

VENTAJAS DE LA FERMENTACIÓN SÓLIDA CON *PLEUROTUS Sapidus* EN ENSILAJES DE CAÑA DE AZÚCAR

ADVANTAGES OF SOLID FERMENTATION STATE WITH *PLEUROTUS Sapidus* IN SUGAR CANE SILAGE

Peláez Acero, A.¹, M. Meneses Mayo¹, L.A. Miranda Romero², M.D. Megías Rivas⁴, R. Barcena Gama¹ y O. Loera³

¹Programa de Ganadería, Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México- Texcoco. Montecillo, Texcoco. Estado de México. México. 56230. mmayo@colpos.mx

²Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Texcoco. Estado de México. México. 56235.

³Departamento de Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana Iztaapalapa. México, D.F. 09340. México.

⁴Facultad de Veterinaria. Campus de Espinardo. Universidad de Murcia. 30100 Murcia. España.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Líquido ruminal. Digestibilidad *in vitro*. Hongos ligninolíticos. Fibra.

ADDITIONAL KEYWORDS

Ruminal liquid. Digestibility *in vitro*. White-rot fungi. Fiber.

RESUMEN

En este estudio se determinó el efecto de un fermentado sólido de caña de azúcar integral con el hongo *Pleurotus sapidus* en la calidad nutritiva, fermentación y digestibilidad ruminal tras 24 días de ensilaje. Se empleó caña de azúcar integral (CAI), prefermentada aeróbicamente por 48 h (CIF), e inoculada posteriormente con una cepa de *Pleurotus sapidus* y se fermentó durante 15 d (FSP15). Posteriormente se procedió a ensilar las siguientes mezclas: CAI, CAI+10%FSP15 y CAI+20%FSP15. Se analizó el contenido de nutrientes, las variables de fermentación y digestibilidad para CAI, CIF, FSP15, en los ensilados a los tiempos 0 y 24 días. El contenido de proteína de la caña de azúcar integral (CAI) aumentó 1,9% cuando se fermentó por 15 días con *Pleurotus sapidus* (FSP15). El porcentaje de DIVMS al día 0 de los ensilados CAI+FSP15 al 10 y 20% iniciaron con valores de 64,84 y 65,31% MS respectivamente, sin embargo tras 24 días de ensilaje se incrementó significativamente ($p < 0,05$) a 68,70% MS para CAI+10%FSP15 y 70,13% MS para CAI+20%FSP15. La producción total de gas durante la fermentación ruminal *in vitro* de la CAI sin fermentar fue mayor ($p < 0,05$) (260,6 ml/500 mg

MS) debido a su alto contenido de azúcares solubles, en comparación con los ensilados en los que se incluyó 10 y 20% de FSP15 (233,7 y 233,3 ml/500 mg MS). El estudio demostró que la adición de FSP15 a la CAI después de 24 días de ensilaje redujo tanto la proporción de lactato como de amonio, no obstante ninguno de los dos tratamientos afectó el pH final de los ensilados. El trabajo tiene como contribución la utilización de caña de azúcar integral como sustrato potencial para el crecimiento de hongos ligninolíticos en combinación con su ensilaje para ser empleado en la nutrición de rumiantes en zonas tropicales donde se produce la caña de azúcar.

SUMMARY

In this study the effect of *Pleurotus sapidus* used in sugar cane in solid state fermentation and then after 24 d of silage, was evaluated in nutrition quality, fermentation and ruminal digestibility. Whole sugar cane (CAI) was initially aerobically fermented for 48 h (CIF), and then used as a substrate inoculated with *Pleurotus sapidus* and additionally fermented for 15 d (FSP15). Different mixtures

Recibido: 27-10-06. Aceptado: 8-2-07.

Arch. Zootec. 57 (217): 25-33. 2008.

