

Ensilaje de caña de azúcar integral enriquecido con porcinaza fresca

Whole sugar cane silage enriched with fresh pig manure

Silagem de cana de açúcar integral enriquecida com porcinaza fresca

Julián Estrada – Á¹, Emilio M. Aranda - I²; Gastón Pichard - D³, Francisco J. Henao -Uribe⁴

¹ PhD, Departamento de Producción Agropecuaria, Universidad de Caldas,

² PhD, Director Laboratorio de Ciencia Animal, Colegio de Posgraduados - Campus Tabasco, Cárdenas, Tabasco, México.

³ PhD, Departamento de Ciencias Animales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

⁴ PhD, Director Doctorado Ciencias Agrarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
Email: jestrada@ucaldas.edu.co

Recibido: diciembre 21 de 2012. **Aceptado:** mayo 16 de 2013

Resumen

El propósito del presente estudio fue evaluar estrategias competitivas de incorporación de porcinaza en ensilajes de caña de azúcar integral molida (CAIM), para alimentación de bovinos, el trabajo se realizó en el Instituto de Biotecnología Agropecuaria de la Universidad de Caldas. Se utilizó un diseño factorial de 8x3x2 (8 tiempos de fermentación; 20-30 y 40% de porcinaza; y con y sin fermentación previa), en bloques completos al azar, 3 replicaciones por tratamiento y un microsilo de PVC, de 2.5 Kg, como unidad experimental. La fermentación previa afectó el contenido de azúcares reductores (AR) ($P \leq 0.01$), el pH, las cenizas totales (CT) y el Cu ($P \leq 0.05$). El porcentaje de incorporación de porcinaza (IP) afectó ($P \leq 0.01$) proteína total (PT), grasa total (GT), CT, P, K, y Mg. Respecto al tiempo de fermentación (TF), hubo un descenso leve ($P > 0.05$) en AR y MS del día 3 al 21, y más fuerte ($P \leq 0.01$), del 21 al 50. El pH bajó entre tercero y sexto día ($P \leq 0.01$), permaneció constante hasta el día 21 y tendió a aumentar a los 50 días ($P > 0.05$); Por el contrario, la GT se elevó a partir del día 3 ($P \leq 0.05$). Ambas variables registraron valores normales. Las CT disminuyeron ($P \leq 0.05$) entre el día 3 y 6, y permanecieron constantes desde allí. La adición de porcinaza fresca al ensilaje de CAIM mejoró los principales indicadores de calidad nutricional de este, con un comportamiento sobresaliente de la mezcla con 40% de porcinaza, sometida a fermentación previa, a partir del día 15 de fermentación.

Palabra clave: ensilaje, excretas de cerdo, fermentación en estado sólido, porcinaza.

Abstract

The present study was aimed at evaluating competitive strategies for incorporating pig manure in to whole ground sugar cane (WGSC) silage for feeding cows; the work was carried out at the University de Caldas' Instituto de Biotecnología Agropecuaria. An 8x3x2 factorial design was used (8 fermentation times, 20-30 and 40% pig manure and no prior fermentation), in completely random blocks, 3 repeats per treatment and 2.5 Kg PVC microsiles as experimental unit. Prior fermentation affected reducing sugar (RS) ($p \leq 0.01$), pH, total ash (TA) and Cu content ($p \leq 0.05$). The percentage of pig manure (PM) incorporation ($p \leq 0.01$) affected total protein (TP), total fat (TF), CT, P, K and Mg. Regarding fermentation time

(FT), there was a slight drop ($p>0.05$) in RS and MS between day 3 and 21 and more strongly so ($p\leq 0.01$) from day 21 to 50. The pH fell between the third and sixth days ($p\leq 0.01$), remaining constant until day 21 and tending to increase after 50 days ($p>0.05$); on the contrary, TF became higher after day 3 ($p\leq 0.05$). Normal values were recorded for both variables. TA became reduced ($p\leq 0.05$) between day 3 and 6, and remained constant from there on. Adding fresh pig manure to WGSC silage improved its main nutritional quality indicators, the mixture containing 40% pig manure having outstanding performance (having been subjected to prior fermentation) after day 15 of fermentation.

Key words: silage, pig excreta, solid state fermentation, pig manure.

Resumo

O propósito do presente estudo foi avaliar as estratégias competitivas de incorporação de porcinaza em silagens de cana de açúcar integral moída (CAIM), para alimentação de bovinos. Trabalho realizado no Instituto de Biotecnologia Agropecuária da Universidad de Caldas. Utilizou-se um desenho fatorial de $8 \times 3 \times 2$ (8 tempos de fermentação; 20–30 e 40% de porcinaza; e com e sem fermentação prévia), em blocos completos ao acaso, 3 replicações por tratamento e um micro-silo de PVC, de 2,5 kg, como unidade experimental. A fermentação prévia afetou o conteúdo de açúcares redutores (AR) ($P\leq 0,01$), o pH, as cinzas totais (CT) e o Cu ($P\leq 0,05$). A porcentagem de incorporação de porcinaza (IP) afetou ($P\leq 0,01$) proteína total (PT), gordura total (GT), CT, P, K, e Mg. Com respeito ao tempo de fermentação (TF), houve um leve decréscimo ($P>0,05$) em AR e MS dos dias 3 a 21, e mais forte ($P\leq 0,01$), dos dias 21 a 50. O pH diminuiu entre o terceiro e o sexto dias ($P\leq 0,01$), permaneceu constante até o dia 21 e teve a tendência de aumentar aos 50 dias ($P>0,05$). Ao contrário, a GT elevou-se a partir do dia 3 ($P\leq 0,05$). Ambas variáveis registraram valores normais. As CT diminuíram ($P\leq 0,05$) nos dias 3 e 6, e permaneceram constantes a partir daí. A adição de porcinaza fresca à silagem de CAIM melhorou os principais indicadores de qualidade nutricional desta, com um comportamento superior da mistura com 40% de porcinaza, submetida à fermentação prévia, a partir do 15º dia de fermentação.

Palabras chave: silagem, fezes de suíno, fermentação no estado sólido, porcinaza.

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) ha sido utilizada intensivamente por la alta concentración de carbohidratos (75 a 92%) en el jugo extraído de ella (Larrahondo, 1995) por esta misma razón ha sido utilizada para otros propósitos comerciales en la industria azucarera y en otras producciones, como: biocombustible, alcohol en la industria de licores y forraje en la alimentación animal (Zapata, 2000). El cultivo de esta planta se realiza en los trópicos de cáncer y de capricornio y en las zonas intertropicales, que son consideradas las más propicias para esta planta. Para el 2007 el área sembrada en caña de azúcar fue estimada a nivel mundial en 21.980.000 has; en este mismo año los 3 primeros lugares en producción los ocuparon en su orden: Brasil, China y Paquistán (SIAP, 2008). En el año 2008 según Asocaña (Asocaña, 2010) Colombia ocupó el octavo lugar a nivel mundial, con 223.307 has sembradas y una producción media de 117.6 Ton/ha. La prohibición de la práctica tradicional de la quema del follaje (Minambiente, 1995) por el Decreto 948 de 1995 del Ministerio Colombiano del Medio Ambiente, ha generado un incremento considerable en el volumen de residuos no aprovechables en la producción convencional de azúcar y alcohol (SIAP, 2008). En la utilización de dichos residuos se plantean 2 estrategias básicas, la producción de alcoholes de 2ª generación (Sánchez y Cardona, 2008) y la alimentación animal (Zapata, 2000).

