. 2002. Factores estructurales de la pared celular que afectan su digestibilidad. Ciencia.
- 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.

- Rodríguez, Z. 2006. Fermentación en estado sólido de la caña de azúcar con una fuente amilácea (*Ipomea batata*) Tesis en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba.
- Rodríguez-Couto, S., Moldes D., Liébanas, A., Sanromán, A., 2003. Investigation of several bioreactor configurations for laccase production by *Trametes versicolor* operating in solid state conditions. *Biochemical Engineering Journal* vol. 15: pp. 21-26.
- Rosales, E., Rodríguez, C.S., y Sanromán, A., 2002. New uses of food waste: application to laccase production by *Trametes hirsutia*. *Biotechnology Letters*, vol. 24: pp. 7001-7004.
- Rodríguez, R.M. 2005. Los Bloques Multinutricionales (BMN), justificación, función, elaboración y respuesta animal. Memoria del VI Seminario de Producción de Ovinos en el Trópico. Universidad Autónoma Chapingo. Centro regional universitario del sureste. Km. 7, carretera Teapa – Rio. Vicente Guerrero, Teapa, Tab. pp. 99-103.
- Angeles, C., Mendoza, M., Cobos, P., Crosby, G., Castrejón, P. 1998. Comparison of two commercial yeast cultures (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal fermentation and digestion in sheep fed on corn-Stover diet, *Small Ruminant Research* pp. 31.
- Salcedo, M., López, J., Flores, P. 2010. Evaluación de enzimas para la hidrólisis de residuos (hojas y cogollos) de la cosecha caña de azúcar *Vol. 169: pp. 182-190*

- Salgado, G.S., Aranda, I.E., Castelán, E.M., Ortiz, L.H., Palma, L.D., Gómez, M.A. y Córdova, S.S. 2011. Rendimiento de paja en la cosecha mecanizada de caña de azúcar en Tabasco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10 pp. (En prensa).
- Sánchez, S.P., 2010. Extractos fibrolíticos fúngicos como modificadores en la fermentación ruminal tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México.
- Sánchez, A., Ysunza, F., Beltrán, M., y Esqueda, M. 2005. Cultivo del Hongo Comestible *Pleurotus* sobre Residuos Vitivinícolas y su Manejo Pos cosecha. Trabajo de tesis de Maestría del Primer autor, realizado en el Área de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal.
- SAS institute Inc. 2011 SAS/STAT® 9.3. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schlosser, D., Grey, R., Fritsche, W., 1997. Patterns of ligninolytic enzymes in *Trametes versicolor*. Distribution of extra- and intracellular enzyme activities during cultivation 57 on glucose, wheat straw and beech wood. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 13(6): pp. 1 - 13
- Shimada, M.R., 1987. Pre tratamientos alcalinos de residuos fibrosos y su valor nutritivo para rumiantes, Memorias II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de especialistas en nutrición animal, Cocoyoc, Morelos, México. Vol. 64: pp. 61-63.

- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2011.
- Sosa, R.E., Sansóres, L.L., Zapata, B.G., Ortega, R.L. 2000. Composición botánica y valor nutricional de la dieta de bovinos en un área de vegetación secundaria en Quintana Roo. *Téc. Pecu. Méx*; Vol. 38(2): pp. 105-117
- Sun, X., Zhang, R., Zhang, Y., 2004. Production of lignocellulolytic enzymes by *Trametes gallica* and detection of polysaccharide hydrolase and laccase activities in polyacrylamide gels. *Journal of Basic Microbiology*. Vol. 44(3): pp. 220-31.
- TECNICAÑA (Sociedad Colombiana de Técnicos de la caña de azúcar). 19986. El cultivo de la caña de azúcar. Cali Colombia.
- Tukey, J. 1953. *The Problem of Multiple Comparisons*. Unpublished manuscript. Princeton University.
- Urdaneta, J. 2005. La caña de azúcar una opción para el ganadero. En: Manual de ganadería de doble propósito. Fundación GIRARZ. Ed. Astro Data. Maracaibo, Venezuela pp. 231-235.
- Valenciaga, D. y Chongo, B. 2004. La pared celular: Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* Vol. 38 (4): pp. 343 – 350.