were prepared with CAI and two amounts (10 and 20%) of FSP15, so three treatments were considered: CAI+10%FSP15 y CAI+20%FSP15. Diverse variables were evaluated, including bromatologic analysis, fermentation patterns and digestibility, for CAI, CIF, FSP15 and silage mixtures at times 0 and 24 d. Protein content in CAI increased 1.9% after 15 d of fermentation with *Pleurotus sapidus* (FSP15). When 2 different portions of this matter were mixed (10 and 20% as part of the mixture), percentage of DIVMS increased from 64.8 up to 70.1% DM after 24 d of silage, although no significant difference was observed between these two amounts in such mixtures. During ruminal fermentation of raw CAI gas production was higher ($p < 0.05$) (260.6 ml/500 mg DM) due to a high content of soluble sugars, in comparison to those values found for the sugar cane silages added with 10 or 20% of FSP15 (233.7 and 233.3 ml/500 mg DM), respectively. This study showed that addition of FSP15 to CAI, after 24 d of ensiling, reduced the lactate and ammonium proportion with no effect on final pH in those silages. Maximal gas production during ruminal fermentation and digestibility increased in all treatments added with FSP15. This work contributes with the use whole sugar cane as a substrate for the growth of lignocellulosic fungi, which in turns can be mixed and ensilaged for ruminant feed in tropical zone with high sugar cane production.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera en México atraviesa una crisis de comercialización debido a la disminución del precio del azúcar en el mercado internacional, causado principalmente por la importación desmedida de jarabe de alta fructosa, producto más barato que el azúcar (Jasso, 2002). Lo anterior, agrava el futuro de los ingenios azucareros y productores, dado que en el año 2008 se inicia la apertura comercial de azúcar de importación, específicamente de Estados Unidos, por lo que es necesario diversificar el uso del cultivo de caña de azúcar y su utilización para la alimentación de especies de interés pecuario. Al respecto, Fondevila (1998) indica que el uso de la caña de azúcar es limitado por ser un forraje de bajo valor nutritivo debido a su alto grado de ligni-

ficación. Diversos autores coinciden en que una manera adecuada de mejorar la disponibilidad de nutrimentos de la caña de azúcar y sus derivados, es mediante la fermentación sólida usando hongos de la pudrición blanca, ya que estos hongos producen enzimas fibrolíticas (Nigam, 1990; Zadrzil y Puniya 1995; Pandey *et al.*, 2000; Membrillo *et al.*, 2005). La incorporación de hongos ligninolíticos a forrajes con alto contenido de fibra favorece la degradación y mejora el proceso de fermentación ruminal de la fibra, además el ensilaje de los forrajes fermentados hace disponibles otros compuestos de fácil asimilación que coadyuvan a la conservación de forrajes (Ensminger, 1994).

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante los meses de abril-mayo de 2006 en el Rancho Muñoz ubicado en el Municipio de Villa de Ayala, Estado de Morelos (México), con clima cálido semi-húmedo y lluvias en verano. El experimento se llevó a cabo en dos etapas. En la primera de ellas, se fermentó aeróbicamente caña de azúcar integral (CAI) durante 48 h, por acción de la microflora epifítica (CIF); posteriormente se realizó una segunda fermentación donde a la CIF se le inoculó el hongo *Pleurotus sapidus*, (cepa adquirida en el laboratorio Prodicet, México), y se dejó fermentar aeróbicamente durante 15 días (FSP15); el material estuvo dentro de una bolsa de plástico transparente con pequeñas perforaciones que permitían la entrada de oxígeno y fue depositado en un cuarto oscuro que lo protegía de los cambios bruscos de temperatura y corrientes de aire. La segunda etapa consistió en ensilar CAI, y CAI con dos diferentes porcentajes de FSP15 (10 y 20%). Previo a ensilarse, los tratamientos se complementaron con maíz molido (10% p/p), urea (1,5% p/p), una mezcla mineral comercial (0,5% p/p) y sulfato de amonio (0,005% p/p), según Elías *et al.* (1990); Elías y Lezcano (1994); Ramos (2005).

Para la realización del ensilaje se utilizó

FERMENTACIÓN SÓLIDA Y ENSILAJE DE CAÑA DE AZÚCAR

el modelo de microsilos de plástico negro a los que se incorporó 1 kg del material a ensilar, se eliminó el exceso de aire y fueron cerrados herméticamente para fermentarse durante 24 días a la sombra y temperatura ambiente (28-32°C). La caña de azúcar integral usada en este experimento, fue obtenida del segundo corte a los 12 meses, de una parcela de productores del municipio de Villa de Ayala, Estado de Morelos, la misma se cortó y picó con una picadora de cuchillas, hasta obtener un tamaño de partícula entre 2 y 5 cm. Para una mejor diferenciación entre los tratamientos y los días en que se realizó su seguimiento se les denominó de la siguiente forma: CAI (caña de azúcar integral), CIF (caña de azúcar integral fermentada aeróbicamente durante 48 h), FSP15 (caña de azúcar integral inoculada con una cepa comercial de *Pleurotus sapidus* y fermentada durante 15 días), CAI-0 (CAI ensilada con aditivos, día 0), CAI-10-0 (CAI+10% FSP15 ensilada, día 0), CAI-20-0 (CAI+20% FSP15 ensilada, día 0), CAI-24 (CAI ensilada con aditivos, día 24), CAI-10-24 (CAI+10% FSP15 ensilada, día 24) y CAI-20-24 (CAI+20% FSP15 ensilada, día 24). A todos los tratamientos, a tiempo 0 y 24 días de ensilaje, se les realizaron análisis químico-bromatológicos (materia seca, materia orgánica, proteína bruta, cenizas, según la AOAC, 1995) FDN y FDA según Van Soest *et al.* (1991), pruebas de digestibilidad y fermentación ruminal *in vitro*, esta última determinada por la técnica de producción de gas según Menke y Steingass (1988). Se utilizó líquido ruminal de dos bovinos canulados, adaptados a una dieta a base de pastoreo de leguminosas durante la mañana, y por la tarde basada en caña de azúcar integral y un concentrado comercial con 12% de proteína. La producción de gas se midió a intervalos regulares de tiempo hasta las 96 h de fermentación. También se analizaron las variables fermentativas de los tratamientos ensilados: humedad, ácidos grasos volátiles, temperatura y pH según AOAC (1995), el nitrógeno amoniacal por la