Por la alta producción de biomasa por unidad de área de este cultivo, basada en CAIM y subproductos, ha sido ampliamente utilizado como forraje en la alimentación animal (Zapata, 2000; Albarracín et al., 2008); además, su elevado aporte energético, representado principalmente por azúcares simples (entre 2 y 4% de glucosa y fructosa, respectivamente) (Larrahondo, 1995) la hace rápidamente asimilable por rumiantes y monogástricos.

Trabajos clásicos en alimentación de bovinos (Van Soest, 1994) ha demostrado que la utilización de forrajes voluminosos como la caña, en la dieta para rumiantes, puede ser limitada por su alto contenido de fibra detergente neutro (FDN) (59.87%) (Albarracín et al., 2008). En el empeño de disminuir este efecto, se ha tratado de mejorar la disponibilidad de compuestos fibrosos de fácil asimilación a través de la incorporación de hongos ligninolíticos (*Pleurotus sapidus*) en ensilajes de caña de azúcar, gracias a que estos producen enzimas fibrolíticas que coadyuvan a la conservación por fermentación en estado sólido (FES) de los forrajes (Peláez et al., 2007).

La CAIM ensilada posee deficiencias nutricionales, corregibles mediante la adición de elementos enriquecedores. La urea es el de mayor utilización para mejorar los niveles de nitrógeno (Albarracín et al., 2008), en este propósito también se han utilizado otros produc-

tos nitrogenados como porcinaza (Campabadal, 2003; Barrón *et al.*, 2000), gallinaza (García *et al.*, 2007) y pollinaza (Gerig *et al.*, 2000), al punto que son considerados sustitutos de la urea; (Albarracín *et al.*, 2008) afirma que el comportamiento del ganado alimentado con excretas es similar al que consume dietas convencionales. De otro lado, otras sustancias (melaza, miel, azúcar, etc.) se adicionan para aumentar los niveles de azúcares y así asegurar la fermentación láctica durante el proceso de conservación (Albarracín *et al.*, 2008). Los mejores resultados durante el proceso de ensilaje de CAIM y cogollo se han obtenido con melaza y urea, con estas mezclas se obtiene una acidez óptima (pH 4 - 5 o inferior) que garantiza el éxito en el proceso y en el producto resultante (Barrón *et al.*, 2000).

Actualmente las excretas animales generan enormes problemas de polución, por las grandes cantidades de sustancias contaminantes que producen, y constituyen limitantes a la expansión de la industria animal cuya búsqueda de soluciones debe ser abordada con la misma intensidad con que se investiga en áreas como la nutrición, la genética y la reproducción, entre otras. La opción de la utilización de excretas surge por tanto como una alternativa estratégica en biorremediación (Barrón *et al.*, 2000). Estudios previos indican que la excreta puede tener un impacto positivo, al ser utilizado como alimento en forma de ensilado para el ganado vacuno y otros rumiantes (Padilla *et al.*, 2000), permitiendo de esta forma disminuir el problema ambiental que ocasiona (García *et al.*, 2007).

Algunos investigadores (Campabadal, 2003; Barrón *et al.*, 2000) describen la porcinaza como la mezcla de heces a la cual se unen: la porción no digerible de los alimentos, células de descamaciones de la mucosa del aparato digestivo, productos de secreción de las glándulas, microorganismos de la biota intestinal, diversas sales minerales y un porcentaje ínfimo de material extraño. De manera similar, bajo la denominación de porcinaza la Resolución ICA No 2640 (ICA, 2007) la define como residuos consistentes en deyecciones ganaderas, materias fecales, la cama, el agua del lavado y restos de alimentos, en proceso de cambio biológico. En función del sistema de producción tendrán diferentes contenidos de agua, dando lugar a los estiércoles sólidos, semisólidos o líquidos. Además, se ha señalado que la edad de las excretas es otro factor de importancia en la variación de la composición de ella y que está determinado por la volatilización del nitrógeno (García *et al.*, 2007).

Aunque las excretas, como materiales de desecho, son fuentes potenciales de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en los ani-

males que los consumen, hasta ahora, ninguno de los estudios microbiológicos con estos materiales fermentados mediante métodos estándares de cultivo y por detección molecular informan la presencia de patógenos (*Salmonellas*, *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp., *Yersinia* spp. y *Listeria* spp) (Ramírez *et al.*, 2005; Serrano *et al.*, 2008). Por el contrario, sí hacen saber la existencia de microorganismos beneficiosos como *Lactobacillus* y levaduras (Ramírez *et al.*, 2005).

Se ha demostrado que las enterobacterias como *Clostridium* presentes en la porcinaza, son inhibidas en su desarrollo por el pH ácido dado en el ensilaje y no fueron recuperadas en muestras que provenían de porcinaza ensilada (Martínez-Gamba *et al.*, 2001; Serrano *et al.*, 2008). Además, se ha encontrado que condiciones adversas de temperatura, luz ultravioleta, acidez, calor, otros microorganismos y residuos de desinfectantes inactivan severamente los virus (Martínez-Gamba *et al.*, 2001).

En experiencias (Morais *et al.*, 1999) en las cuales se suministró millo ensilado con gallinaza en diferentes niveles a ovinos adultos, encontraron que el consumo voluntario de la MS fue mayor en los tratamientos que contenían excretas y que su digestibilidad se incrementó a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión de gallinaza en el ensilaje.

Michell *et al.* (2002), señalan que los procesos fermentativos se pueden dividir en fermentación líquida sumergida (FLS) y fermentación en estado sólido (FES). La diferencia mayor entre estos dos procesos biológicos, es la cantidad de líquido libre en el sustrato. La FES deben definirse como fermentación que ocurre en ausencia o casi ausencia de agua libre, empleando un sustrato natural usando un material inerte como soporte sólido.

Para Colombia, el informe del sector porcícola 2010 reportó un sacrificio de 2.477.193 cabezas; los Departamentos con mayor sacrificio son Antioquia, Cundinamarca, Valle del Cauca y eje cafetero con el 88,8% (Asoporcultores, 2011). Si se acepta que Colombia cuenta con una población porcina cercana a los 3.668.208 animales, y que la fracción sólida de estiércol/animal/día es de 1.03 kg (Villamil *et al.*, 2000), el volumen de porcinaza diario, disponible sería de 3.778 Ton de excretas.