- 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 *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Vol. 38(2): pp. 145-153.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.P. & Lewis, B.A. 1991. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* Vol. 74: pp. 3583 – 3597.
- Villegas, C.M., 2010. Estudio del cultivo sólido de paja de sorgo en la producción de enzimas fibrolíticas y digestibilidad ruminal *in vitro* con *Fomes fomentarius* EUM1 y *Pleurotus sapidus* tesis de maestría en ciencias, Montecillo, Texcoco, Edo. De México.
- Viniegra-González, G., Favela-Torres, E., Noé, A.C., Romero-Gomez, S.J., Díaz-Godínez, G., Augur, C., 2003. Advantages of fungal enzyme production in solid state: over liquid fermentation systems *Biochemical Engineering Journal*. Vol. 13: pp. 157–167.
- Wei, C., Zhao, Z., Shi-Fei, C., y Yong-Quan, L. 2008. Optimization for the production of exopolysaccharide from *Fomes fomentarius* in submerged culture and its antitumor effect *in vitro*. *Bioresour Technol.* Vol. 3(6): pp. 451 - 456.

X. ANEXO

Anexo 1. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en su contenido de la MS de residuos de cosecha mecanizada de la caña de azúcar

% Inoculo	Conservación (Días)	MS %
0	7	22.2 ^c
0	10	22.2 ^c
0	13	22.2 ^c
0.1	7	31.2 ^{ab}
0.1	10	30.6 ^{ab}
0.1	13	29.4 ^b
0.2	7	33.8 ^a
0.2	10	28.8 ^b
0.2	13	23.8 ^c
0.3	7	29.1 ^b
0.3	10	30.9 ^{ab}
0.3	13	27.7 ^b

EE ± 0.36*

^{abc} Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953). * P<0.05

Anexo 2. Degradación *in situ* de la materia seca (%) en residuos de caña mecanizada tratada con Hongo *Fomes sp.* EUM1

Inoculo/Días de crecimiento	Periodos de incubación						*Kd
	6	12	24	48	72	96	
0 % I - 7 D	23.15 ^b	26.74 ^b	32.88 ^{bc}	41.00 ^c	44.72 ^b	48.37 ^b	0.040 ^{cd}
0 % I - 10 D	23.15 ^b	26.74 ^b	32.88 ^{bc}	41.00 ^c	44.72 ^b	48.37 ^b	0.040 ^{cd}
0 % I - 13 D	23.15 ^b	26.74 ^b	32.88 ^{bc}	41.00 ^c	44.72 ^b	48.37 ^b	0.040 ^{cd}
0.1 % I - 7 D	21.46 ^{bc}	27.43 ^b	33.79 ^{abc}	43.51 ^b	46.66 ^{ab}	49.51 ^b	0.040 ^{cd}
0.1 % I - 10 D	19.65 ^{cd}	24.82 ^{bc}	34.99 ^{ab}	43.27 ^{bc}	48.11 ^{ab}	51.65 ^a	0.043 ^{bc}
0.1 % I - 13 D	27.52 ^a	31.66 ^a	37.17 ^a	44.41 ^b	43.65 ^{bc}	52.33 ^a	0.035 ^e
0.2 % I - 7 D	20.40 ^{cd}	25.69 ^{bc}	34.72 ^{abc}	42.69 ^{bc}	45.15 ^{ab}	51.60 ^a	0.040 ^{cd}
0.2 % I - 10 D	20.56 ^{bcd}	22.78 ^{cd}	31.10 ^c	36.32 ^d	39.23 ^c	42.62 ^c	0.040 ^{cd}
0.2 % I - 13 D	19.68 ^{cd}	22.91 ^{cd}	26.34 ^d	31.02 ^e	32.29 ^d	34.25 ^d	0.039 ^{de}
0.3 % I - 7 D	19.83 ^{cd}	25.94 ^b	35.43 ^{ab}	42.98 ^{bc}	47.86 ^{ab}	49.94 ^{ab}	0.045 ^b
0.3 % I - 10 D	14.62 ^e	25.07 ^{bc}	34.49 ^{abc}	42.08 ^{bc}	47.36 ^{ab}	48.39 ^b	0.054 ^a
0.3 % I - 13 D	17.93 ^d	21.21 ^d	25.58 ^d	46.78 ^a	49.59 ^a	51.80 ^a	0.047 ^b
EE	±0.16 ^{***}	±0.17 ^{***}	±0.21 ^{***}	±0.13 ^{***}	±0.27 ^{***}	±0.18 ^{***}	±0.05 [*]