técnica propuesta por McCullough, (1967), ácidos grasos volátiles según Erwin *et al.* (1961), carbohidratos solubles de acuerdo a Dubois *et al.*, 1956 y ácido láctico mediante la técnica de Oser (1965) modificada por Tejada (1985).

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Las variables de la cinética de producción de gas; volumen máximo de gas (V_{máx}, ml/g MS), tasa de producción de gas (S, ml/h) y fase de retardo, denominada L (h) evaluada a partir de la hora cero del estudio, estimada utilizando el modelo logístico $VA = V_{máx} / (1 + \exp(2 - 4 * s * (t - L)))$ (Schofield y Pell, 1995). Los resultados del análisis químico-bromatológico y fermentativo fueron evaluados estadísticamente por el procedimiento GLM y pruebas de comparación de medias por el método de Tukey para discriminar entre lotes, utilizando el paquete estadístico SAS, versión 6.0 (SAS, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis químico-bromatológico de la CAI, CIF y FSP15 (**tabla I**), mostró que exis-

Tabla I. Composición químico-bromatológica (%) inicial de caña de azúcar integral (CAI), caña integral fermentada (CIF) y caña inoculada con *Pleurotus sapidus* y fermentado sólido (FSP15). (Initial Chemical-bromatologic composition of whole sugar cane (CAI), whole sugar cane fermented (CIF) and whole sugar cane inoculated with *Pleurotus sapidus* and fermented (FSP15)).

	CAI	CIF	FSP15
MS	35,26±0,50 ^b	38,03±0,81 ^b	44,01±0,21 ^a
PB	5,53±0,42 ^b	4,44±0,30 ^c	7,43±0,33 ^a
Cenizas	6,18±0,34 ^{ab}	6,51±0,44 ^a	5,78±0,52 ^{ab}
FDN	44,81±0,97 ^b	40,17±0,19 ^c	72,42±0,99 ^a
FDA	29,08±0,02 ^b	27,61±0,49 ^b	41,48±2,48 ^a
MO	88,11±1,01 ^c	87,49±0,77 ^b	90,20±1,30 ^a

Medias con distinta literal entre filas son diferentes (p<0,05).

tieron cambios significativos ($p < 0,05$) en los contenidos de PB, FDN, FDA, MO y MS debido a la fermentación. En la FSP15 el aumento de los componentes fue notable, lo que indicó que se debió a consecuencia de la actividad microbiana del hongo sobre el sustrato y a la asimilación de los carbohidratos solubles y compuestos de fácil digestión, de manera que se concentraron las fibras y la proteína. Resultados similares fueron observados por Escalona *et al.* (2001), fermentando bagazo de caña de azúcar y cachaza con el hongo *Pleurotus ostreatus*, además de que mostró un aumento en la proteína bruta, mientras que Mthiyane *et al.* (2001) encontraron un aumento en la FDN, al realizar un prefermentado con la caña de azúcar antes de ser ensilada.

En la **tabla II** se indican los valores de los componentes nutritivos de los forrajes ensilados al día 0 y 24. La composición de los forrajes en el tiempo cero no difirió ($p > 0,05$) entre ellos excepto para la FDA en el tratamiento CAI-10-0 (31,31% MS). Después de 24 días de ensilaje la concentración de los componentes nutritivos aumentó significativamente en todos los tratamientos evaluados, a excepción del contenido de MS que mostró menores pérdidas y permitió una mejor estabilidad en todos los tratamientos (CAI-24: 29,95%; CAI-10-24: 32,68% y CAI-20-24: 33,64%). Resultados

similares fueron encontrados por Inteaz *et al.* (1982) al ensilar caña de azúcar recién cortada y picada, y caña de azúcar picada y fermentada durante 48 h. También se observó que tras 24 días de ensilaje existió un incremento de PB en los tratamientos CAI-24, CAI-10-24 CAI-20-24 (13,72; 13,24; 13,05% MS respectivamente) sin embargo no mostraron diferencias significativas entre ellos; el aumento puede atribuirse a la fermentación de los azúcares solubles que provocaron incrementos en los ácidos grasos volátiles. Por otro lado, todos los ensilados mostraron un aroma agradable (afrutado), de color verde pardo y amarillo claro para las fracciones del tallo, similar al de la planta al momento de corte y de textura consistente (Megías *et al.*, 1992).