En razón de lo anterior y buscando estrategias competitivas para la utilización de la porcinaza, el presente estudio tuvo como propósito fundamental evaluar la incorporación de niveles moderados de porcinaza en ensilajes de CAIM con destino a alimentación de bovinos.

Materiales y métodos

Este trabajo se desarrolló en el laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología adscritos al Instituto de Biotecnología Agropecuario de la Universidad de Caldas, en Manizales, ubicada a 05°04" latitud N 75°31" longitud O, temperatura media 18°C, humedad relativa media 80% y 2.150 m.s.n.m. La porcinaza utilizada se colectó fresca, a mano y recién emitida, y proveniente de cerdos de 40 a 60 kg de peso vivo, alimentados con una dieta basada en maíz, sorgo, torta de soya, harina de arroz, aceite acidulado, carbonato de calcio R 35, sal, bentonita, núcleo cerdos sulfato de cobre, zinc, biosure L, metionina líquida, L-lisina. La realización de esta investigación fue autorizada por el Comité de ética para experimentos con animales de la Universidad de Caldas, según acta 01 del 6 de abril de 2010.

Análisis estadístico

El estudio se desarrolló como un arreglo factorial de 8x3x2, 8 niveles para tiempo de fermentación (TF) en microsilos (3-6-9-12-15-18-21 y 50 días), 3 niveles de incorporación de porcinaza (IP) (20-30 y 40% en base húmeda), y 2 niveles de fermentación previa (FP) (con y sin fermentación previa de 48 horas), en un diseño de bloques completos al azar (se bloqueó por la fecha de inicio del experimento), con 3 repeticiones por tratamiento y un microsililo como unidad experimental.

Se utilizó porcinaza con 36.16% de MS, enriquecida con vitafert, un producto biológico de color oscuro, olor agradable, obtenido como resultado de la FLS de la mezcla referida en la tabla 1. Este aditivo es rico en bacterias lácticas, levaduras y sus metabolitos, que funciona como probiótico, que le confieren la propiedad de estimular la producción de ácidos orgánicos de cadena corta (láctico, acético, propiónico, succínico, y pirúvico), de vitaminas y enzimas; además, disminuye el pH, incrementa y estabiliza la proteína, aumenta la digestibilidad de la materia seca y disminuye la fracción de la pared celular (Elías y Herrera, 2010). Para la preparación del vitafert se siguió la metodología descrita por Arias (2010). Este aditivo fue agregado a razón de 0.4 kg por kilo de porcinaza fresca, en base húmeda, es decir con un 28.6% de vitafert (Tabla 1) en la mezcla final de porcinaza enriquecida. De acuerdo con el diseño anterior, a los ensilajes de CAIM, previamente picados con molino de martillo, se adicionó 20, 30 y 40% de porcinaza enriquecida, y esta FES se mantuvo durante 50 días, realizando muestreos seriados en 8 tiempos de fermentación.

Tabla 1. Ingredientes del vitafert (%)

Ingredientes	%
Harina de soya	4.0
Harina de arroz	4.0
Melaza	15.0
Sal mineralizada	0.5
Sulfato de amonio	0.3
Urea	0.4
Agua	70.8
Yogurt	5.0
Total	100.0

La mezcla de porcinaza con vitafert más CAIM se evaluó con y sin fermentación aeróbica previa de 48 horas.

La prueba se realizó en 144 microsilos de PVC de 2.5 kg de capacidad, con válvula de vacío y cierre hermético. Cada uno de los microsilos fue llenado con la mezcla correspondiente, compactado, tapado y sellado con cinta adhesiva. A todos los microsilos se les realizó extracción del aire (vacío) con una aspiradora Karcher®, por 10 segundos.

El proceso de fermentación se evaluó los días 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 y 50, mediante el registro de las siguientes variables: azúcares reductores (AR) por la metodología del DNS (Miller, 1959), pH, temperatura (T°), y análisis químico proximal usando la metodología de la AOAC (AOAC, 1995) para las siguientes características: MS, PT, fibra bruta (FB), GT, CT, macronutrientes: P, K, Mg, calcio (Ca), sodio (Na), y micronutrientes: hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn).

Los datos obtenidos fueron evaluados con el paquete estadístico R-project (2011), mediante análisis de varianza y prueba de Tukey.

Resultados

En la Tabla 2 se presenta una síntesis del análisis de varianza realizado para probar el efecto de los tres factores simples (fermentación previa (FP), porcentaje de incorporación de porcinaza (PI) y tiempo de fermentación (TF)), y de las interacciones dobles y triple entre ellos, sobre las variables dependientes medidas (AR, T°, pH, humedad (H), MS, PT, GT, FB, CT, P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Cu, Mn y Zn). Las interacciones no registraron efectos significativos (P>0.05), y por tanto, en esta tabla se consignan solo los cuadrados medios para los tres factores simples, señalando en cada caso el nivel de significancia encontrado.

Tabla 2. Cuadrados medios para AR, T°, pH, H, MS, PT, GT, FB, CT, P, K, Mg, Ca, Na, Fe, Cu, Mn y Zn, de acuerdo con FP, IP y TF en ensilaje de CAIM.

	AR	T°	pH	MS	NT	PT	GT	FB	CT
FP	0.0007852**	0.1736 ^{NS}	0.3501*	4.5939 ^{NS}	0.00001 ^{NS}	0.0005 ^{NS}	0.8680 ^{NS}	51.8400 ^{NS}	8.38*
IP	0.0000007 ^{NS}	0.0069 ^{NS}	0.0985 ^{NS}	8.7375*	1.13375**	44.2926**	8.9497**	34.9851 ^{NS}	46.10**
TF	0.0002139**	21.4276**	0.1748*	5.1660 ^{NS}	0.11837 ^{NS}	4.6291 ^{NS}	0.5523 ^{NS}	148.3595*	3.61 ^{NS}
	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
FP	0.0951 ^{NS}	0.0747 ^{NS}	0.0003 ^{NS}	0.0225 ^{NS}	0.00002 ^{NS}	28610.31 ^{NS}	3370.38*	289.48 ^{NS}	43.97 ^{NS}
IP	0.6657*	0.4494**	0.0487**	0.0022 ^{NS}	0.00483**	1202039.96**	48655.87**	17403.59**	73236.45**
TF	0.2047 ^{NS}	0.2048**	0.0043 ^{NS}	0.0899*	0.00142**	48919.69 ^{NS}	1117.16 ^{NS}	808.77*	5841.51 ^{NS}

FP= fermentación previa, IP= incorporación de porcinaza, TF= tiempo de fermentación.