^{abcde} Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953) *P<0.05, *** P<0.001, *Kd= Tasa de degradación (h⁻¹)

**Anexo 3. Degradación *in situ* de la fibra detergente neutro (%) en
residuos de caña mecanizada tratadas con Hongo *Fomes sp.*
EUM1**

Inoculo/Días de crecimiento	Periodos de incubación						*Kd
	6	12	24	48	72	96	
0 % I - 7 D	21.32 ^a	23.85 ^{ab}	29.94 ^{ab}	38.59 ^b	43.90 ^a	48.69 ^a	0.041 ^{cd}
0 % I - 10 D	21.32 ^a	23.85 ^{ab}	29.94 ^{ab}	38.59 ^b	43.90 ^a	48.69 ^a	0.041 ^{cd}
0 % I - 13 D	21.32 ^a	23.85 ^{ab}	29.94 ^{ab}	38.59 ^b	43.90 ^a	48.69 ^a	0.041 ^{cd}
0.1 % I - 7 D	13.25 ^c	23.54 ^{abc}	28.50 ^{bc}	39.76 ^{ab}	45.35 ^a	49.85 ^a	0.043 ^{bc}
0.1 % I - 10 D	18.66 ^{ab}	21.96 ^{bcd}	32.29 ^{ab}	42.28 ^{ab}	48.11 ^a	52.52 ^a	0.043 ^{bc}
0.1 % I - 13 D	21.79 ^a	28.12 ^a	33.67 ^a	41.45 ^{ab}	41.81 ^a	50.37 ^a	0.037 ^d
0.2 % I - 7 D	12.27 ^c	17.82 ^d	29.71 ^{abc}	38.86 ^b	42.51 ^a	49.39 ^a	0.042 ^{bcd}
0.2 % I - 10 D	13.86 ^{bc}	9.16 ^e	25.01 ^{cd}	31.38 ^d	34.52 ^b	39.10 ^b	0.043 ^{bcd}
0.2 % I - 13 D	13.03 ^c	17.94 ^{cd}	21.01 ^{de}	25.99 ^d	29.31 ^b	30.74 ^c	0.047 ^{ab}
0.3 % I - 7 D	13.16 ^c	18.99 ^{bcd}	29.33 ^{abc}	39.43 ^{ab}	45.73 ^a	49.47 ^a	0.045 ^{bc}
0.3 % I - 10 D	9.01 ^c	21.67 ^{bcd}	30.28 ^{ab}	40.01 ^{ab}	45.21 ^a	48.83 ^a	0.045 ^{bc}
0.3 % I - 13 D	10.81 ^c	17.36 ^d	18.79 ^e	42.90 ^a	47.03 ^a	48.78 ^a	0.052 ^a
EE	±0.30 ^{***}	±0.32 ^{***}	±0.28 ^{***}	±0.23 ^{***}	±0.38 ^{***}	±0.33 ^{***}	±0.07 [*]

^{abcde} Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953) *P<0.05, *** P<0.001, *Kd= Tasa de degradación (h⁻¹)

**Anexo 4. Degradación *in situ* de la fibra detergente acida (%) en
residuos de caña mecanizada tratadas con Hongo *Fomes sp.*
EUM1**