Al analizar las variables fermentativas de los tratamientos ensilados (**tabla III**), se observó que existieron cambios significativos entre los tiempos iniciales, siendo el tratamiento CAI-0 el que presentó el valor más alto de carbohidratos solubles (9,14% MS), puesto que aún no iniciaba la fermentación. Sin embargo sí existieron diferencias significativas cuando estos son comparados con los tratamientos CAI-24, CAI-10-24 y CAI-20-24, lo que se explica porque después de 24 días de fermentación son consumidos los azúcares solubles y desdoblados a ácidos orgánicos.

Tabla II. Composición químico-bromatológica (%) de caña de azúcar integral y fermentado sólido de *Pleurotus sapidus* a tiempo 0 y 24 días de ensilado. (Chemical-bromatologic composition of whole sugar cane and product after solid fermentation by *Pleurotus sapidus*, at time 0 and 24 d after ensiling).

Componente	CAI-0*	CAI-10-0*	CAI-20-0*	CAI-24*	CAI-10-24*	CAI-20-24*
MS	35,47±0,07 ^{ac}	35,96±1,99 ^{ab}	36,70±0,56 ^a	29,95±2,15 ^d	32,68±0,27 ^{cd}	33,64±0,34 ^{bc}
PB	12,01±0,25 ^b	12,82±0,58 ^{ab}	12,30±0,40 ^b	13,72±1,21 ^a	13,24±0,82 ^{ab}	13,05±0,87 ^{ab}
Cenizas	5,62±0,32 ^{ab}	5,00±0,08 ^b	5,13±0,28 ^b	6,08±0,32 ^{ab}	6,52±0,63 ^a	5,28±0,67 ^{ab}
FDN	60,61±0,61 ^c	62,30±0,67 ^{bc}	60,90±0,27 ^c	63,25±1,64 ^b	61,05±1,14 ^c	62,05±1,63 ^{ab}
FDA	27,75±0,67 ^d	31,31±0,74 ^{bc}	26,89±0,35 ^d	36,55±3,30 ^a	33,26±1,16 ^b	32,80±2,68 ^b

*Todos los tratamientos, ensilados y enriquecidos según Elías *et al.* (1990); Elías y Lezcano (1994); Ramos (2005). Medias con distinta literal entre filas son diferentes ($p < 0,05$).

FERMENTACIÓN SÓLIDA Y ENSILAJE DE CAÑA DE AZÚCAR

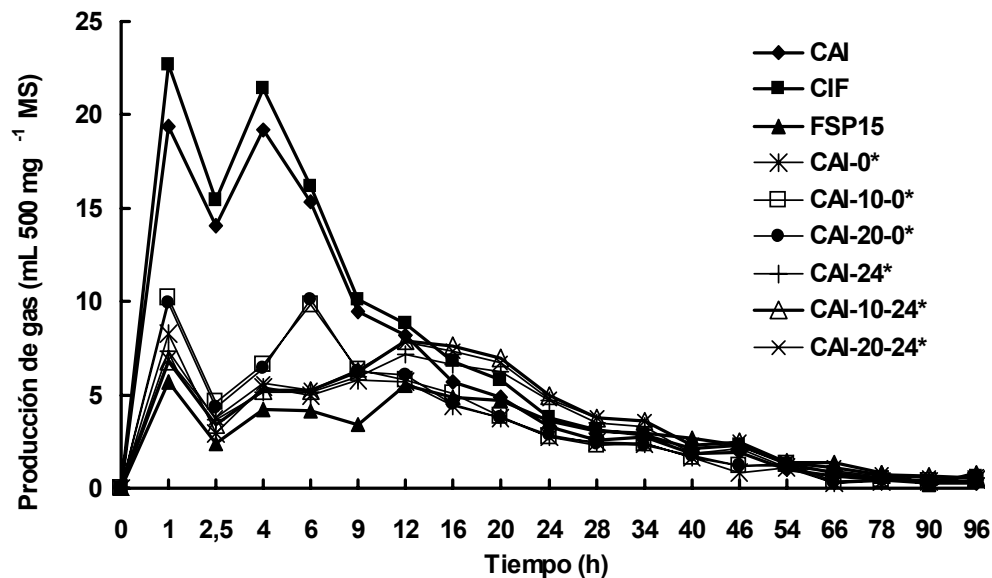
Tabla III. Composición fermentativa de la caña de azúcar integral y fermentado sólido de *Pleurotus sapidus* a tiempo 0 y 24 días de ensilado. (Fermentative composition of whole sugar cane and product after solid fermentation by *Pleurotus sapidus*, at time 0 and 24 d after ensiling).