AR= azúcares reductores, T°= temperatura, pH, H= humedad, MS= materia seca, PB= proteína bruta, GT= grasa total, FB= fibra bruta, CT= cenizas totales, P= fósforo, K= potasio, Ca= calcio, Mg= magnesio, Na= sodio, Fe= hierro, Cu= cobre, Mn= manganeso, Zn= zinc

NS: Efecto no significativo ($P>0.05$); *: Efecto significativo ($P\leq 0.05$); **: Efecto altamente significativo ($P\leq 0.01$)

En razón de lo anterior, a continuación se presentan los resultados arrojados por las variables dependientes medidas, en relación con los tres efectos simples probados. En la tabla 3 se presentan los valores promedio registrados por estas variables, de acuerdo con el factor FP. De otro lado, en la figura 1 se hace la confrontación grafica de los promedios para AR, pH, CT y Cu, con y sin fermentación previa, para las cuales se encontraron efectos por lo menos significativos ($P\leq 0.05$).

En la tabla 4 se presentan los valores promedio registrados en cada una de las variables dependientes medidas en el estudio, de acuerdo con el factor IP. A su vez, en la figura 2 se grafica las comparaciones de los promedios para MS, PT, GT, CT, P, K y Mg, variables para las cuales se encontró efecto por lo menos significativo ($P\leq 0.05$) del nivel de incorporación de porcinaza.

En la Tabla 5 se presentan los promedios registrados para las variables dependientes afectadas significativamente ($P\leq 0.05$), por el factor TF; del mismo modo, en la figura 3 se grafica este mismo efecto para las variables AR, pH, GT y CT, dado que estas cuatro permiten apreciar el componente sustantivo de esta parte del análisis.

Discusión

En la tabla 2 se aprecia que la fermentación previa afectó de manera altamente significativa ($P\leq 0.01$) el contenido de AR y de manera significativa ($P\leq 0.05$) el pH, el contenido de CT y el contenido de Cu.

El contenido de AR fue de 0.81 y 0.70 mg/g de sólido seco (SS), con y sin fermentación, respectivamente (Figura 1). La disminución del contenido de AR en el ensilaje sometido a fermentación previa se debe a la acción de los microorganismos homofermentativos (*Lactobacillus bulgaris* y *Streptococcus termophilus*) presentes en el yogurt e incorporados en el vitafert, los cuales propician la reducción de los azúcares presentes y su conversión en ácidos orgánicos, a través de fermentación láctica (Elías y Herrera, 2010; Arias, 2010).

El material ensilado sometido a fermentación previa registró un valor promedio de pH inferior ($P\leq 0.05$) al del ensilaje sin fermentación (3.85 vs 3.95), diferencia atribuible a la fermentación láctica de los azúcares contenidos en la mezcla (Elías y Herrera, 2010; Arias, 2010) (ver fig. 1). Elías y Herrera (2010) encontraron una correlación lineal simple de 0.79 ($P\leq 0.01$) entre el pH y el crecimiento de los lactobacilos, en un ensayo de fermentación líquida de la melaza de caña de azúcar con urea y pollinaza fresca.

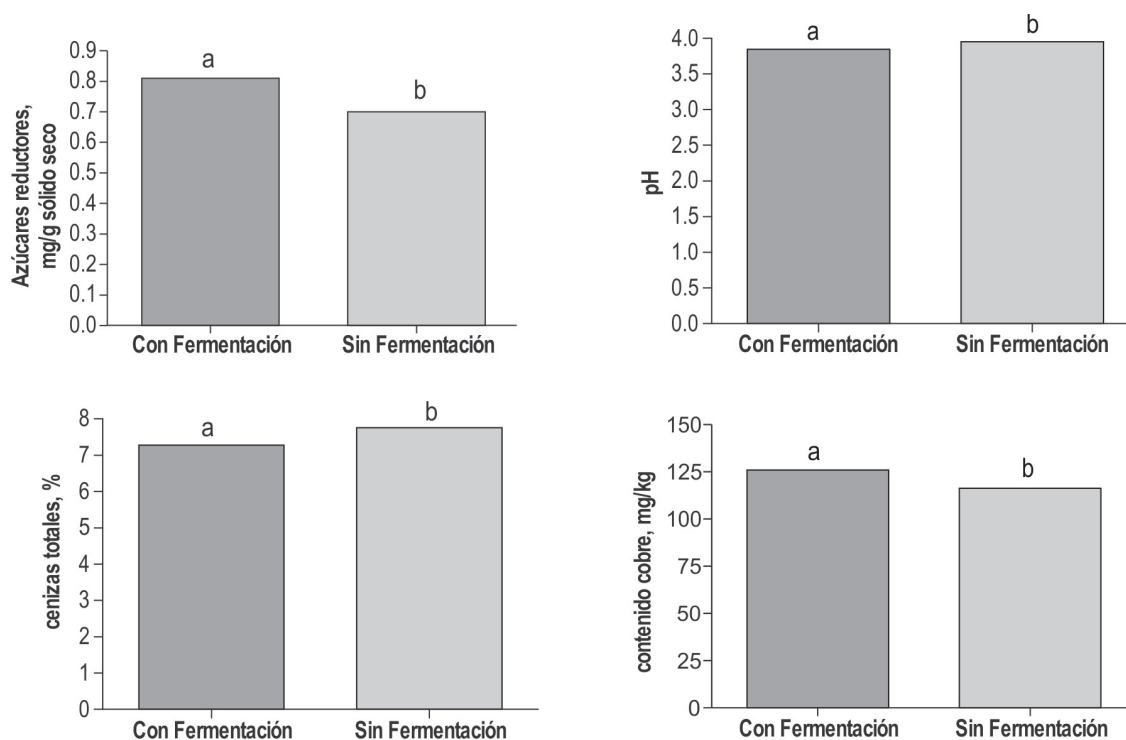
Las diferencias ($P\leq 0.05$) encontradas en CT y Cu, en el ensilaje, con y sin fermentación previa (7.28 y 7.76% de CT y 116.35 y 126.03 mg/kg de Cu), solo pueden atribuirse en este trabajo a inconsistencias en el muestreo del material ensilado debidas a las características físicas de la porcinaza y de la CAIM, por la mayor humedad y untuosidad de aquella; estas diferencias, por tanto, pueden considerarse irrelevantes, debido a que lo esperado sería un incremento proporcional en CT

Tabla 3. Comportamiento de las variables dependientes de acuerdo con el factor fermentación previa (FP) en ensilaje de CAIM

	AR (mg/g SS)	T°	pH	MS (%)	NT (%)	PT (%)	GT (%)	FB (%)	CT (%)
Sin fermentación	0.69 ^b	18.93 ^a	3.95 ^{a*}	32.83 ^a	1.19 ^a	7.45 ^a	2.78 ^a	30.56 ^a	7.76 ^a
Con fermentación	0.81 ^a	19.00 ^a	3.85 ^b	33.20 ^a	1.19 ^a	7.45 ^a	2.63 ^a	29.36 ^a	7.28 ^b