Inoculo/Días de crecimiento	Periodos de incubación						*Kd
	6	12	24	48	72	96	
0 % I - 7 D	7.70 ^c	11.77 ^{cd}	15.19 ^e	26.35 ^{cd}	30.85 ^{bcd}	34.26 ^{cde}	0.045 ^{bc}
0 % I - 10 D	7.70 ^c	11.77 ^{cd}	15.19 ^e	26.35 ^{cd}	30.85 ^{bcd}	34.26 ^{cde}	0.045 ^{bc}
0 % I - 13 D	7.70 ^c	11.77 ^{cd}	15.19 ^e	26.35 ^{cd}	30.85 ^{bcd}	34.26 ^{cde}	0.045 ^{bc}
0.1 % I - 7 D	3.67 ^e	13.30 ^{bc}	20.44 ^{cd}	26.55 ^{cd}	35.70 ^{ab}	35.95 ^{bcde}	0.058 ^a
0.1 % I - 10 D	11.72 ^b	16.74 ^{ab}	27.35 ^a	34.16 ^{ab}	43.43 ^a	46.60 ^a	0.047 ^{bc}
0.1 % I - 13 D	20.65 ^a	18.92 ^a	25.24 ^{ab}	33.83 ^{ab}	31.41 ^{bcd}	42.24 ^{abc}	0.037 ^d
0.2 % I - 7 D	4.63 ^{de}	4.34 ^e	17.48 ^{de}	25.13 ^{cd}	34.40 ^{abc}	43.83 ^{ab}	0.043 ^{bcd}
0.2 % I - 10 D	4.48 ^{de}	7.14 ^{de}	18.26 ^{cde}	20.53 ^d	27.29 ^{cd}	31.89 ^{de}	0.043 ^{bcd}
0.2 % I - 13 D	8.58 ^c	14.84 ^{abc}	17.01 ^{de}	20.46 ^d	23.18 ^d	27.59 ^e	0.039 ^{cd}
0.3 % I - 7 D	5.58 ^d	12.71 ^{bc}	21.70 ^{bc}	33.72 ^{ab}	41.00 ^{ab}	39.71 ^{abcd}	0.047 ^b
0.3 % I - 10 D	1.99 ^f	15.19 ^{abc}	21.89 ^{bc}	31.36 ^{bc}	36.07 ^{abc}	44.23 ^{ab}	0.043 ^{bc}
0.3 % I - 13 D	5.22 ^d	11.81 ^{cd}	8.06 ^f	38.39 ^a	40.67 ^{ab}	41.71 ^{abc}	0.047 ^b
EE	±0.09 ^{***}	±.27 ^{***}	±0.21 ^{***}	±0.37 ^{***}	±0.63 ^{***}	±0.52 ^{***}	±0.09 ^{**}

^{abcdef} Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953) **P<0.01, *** P<0.001, *Kd= Tasa de degradación (h⁻¹)

Anexo 5. Degradación *in situ* de la materia orgánica (%) en residuos de la caña de azúcar mecanizada tratada con Hongo *Fomes sp.* EUM1

Inoculo/Días de crecimiento	Periodos de incubación						*Kd
	6	12	24	48	72	96	
0 % I - 7 D	28.40 ^b	31.88 ^b	38.16 ^{bc}	46.60 ^c	50.46 ^{ab}	54.01 ^b	0.040 ^{cd}
0 % I - 10 D	28.40 ^b	31.88 ^b	38.16 ^{bc}	46.60 ^c	50.46 ^{ab}	54.01 ^b	0.040 ^{cd}
0 % I - 13 D	28.40 ^b	31.88 ^b	38.16 ^{bc}	46.60 ^c	50.46 ^{ab}	54.01 ^b	0.040 ^{cd}
0.1 % I - 7 D	26.84 ^{bc}	32.54 ^b	38.61 ^{abc}	48.49 ^{bc}	52.39 ^{ab}	55.27 ^{ab}	0.042 ^{bc}
0.1 % I - 10 D	25.13 ^{cd}	30.13 ^{bc}	40.08 ^{ab}	48.53 ^{bc}	53.36 ^{ab}	56.65 ^a	0.043 ^b
0.1 % I - 13 D	32.29 ^a	36.08 ^a	41.79 ^a	49.18 ^{ab}	48.90 ^{bc}	57.16 ^a	0.035 ^e
0.2 % I - 7 D	25.38 ^{cd}	30.34 ^{bc}	39.63 ^{abc}	47.77 ^{bc}	50.54 ^{ab}	56.19 ^{ab}	0.039 ^d
0.2 % I - 10 D	26.05 ^{bc}	27.88 ^{cd}	36.17 ^c	41.52 ^d	45.05 ^c	47.98 ^c	0.040 ^d
0.2 % I - 13 D	25.84 ^{bcd}	28.36 ^{cd}	32.50 ^d	37.21 ^e	38.85 ^d	40.61 ^d	0.038 ^d
0.3 % I - 7 D	25.60 ^{cd}	30.67 ^{bc}	40.40 ^{ab}	48.19 ^{bc}	53.45 ^a	55.72 ^{ab}	0.043 ^b
0.3 % I - 10 D	19.95 ^e	30.19 ^{bc}	39.49 ^{abc}	47.16 ^{bc}	52.35 ^{ab}	53.76 ^b	0.046 ^a
0.3 % I - 13 D	23.41 ^d	26.90 ^d	31.25 ^d	51.22 ^a	54.10 ^a	55.89 ^{ab}	0.047 ^a
EE	±0.15 ^{***}	±0.17 ^{***}	±0.20 ^{***}	±0.12 ^{***}	±0.26 ^{***}	±0.14 ^{***}	±0.03 ^{***}

abcde Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953). *** P<0.001, *Kd= Tasa de degradación (h⁻¹)