Componente	CAI-0*	CAI-10-0*	CAI-20-0*	CAI-24*	CAI-10-24*	CAI-20-24*
pH	5,36± 0,20 ^a	5,26±0,10 ^a	5,16± 0,20 ^a	3,99±0,30 ^b	3,98±0,48 ^b	3,90±0,47 ^b
CHS ¹	9,14±0,14 ^a	7,69±0,48 ^b	7,58±0,29 ^b	4,05±0,09 ^c	3,38±0,03 ^c	3,20±0,16 ^c
N amoniacal ¹	3,80±0,19 ^d	4,14±0,39 ^d	3,54±0,40 ^d	9,26±0,43 ^a	7,58±0,95 ^b	5,65±0,78 ^c
Acido acético ¹	N.D	N.D	N.D	20,41±0,37 ^a	18,70±0,84 ^b	14,53±0,27 ^b
Acido láctico ¹	10,32±1,56 ^c	10,90±5,5 ^c	10,28±2,85 ^c	19,44±4,15 ^a	16,71±4,99 ^b	16,36±1,11 ^b
T interna °C	28,33±0,15 ^{ab}	28,70±0,20 ^a	28,56±0,05 ^a	27,30±0,10 ^d	27,70±0,36 ^{bc}	27,95±0,1 ^{bc}

*Todos los tratamientos fueron ensilados y enriquecidos según Elías *et al.* (1990); Elías y Lezcano (1994); Ramos (2005). Medias con distinta literal entre filas son diferentes ($p < 0,05$). N.D= No detectado. ¹% MS. ¹CHS= Carbohidratos solubles.

La temperatura permaneció estable durante los 24 días de fermentación. El mejor tratamiento evaluado fue CAI-20-24, dado que mostró mayores índices de ácido lácti-

co (16,36% MS), ácido acético (14,53% MS) y presentó la menor producción de nitrógeno amoniacal (5,65% MS), variable determinante en la buena conservación de ensilajes,



Los tratamientos con (*) indican que fueron ensilados y enriquecidos con fuente externa de nitrógeno y almidones (Elías *et al.*, 1990; Elías y Lezcano, 1994 y Ramos, 2005).

Figura 1. Tasa fraccional de producción de gas in vitro de diferentes tratamientos de caña de azúcar integral y fermentado sólido de *Pleurotus sapidus*. (Fractional rate in vitro production of gas for different whole sugar cane treatments and solid fermented product by *Pleurotus sapidus*).

dado que es indicativo de una proteólisis reducida (Cañeque y Sancha, 1998). Los tratamientos CAI-10-24 y CAI-20-24 sólo mostraron diferencias significativas en la producción de ácido acético. Las variables estudiadas para estos tratamientos indican que pueden ser considerados como ensilados de buena calidad. En relación al pH, los tratamientos de 24 días no mostraron diferencias significativas, resultados similares fueron observados por Inteaz *et al.* (1982), al estudiar la fermentación de la caña de azúcar picada, en el que indica la caída rápida del pH durante los primeros 10 días del ensilaje con valores cercanos 4 unidades de pH.

Respecto a la fermentación ruminal *in vitro*, con la tasa fraccional de gas se observó que el mayor valor durante las primeras diez horas de incubación fue para los tratamientos CIF y CAI sin ensilar, puesto que en este tiempo se fermentaron los componentes de mayor disponibilidad (azúcares y almidones), y cuando éstos se agotan la tasa fraccional de gas cae drásticamente (**figura 1**). En este mismo lapso de tiempo, también se observó un incremento, aunque en menor proporción, de la tasa fraccional

en los tratamientos CAI-0, CAI-10-0 y CAI-20-0. González (1995), indica que cuando la caña de azúcar se utiliza como único alimento, el contenido de carbohidratos solubles reduce la actividad de las bacterias celulolíticas en el rumen. Esto, quizás es debido a una rápida reducción del pH ruminal, lo cual podría explicar por qué no se encontró un aumento en la tasa fraccional después de 10 h de incubación.