	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Sin fermentación	0.39 ^a	0.44 ^a	0.16 ^a	0.33 ^a	0.07 ^a	728.86 ^a	126.03 ^a	84.45 ^a	168.44 ^a
Con fermentación	0.44 ^a	0.40 ^a	0.16 ^a	0.36 ^a	0.07 ^a	700.67 ^a	116.35 ^b	81.61 ^a	167.33 ^a

* Promedios identificados con la misma letra fueron iguales en la prueba de Tukey (P>0.05)



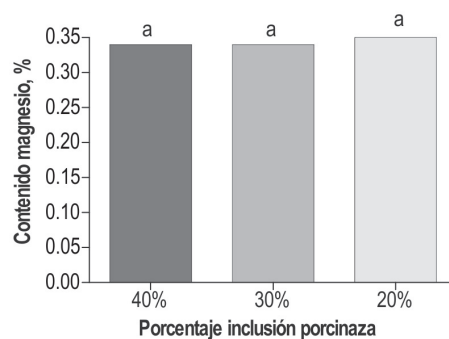
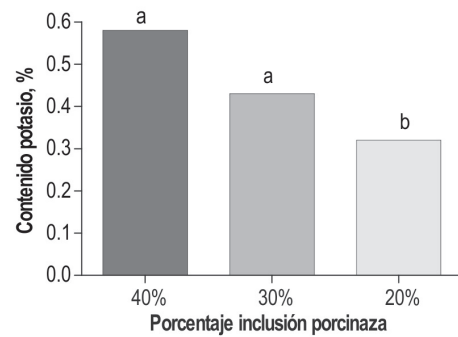
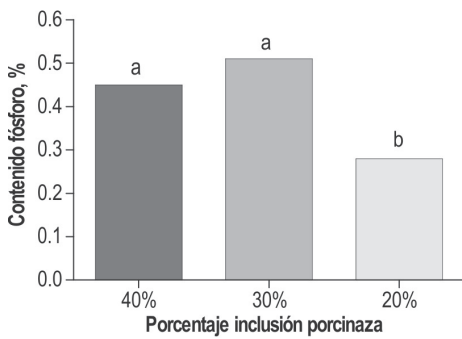
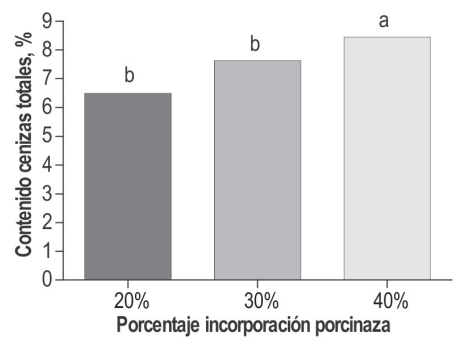
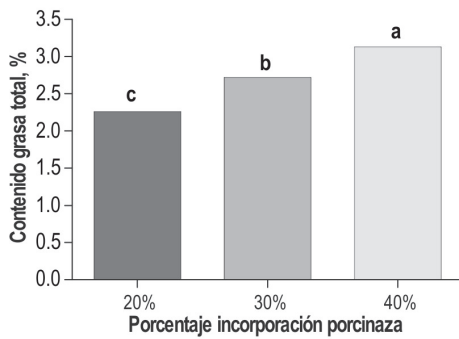
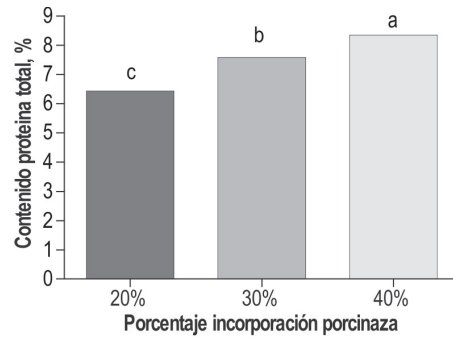
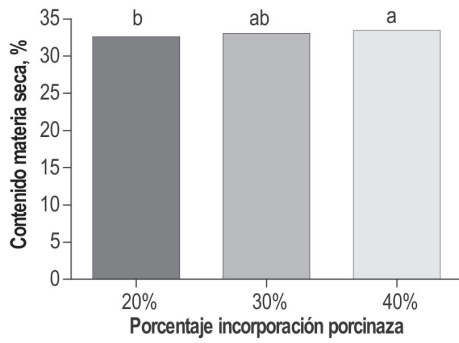
* Promedios identificados con letra iguales fueron iguales en la prueba de Tukey (P >0.05)

Figura 1. Promedios de las variables dependientes afectadas significativamente (P≤0.05) por el TF en ensilaje de CAIM.

y algunos minerales, en razón de la pérdida de materia representada en CO₂. Sin embargo, es necesario resaltar que los valores de CT y de la mayoría de los minerales, en general, superan a los reportados para la caña de azúcar (Zapata, 2000; Albarracín *et al.*, 2008).

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas (P>0.05) para MS, PT, FB y GT. Los valores de MS

con y sin FP (33.20 y 32.83%) fueron superiores a los valores de MS reportados para la caña (26.2 a 28.7%) (Zapata, 2000; Albarracín *et al.*, 2008), y para ensilaje de caña (30%) (León y López, 2009); estas cifras señalan la importancia de la porcinoza en el ensilaje. La PT (7.45%) y la GT (2.63% y 2.78%, con y sin FP, respectivamente) encontradas, evidenciaron un aporte sustantivo en estos nutrientes debido a la incorporación de la



* Promedios identificados con letra iguales fueron iguales en la prueba de Tukey ($P > 0.05$)

Figura 2. Comportamiento de las variables dependientes afectadas significativamente ($P \leq 0.05$) por el nivel de incorporación de porcinaza en ensilaje de CAIM.

Tabla 4. Comportamiento de las variables dependientes de acuerdo con el factor nivel de incorporación de porcinaza (IP) en ensilaje de CAIM.

PI	pH	T°	AR (mg/g SS)	NT (%)	PT (%)	MS (%)	FB (%)	GT (%)	CT (%)
20%	3.85 ^{a*}	18.96 ^a	0.76 ^a	1.03 ^c	6.43 ^c	32.59 ^b	30.86 ^a	2.26 ^c	6.49 ^b
30%	3.91 ^a	18.98 ^a	0.76 ^a	1.21 ^b	7.58 ^b	33.03 ^{ab}	29.87 ^a	2.72 ^b	7.63 ^b
40%	3.94 ^a	18.96 ^a	0.76 ^a	1.33 ^a	8.34 ^a	33.44 ^a	29.16 ^a	3.13 ^a	8.44 ^a

PI	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
20%	0.28 ^b	0.32 ^b	0.13 ^b	0.35 ^a	0.06 ^b	549.20 ^c	87.89 ^c	62.35 ^c	123.08 ^c
30%	0.51 ^a	0.43 ^a	0.17 ^b	0.34 ^a	0.07 ^b	730.58 ^b	124.34 ^b	86.91 ^b	185.79 ^b
40%	0.45 ^a	0.58 ^a	0.19 ^a	0.34 ^a	0.08 ^a	864.51 ^a	151.33 ^a	99.83 ^a	194.78 ^a

* Promedios identificados con la misma letra fueron iguales en la prueba de Tukey (P>0.05)

porcinaza, puesto que la caña de azúcar en el estado fisiológico utilizado en este trabajo, posee entre 2 y 5.43% de PT, y 1.91% de GT (Zapata, 2000; Albarracín *et al.*, 2008), valores inferiores a los encontrados en el presente trabajo. La FB con y sin fermentación (30.56% y 29.36%) estuvo levemente por encima del 27.9% reportado para la caña (Albarracín *et al.*, 2008).