Anexo 6. Energía metabolizable (%) en residuos de caña mecanizada tratadas con Hongo *Fomes sp.* EUM1

Inoculo/Días de crecimiento	Periodos de incubación					
	6	12	24	48	72	96
0 % I - 7 D	1.03 ^b	1.15 ^b	1.38 ^{bc}	1.69 ^c	1.82 ^{ab}	1.95 ^b
0 % I - 10 D	1.03 ^b	1.15 ^b	1.38 ^{bc}	1.69 ^c	1.82 ^{ab}	1.95 ^b
0 % I - 13 D	1.03 ^b	1.15 ^b	1.38 ^{bc}	1.69 ^c	1.82 ^{ab}	1.95 ^b
0.1 % I - 7 D	0.97 ^b	1.18 ^b	1.40 ^{abc}	1.75 ^{bc}	1.89 ^{ab}	2.00 ^{ab}
0.1 % I - 10 D	0.91 ^{cd}	1.09 ^{bc}	1.45 ^{ab}	1.75 ^{bc}	1.93 ^{ab}	2.05 ^a
0.1 % I - 13 D	1.17 ^a	1.30 ^a	1.51 ^a	1.78 ^{ab}	1.77 ^{bc}	2.07 ^a
0.2 % I - 7 D	0.92 ^{cd}	1.10 ^{bc}	1.43 ^{ab}	1.73 ^{bc}	1.83 ^{ab}	2.03 ^{ab}
0.2 % I - 10 D	0.94 ^{bc}	1.01 ^{cd}	1.31 ^c	1.50 ^d	1.63 ^c	1.73 ^c
0.2 % I - 13 D	0.93 ^{cd}	1.03 ^{cd}	1.18 ^d	1.35 ^e	1.40 ^d	1.47 ^d
0.3 % I - 7 D	0.93 ^{cd}	1.11 ^{bc}	1.46 ^{ab}	1.74 ^{bc}	1.93 ^{ab}	2.01 ^{ab}
0.3 % I - 10 D	0.72 ^e	1.09 ^{bc}	1.43 ^{abc}	1.71 ^{bc}	1.89 ^{ab}	1.94 ^b
0.3 % I - 13 D	0.85 ^d	0.97 ^d	1.13 ^d	1.85 ^a	1.96 ^a	2.02 ^{ab}
EE	±0.01 ^{***}	±0.01 ^{***}	±0.01 ^{***}	±0.01 ^{***}	±0.01 ^{***}	±0.01 ^{***}

^{abcde} Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953). *** P<0.001

Anexo 7. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el valor del pH en residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar

% Inoculo	Crecimiento (Días)	pH %
0	7	5.7 ^d
0	10	5.7 ^d
0	13	5.7 ^d
0.1	7	8.3 ^a
0.1	10	8.6 ^a
0.1	13	8.4 ^a
0.2	7	6.5 ^c
0.2	10	6.3 ^c
0.2	13	6.4 ^c
0.3	7	7.4 ^b
0.3	10	5.6 ^d
0.3	13	6.4 ^c
EE ±0.06**		

^{abcd} Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953). ** P<0.01

Anexo 8. Efecto de la concentración del Hongo *Fomes sp.* EUM1 y días de crecimiento en el contenido de PC de residuos de cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

% Inoculo	Crecimiento (Días)	PC %
0	7	3.2 ^f
0	10	3.2 ^f
0	13	3.2 ^f
0.1	7	5.3 ^{cd}
0.1	10	4.2 ^e
0.1	13	3.9 ^e
0.2	7	5.7 ^{bc}
0.2	10	6.2 ^a
0.2	13	6.0 ^{ab}
0.3	7	5.1 ^d
0.3	10	5.1 ^d
0.3	13	5.3 ^{cd}
		EE ± 0.04^{***}

abcdef Medias con diferentes superíndice en la misma columna difieren a P<0.05 (Tukey 1953). *** P<0.001