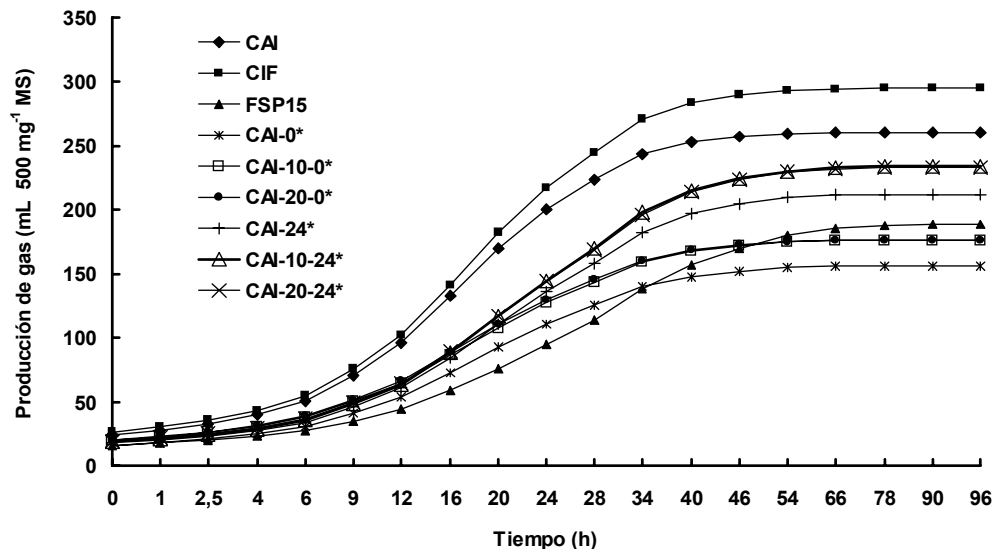
Los tratamientos ensilados durante 24 días (**figura 1**), mostraron una tasa fraccional de producción de gas inferior después de las 10 horas de incubación y muestran un leve incremento en el período de 12 a 24 h, que puede atribuirse a la fermentación de compuestos de la pared celular (FDN). Para los ensilados CAI-10-24 y CAI-20-24 el comportamiento de la tasa fraccional fue similar entre ellos y más alto que para la CAI-24, lo que supone una acción de *Pleurotus sapidus* y de biomasa nativa del ensilado, así como de sus metabolitos formados, lo que conlleva a un aumento en la disponibilidad del sustrato para ser asimilable por los microorganismos del rumen. Los tratamientos ensilados con el inóculo del hongo *Pleurotus sapidus* mejoraron la fermenta-

Tabla IV. Variables de la cinética de producción de gas *in vitro* y digestibilidad de la materia seca de diferentes tratamientos con caña de azúcar integral y fermentado sólido de *Pleurotus sapidus*. (Kinetics variable of *in vitro* gas production from whole sugar cane and product after solid fermentation by *Pleurotus sapidus*).

Tratamiento	V máx ml/gMS	L (h)	S (ml/h)	DIVMS%
CAI	260,63±5,83 ^b	2,05±0,20 ^d	0,0364±0,0014 ^a	63,71±0,56 ^d
CIF	294,73±6,78 ^a	2,23±0,12 ^d	0,0348±0,0007 ^{ab}	63,97±0,48 ^d
FSP15	188,83±5,78 ^e	3,73±0,16 ^a	0,0248±0,0340 ^d	64,80±0,47 ^c
CAI-0*	155,89±3,39 ^f	1,21±0,38 ^b	0,0319±0,0070 ^{bc}	64,28±1,28 ^c
CAI-10-0*	176,34±6,30 ^{ef}	0,36±0,33 ^c	0,0313±0,0020 ^{bc}	64,84±1,11 ^c
CAI-20-0*	176,27±2,79 ^{ef}	0,31±0,05 ^c	0,0317±0,0060 ^{bc}	65,31±2,01 ^c
CAI-24*	212,08±7,09 ^d	3,19±1,08 ^a	0,0311±0,0023 ^{bc}	66,66±0,81 ^c
CAI-10-24*	233,76±9,66 ^c	3,64±1,54 ^a	0,0305±0,0019 ^c	68,70±0,89 ^b
CAI-20-24*	233,31±5,72 ^c	3,34±1,38 ^a	0,0299±0,0011 ^c	70,13±1,28 ^a

*Todos los tratamientos fueron ensilados y enriquecidos según (Elías *et al.*, 1990; Elías y Lezcano, 1994; Ramos, 2005). Medias con distinta literal entre columnas son diferentes (p<0,05).

FERMENTACIÓN SÓLIDA Y ENSILAJE DE CAÑA DE AZÚCAR



Los tratamientos con (*) indican que fueron ensilados y enriquecidos con fuente externa de nitrógeno y almidones (Elías *et al.*, 1990; Elías y Lezcano, 1994 y Ramos, 2005).