En razón de lo anterior es posible afirmar que es conveniente la FP de un ensilaje como el evaluado en el presente trabajo.

También se determinó (tabla 2) que el porcentaje de IP afectó de manera altamente significativa ($P \leq 0.01$) el contenido de PT, GT y CT; de manera significativa MS ($P \leq 0.05$); y de manera por lo menos significativa ($P \leq 0.05$) el contenido de los minerales estudiados, con la excepción del Mg. El contenido de PT en el ensilaje se incrementó ($P \leq 0.05$) de 6.43% a 7.57% y a 8.34% con 20, 30 y 40% de porcinaza, respectivamente (Fig. 2). Del mismo modo se registró aumento ($P \leq 0.05$) de 2.26 a 3.13% en GT y de 6.49 a 8.44% en CT (Tabla 4 y Figura 2). Resultados similares fueron encontrados por Campabadal (2003), Barrón *et al.* (2000), Berger *et al.* (1981) y Oliviera *et al.* (1997), quienes reportan que a medida que se incrementa la proporción de porcinaza en el ensilaje (0 a 30%), aumenta de manera significativa ($P < 0.05$) la PT (8.25 a 10.65%), la GT (2.65 a 8.03%) y la CT (10.17 a 16.69%), mientras que la fibra total disminuye (30.4 a 21.9); estos mismos autores atribuyen estos cambios a los niveles de nitrógeno, grasa y minerales aportados por la porcinaza.

Para los minerales evaluados se aprecia claramente en la tabla 3 que a medida que aumenta la IP mejora de manera significativa ($P \leq 0.05$) el nivel de cada mineral, las excepciones a lo anterior fueron el P, que registró un valor para 40% de porcinaza (0.45%) inferior a 30% (0.51%), y el Mg que no registró diferencias entre los tres niveles de porcinaza (0.34 – 0.35%).

Por el comportamiento evidenciado en las variables MS, PT, GT, CT y la mayoría de los minerales evaluados (P, K, Ca, Na, Fe, Cu, Mn y Zn) es posible afirmar que la incorporación de porcinaza a ensilajes de CAIM mejora la calidad nutricional de estos, y que el mejor PI en este trabajo es 40%, quedando abierta la posibilidad para indagar en el futuro sobre la incorporación de niveles superiores.

En la tabla 5 y en la figura 3 aparecen los valores promedio de todas las variables dependientes consideradas en este estudio y la representación gráfica del comportamiento de pH, AR, MS, GT, CT y FB, de acuerdo con los diferentes niveles del factor tiempo de fermentación. El pH registrado en la mezcla de porcinaza y CAIM, antes de iniciar la fermentación fue de 5.8. Es evidente que por efecto de la fermentación el pH descendió drásticamente en los primeros tres días del proceso, a un valor de 3.99, de manera muy similar a lo reportado en estudios previos (Berger *et al.*, 1981) con materiales similares, en los cuales se encontraron disminuciones de 6.3 a 4.2 en las primeras 24 horas de fermentación. Entre el tercero y el sexto día se acentuó el descenso de pH (de 3.99 a 3.78), se mantuvo relativamente estable hasta el día 21 (3.9), y se elevó

Tabla 5. Comportamiento de las variables dependientes de acuerdo con el TF en ensilaje de CAIM.

	Días de fermentación							
	3	6	9	12	15	18	21	50
pH	3.99 ^{ab*}	3.78 ^b	3.92 ^{ab}	3.85 ^{ab}	3.82 ^{ab}	3.86 ^{ab}	3.9 ^{ab}	4.09 ^a
T°	20.78 ^a	20.39 ^{ab}	18.17 ^c	18.33 ^{bc}	18.00 ^c	19.33 ^{abc}	18.67 ^{abc}	18.06 ^c
AR	0.88 ^a	0.79 ^a	0.81 ^a	0.81 ^a	0.79 ^a	0.76 ^a	0.76 ^a	0.05 ^b
MS	33.66 ^a	33.49 ^{ab}	33.02 ^{ab}	32.62 ^{ab}	32.88 ^{ab}	33.24 ^{ab}	33.27 ^{ab}	31.97 ^b
NT	1.32 ^a	1.09 ^a	1.23 ^a	1.15 ^a	1.24 ^a	1.24 ^a	1.15 ^a	1.10 ^a
PT	8.25 ^a	6.83 ^a	7.70 ^a	7.21 ^a	7.78 ^a	7.78 ^a	7.17 ^a	6.85 ^a
GT	2.34 ^b	2.72 ^{ab}	2.69 ^{ab}	2.61 ^{ab}	2.76 ^{ab}	2.74 ^{ab}	2.83 ^{ab}	2.94 ^a
FB	36.73 ^a	28.53 ^b	28.82 ^b	29.03 ^b	30.61 ^{ab}	29.47 ^b	27.49 ^b	28.99 ^b
CT	8.45 ^a	7.69 ^{ab}	7.60 ^{ab}	6.91 ^b	7.35 ^{ab}	7.35 ^{ab}	7.25 ^{ab}	7.55 ^{ab}
P	0.51 ^a	0.33 ^a	0.37 ^a	0.32 ^a	0.54 ^a	0.27 ^a	0.53 ^a	0.43 ^a
K	0.59 ^a	0.38 ^b	0.32 ^b	0.32 ^b	0.39 ^b	0.38 ^b	0.40 ^b	0.58 ^a
Mg	0.32 ^{ab}	0.26 ^{ab}	0.41 ^a	0.38 ^{ab}	0.42 ^a	0.35 ^{ab}	0.40 ^{ab}	0.23 ^b
Na	0.071 ^{abc}	0.058 ^c	0.079 ^{ab}	0.078 ^{abc}	0.080 ^a	0.061 ^{abc}	0.069 ^{abc}	0.060 ^{bc}
Ca	0.20 ^a	0.16 ^a	0.16 ^a	0.15 ^a	0.18 ^a	0.16 ^a	0.16 ^a	0.16 ^a
Fe	778.1 ^a	664.0 ^a	669.9 ^a	638.4 ^a	781.3 ^a	707.6 ^a	723.2 ^a	745.6 ^a
Cu	131.5 ^a	110.5 ^a	114.5 ^a	113.1 ^a	130.6 ^a	121.5 ^a	124.5 ^a	123.3 ^a
Mn	91.6 ^a	74.3 ^a	77.6 ^a	79.2 ^a	93.0 ^a	79.8 ^a	82.5 ^a	86.2 ^a
Zn	180.0 ^a	151.5 ^a	153.3 ^a	156.8 ^a	172.8 ^a	158.3 ^a	205.3 ^a	165.1 ^a