Figura 2. Evolución de la producción de gas *in vitro* de diferentes tratamientos de caña de azúcar integral y fermentado sólido de *Pleurotus sapidus*. (Evolution of *in vitro* gas production for different whole sugar cane treatments and solid fermented product by *Pleurotus sapidus*).

ción de la fibra, lo que concuerda con resultados similares a Okano (2006), quienes trabajaron con bagazo de caña de azúcar ensilado y fermentado con el hongo *Pleurotus eryngii*.

La cinética de producción de gas mostró que durante la fermentación ruminal *in vitro*, los valores de $V_{m\acute{a}x}$ mayores (tabla IV) fueron para los tratamientos CIF y CAI (294,7 y 260,6 ml/500 mg MS, respectivamente) debido a que contenían una mayor cantidad de azúcares, cuya digestión anaerobia produjo ácidos grasos volátiles, estos sustratos también aportan esqueletos de carbono para la síntesis de biomasa microbiana (Opatpatanakit *et al.*, 1994; Schofield *et al.*, 1994).

Por el contrario, el tratamiento FSP15 y ensilados al tiempo cero (CAI-0, CAI-10-0 y CAI-20-0) mostraron las menores $V_{m\acute{a}x}$; no obstante después de 24 días de ensilaje (CAI-24, CAI-10-24 y CAI-20-24), aumenta-

ron el valor de $V_{m\acute{a}x}$, lo que indica que el proceso de ensilaje mejora la disponibilidad de sustratos para la fermentación ruminal (figura 2); sin embargo, el tiempo de retardo L (h) es mayor para los tratamientos del día 24, con un tiempo mayor a 3 h, dado que los compuestos de rápida fermentación ruminal, como azúcares, fueron consumidos durante el ensilaje. El valor de L para CAI-0 mostró un valor de (1,21 h), mientras que para CAI-10-0 y CAI-20-0 se redujo hasta 0,3 h (tabla IV). Resultados similares fueron observados por Okano (2006), en donde por medio de fermentación sólida con bagazo de caña de azúcar inoculó el hongo *Pleurotus eryngii* y reportó una mejora en su digestibilidad, además de presentar valores cercanos (3,4 a 3,9 h) para la fase de retardo (L) y para la tasa de fermentación (0,029 ml/h).

Por otro lado, no hubo grandes diferencias en la tasa de fermentación (S), cabe

señalar que a excepción del FSP15 y CAI-20-24 su valor fue menor a 0,03 ml/h; mientras que para los demás tratamientos tuvieron una tasa igual o mayor a 0,03 ml/h (**tabla IV** y **figura 2**). Respecto al porcentaje de DIVMS, se demostró que los tratamientos ensilados tuvieron una mayor digestibilidad que los no ensilados, y que la FSP15 mejora el porcentaje de DIVMS, encontrando el valor más alto para el tratamiento CAI-20-24 (70,13%) lo que representa 5,3% más respecto al tratamiento FSP15 (**tabla IV**). Lo anterior coincide con Masahiro *et al.* (1992) quienes atribuyen estos resultados a los productos del metabolismo del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre paja de cereales, indicado además que este hongo tiene la capacidad de degradar compuestos fibrosos por acción enzimática.

CONCLUSIÓN

El empleo de técnicas de conservación de forrajes (ensilaje) es una buena alterna-

tiva, debido a que se puede preservar la caña de azúcar para épocas donde los forrajes de corte alcanzan bajos niveles nutritivos. Por otro lado, el enriquecimiento de la caña con nitrógeno no proteico y almidones provocó un aumento en los valores de proteína bruta. Al ensilar la CAI se mejoró la digestibilidad en la fracción de la fibra. El fermentado de CAI con el hongo *Pleurotus sapidus* (FSP15) y adicionado en mezcla de 10 y 20% produjo un aumento en la producción de total de gas, mejoró la digestibilidad de la CAI y los parámetros fermentativos del ensilaje, con lo que se corroboró una mejora en la calidad nutritiva del subproducto valorado.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por el financiamiento del proyecto 42782-Z y por la beca N° 184171 para estudios de maestría del estudiante Armando Peláez Acero.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th Ed. Off. Agric. Chem., Washington, D.C., U.S.A.
- Cañeque, M. y S. Sancha. 1998. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Dubois, M.K., A. Gilles, J.K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28: 350.
- Elías, A. y O. Lezcano. 1994. Efecto de la inclusión de niveles de harina de maíz en la fermentación de la caña de azúcar. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.*, 28: 319.
- Elías, A., O. Lezcano, P. Lezcano, J. Cordero y L. Quintana. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico de la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (*Saccharina*). *Rev. Cubana Cienc. Agríc.*, 24: 1-8.
- Ensminger, M.E. 1994. Dairy cattle science. Animal agriculture series. Third edition. Interstate publishers, inc. Danville, Illinois, USA. 550 p.
- Erwin, E.S., G.J. Marco and E. Emery. 1961. Volatile fatty acid analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.*, 44: 1768-1771.
- Escalona, C.L., P.I. Ponce, M.A. Estrada, S.G. Solano, S.O. Ricardo y E.M. Cutiño. 2001. Cambios en la composición bromatológica del garanver + *Pleurotus ostreatus*. *Rev. Prod. Anim.*, 13: 21-24.
- Fondevila, M. 1998. Procesos implicados en la digestión microbiana de los forrajes de baja calidad. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 15: 87-106.
- 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 C. Dr. Cs. Instituto de ciencia animal. La Habana, Cuba.
- Inteaz, Alli, E.B. Bruce and G. Gary. 1982. Studies on the fermentation of chopped sugarcane. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 7: 411-417.
- Jasso, T.H. 2002. Situación comercial del azúcar: Tratado de libre comercio de América del Norte.