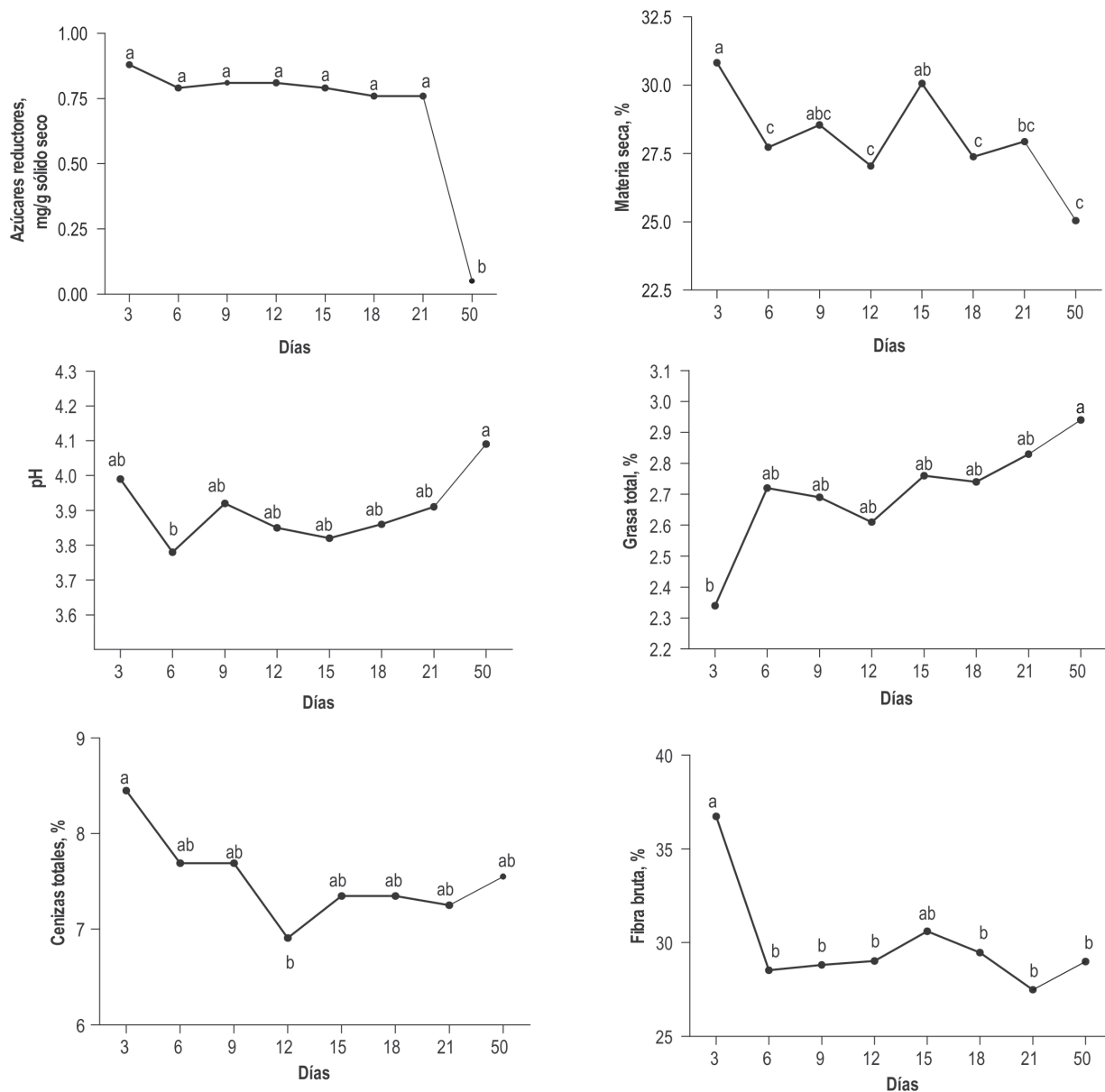
* Promedios identificados con letra iguales fueron iguales en la prueba de Tukey (P > 0.05)

levemente entre el día 21 y el día 50 de fermentación (4.09) (ver figura 3). Estas cifras muestran claramente que la mezcla ensilada alcanzó el pH indicado (Van Soest, 1994) para un ensilaje desde el tercer día del proceso, y se estabilizó en niveles adecuados hasta el día 50 del estudio. En concordancia con Elías y Herrera (2010) se asume que los productos de la fermentación láctica de los azúcares son los responsables de la disminución y la estabilización del pH antes mencionados. Esta dinámica concuerda con lo planteado por Campabadal (2003) y Elías y Herrera (2010), quienes establecieron que tras aproximadamente tres días de fermentación, el aumento de los lactobacilos y la concentración de ácido láctico coinciden con un descenso del pH por debajo de 4.5.

La mezcla de porcina y CAIM evaluada en este trabajo registro un valor promedio de 34.06% de MS, el día cero. El contenido de AR y de MS se redujo levemente (P > 0.05) entre los días 3 y 21 del proceso (de 0.88 a 0.76 mg de AR/g de SS y de 33.66 a 33.27% de MS, respectivamente), y disminuyó de manera

significativa (P ≤ 0.05) (a 0.05 mg de AR/g de SS y a 31.97% de MS) entre el 21 y el 50, sin embargo es prudente considerar que el cambio en los azúcares reductores indica la transformación de azúcares en ácido láctico por vía bacteriana, benéfico desde todo punto de vista para la nutrición de los animales, dado que representa una ruta directa hacia el ciclo de Krebs (Van Soest, 1994). En cuanto a la GT, la tendencia fue contraria, debido a que esta variables se elevo de forma significativa (P ≤ 0.05) entre el día 3 y el 50 de fermentación (de 2.34 a 2.94%). Sin embargo, ambas variables permanecieron en un rango considerado normal (Barrón *et al.*, 2000; Berger *et al.*, 1981 y Oliviera *et al.*, 1997). El contenido de CT tendió a disminuir entre el día 3 y el día 6 de forma significativa (P ≤ 0.05) (8.45 a 7.69%), y a mantenerse relativamente constante a partir de allí.

Por los valores encontrados en los perfiles, de acuerdo con el TF, para las variables pH, AR, MS, GT, CT y FB es evidente que la mezcla ensilada presenta características nutricionales propias para la alimentación de



* Promedios identificados con letra iguales fueron iguales en la prueba de Tukey ($P > 0.05$)

Figura 3. Perfil de AR, MS, pH, GT, CT y FB de acuerdo con el TF en ensilaje de CAIM.

rumiantes desde el tercer día de fermentación; sin embargo la información relativa a la apariencia y olor del material, indican que solo hasta el día 15 adquiere aroma láctico y apariencia aceptable como ensilaje. Además, es fundamental confrontar los resultados de este estudio con evaluaciones complementarias sobre presencia de parásitos y bacterias potencialmente patógenos y sobre digestibilidad comportamiento de animales suplementados con el ensilaje.