FERMENTACIÓN SÓLIDA Y ENSILAJE DE CAÑA DE AZÚCAR

- Foro Nacional sobre el futuro de la industria de la caña de azúcar en México. Colegio de Postgraduados, Córdoba, Veracruz, México.
- Masahiro, O., Y.R. Masaaki and A. Hidemori. 1992. Improvement of nutritive of cereal straw by solid state fermentation using *Pleurotus ostreatus*. In: Utilization of feed resources in relation to nutrition and physiology of ruminants in the tropics. *Trop. Agr. Res.*, 25: 178-185.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clin. Chem.*, 17: 297-304.
- Megías, M.D., J.A. Gallego, A. Martínez y M. Sánchez. 1992. Estudio comparativo de diferentes aditivos en el ensilado del subproducto de naranja. *Arch. Zootec.*, 41: 179-182.
- Membrillo, V.I., H.C. Sánchez, T.E. Favela, M.M. Meneses y O. Loera. 2005. Efecto de la geometría del bagazo de caña sobre las enzimas lignocelulolíticas de *Pleurotus ostreatus*. En: Avances de Biotecnología Agropecuaria y Forestal en México, Editorial. (ANABAF). 132-138.
- Menke, K.H. and H. Steingass. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.*, 28: 7-55.
- Mthiyane, D.M.N., I.V. Nsahlai and M. Bonsi. 2001. The nutritional composition, fermentation characteristics, in sacco degradation and fungal pathogen dynamics of sugarcane tops ensiled with broiler litter with or without water. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 94: 171-185.
- Nigam, P. 1990. Investigation of some factors important for solid state fermentation of sugar cane bagasse for animal feed production. *Enzyme Microb. Tech.*, 12: 808-811.
- Okano, K. 2006. Effects of culture length of *Pleurotus eryngii* grown on sugarcane bagasse on *in vitro* digestibility and chemical composition. *Anim. Feed Sci. Tech.*, Doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.08.024.
- Opatpatanakit Y., R.C. Kellaway, I.J. Lean, G. Annison and A. Kirby. 1994. Microbial fermentation of cereal grains *in vitro*. *Australian J. Agr. Res.*, 45: 1247-1263.
- Oser, B.L. 1965. Hawk's Physiological Chemistry, 14th Ed., McGraw Hill Book Company, the Blackston Division New Cork, 689.
- Pandey, A., R.C. Soccol, P. Nigam and T.V. Soccol. 2000. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Biore-source Technol.*, 74: 69-80.
- Ramos, J.J. 2005. Obtención de un concentrado energético-proteínico por fermentación en estado sólido de la caña de azúcar para bovinos de ceba. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencia Animal. Departamento de Ciencias Biofisiológicas. La Habana, Cuba.
- SAS. 1994. AS/Stat User's Guide version 6.0 Fourth edition, Vol 1. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline, USA. 943 pp.
- Schofield, P., R.E. Pitt and A.N. Pell. 1994. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. *J. Anim. Sci.*, 72: 2980-2991.
- Schofield, P. and A.N. Pell. 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes y grasses. *J. Anim. Sci.*, 73: 3455-3463.
- Tejada, H.I. 1985. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Patronato de apoyo a la investigación y experimentación pecuaria en México. México D.F.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nostarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583.
- Zadrazil, F. and A.K. Puniya. 1995. Studies on effect of particle size on solid state fermentation of sugar cane bagasse into animal feed using White-rot fungi. *Biore-source Technol.*, 54: 85-87.