Conclusiones

Los resultados registrados y analizados en este estudio permitieron allegar las siguientes conclusiones:

Los valores de MS con y sin FP (33.20 y 32.83%), la PT (7.45%) y la GT (2.63% y 2.78%, con y sin FP, respectivamente) fueron superiores a los valores reportados para caña de azúcar en el estado fisiológico utilizado en este trabajo, y evidencian la ventaja de someter el mate-

rial a fermentación previa, y un aporte sustantivo en estos nutrientes debido a la incorporación de la porcinaza.

Por el comportamiento evidenciado en las variables MS, PT, GT, CT y la mayoría de los minerales evaluados (P, K, Ca, Na, Fe, Cu, Mn y Zn) es posible afirmar que la incorporación de porcinaza a ensilajes de CAIM mejora la calidad nutricional de estos, y que el mejor PI en este trabajo es 40%, quedando abierta la posibilidad para indagar en el futuro sobre la incorporación de niveles superiores.

Por los valores encontrados en los perfiles, de acuerdo con el TF, para las variables pH, AR, MS, GT, CT y FB es evidente que la mezcla ensilada presenta características nutricionales propias para la alimentación de rumiantes desde el tercer día de fermentación; sin embargo la información relativa a la apariencia y olor del material, indican que solo hasta el día 15 adquiere aroma láctico y apariencia aceptable como ensilaje. Además, es fundamental confrontar los resultados de este estudio con evaluaciones complementarias sobre presencia de parásitos y bacterias potencialmente patógenos y sobre digestibilidad comportamiento de animales suplementados con el ensilaje.

En síntesis, a partir de este estudio es posible concluir que la adición de porcinaza fresca al ensilaje de CAIM mejora los principales indicadores de calidad, con un comportamiento sobresaliente de la mezcla con 40% de porcinaza, sometida a fermentación previa, a partir del día 15 de fermentación.

Agradecimientos

Agradecimientos a la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas por los recursos asignados al primer autor para la realización de sus estudios Doctorales (Código 0663010) y a la Asociación Colombiana de Porcicultores, por el apoyo económico brindado para la realización de esta investigación.

Referencias

Albarracín LC, Sánchez L, García G. Caña de azúcar ensilada. Una alternativa de alimentación para ganado bovino en confinamiento. [Artículos científicos] Bogotá 2008 [consultado el 15 de septiembre de 2010]; disponible en: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/oferta/CAADEAZCAR.pdf>.

AOAC, Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C., U.S.A. 1995.

Arias FT. Efectos de los niveles de vitafert y melaza en la pollinaza fermentada aeróbica [Tesis de Maestría]. Cárdenas-México: Colegio de postgraduado - Campus Tabasco; 2010. 53 p.

ASOCAÑA. Informe Trimestral de Mercados - 2010 III. 2010 [consultado el 10 de marzo de 2011]; disponible en: <http://www.asocana.org/documentos>.

Asociación Colombiana de Porcicultores. Informe del sector porcícola 2010. Evolución del sector porcícola colombiano. Porcicultura colombiana. 2011; 150:10-21.

Barrón A, Rosemberg M, Mendoza E. Utilización de porcinaza en la elaboración de ensilado de pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv. Mott). Anales científicos [serial en la Internet]. 2000; XLIV.

Berger JCA, Fontenot JP, Kornegay ET, Webb JK. Fermentation Characteristics of swine waste ensiled with ground hay or corn grain. J Anim Sci, 1981; 52(6):1388-1403.

Campabadal C. El valor nutritivo de la porcinaza y su uso en la alimentación del ganado de carne. Memorias 2^{do} seminario internacional de porcicultura y medio ambiente. Asociación Colombiana de Porcicultores. 2003. p. 23-42

Elías A, Herrera FR. Producción de alimento para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos con el empleo de Microorganismos Eficientes Benéficos Activados (MEBA). Vitafert. La Habana, Cuba. 2010.

García Y, Ortiz A, Lon Wo E. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. 2007; Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba.

Gerig N, Rodríguez H, Combella J, Gabaldón L. Influencia del nivel de cama de pollo en la ración sobre algunas características de la digestión ruminal y la ganancia de peso de toros en ceba. Zootecnia Trop, 2000; 18(3):323-335.

Instituto Colombiano Agropecuario, (ICA). Reglamentación de las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para el consumo humano. Resolución No 2640; Sect. 19. 2007.

Larrahondo JE. Calidad de la caña de azúcar. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Eds. Cassalet, C; Torres, JS e Isaacs, CH. Cenicaña. 1995. p 337-354. <http://www.cenicana.org>.

León VD y López VM. Comparación del ensilaje de caña de azúcar y el ensilaje de maíz mezclado con *Mucuna pruriens* como forraje para vaquillas de reemplazo. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamorano, Honduras. Diciembre 2009.

Martínez-Gamba R, Pradal-Roa P, Castrejón FP, Herradora M, Galván E, Mercado C. Persistence of *Escherichia coli*, *Salmonella choleraesuis*, Aujeszky's Disease virus and Blue Eye Disease virus in ensilages based on the solid fraction of pig faeces. J Appl Microbiol, 2001; 91:750-758.

Miller GL. Use of DNS acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem, 1959; 31:426-428

Ministerio del medio ambiente, (Minambiente). Decreto 948/1995 Reglamento de Protección y Control del Aire. 1995.

Mitchell DA, Berovic M, Krieger N. Overview of solid state bioprocessing. Biotechnology annual Review. Elsevier Science. Anim Feed Sci Technol, 2002; 8:183-200.



- Morais MG, Tomich TR, Amorin JRP, Gonçalves LC. Consumo voluntário e digestibilidade da silagem de milho associada ao esterco de poedeiras. *Arq Bras Med Vet Zootec.* 1999; 51:115-120.
- Oliviera CM, Lopez J, Soares A, Fonseca de Freitas R. Determinación nutritiva de desechos de cerdos, utilizando cerdos en crecimiento. *Rev Bras Zootec.* 1997; 26(2):332-336.
- Padilla EC, Castellanos AF, Cantón JG, Moguel YB. Impacto del uso de niveles elevados de excretas animales en la alimentación de ovinos. *Livestock Research for Rural Development.* 2000; 12(1).
- Peláez A, Meneses M, Aranda EA, Megías MD, Martínez A, Barcena R, et al. Mejoramiento de la calidad del ensilado de caña de azúcar integral mediante la incorporación de fermentos sólidos de *pleurotus sapidus*. *Memorias XII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.* 2007.
- Ramírez G, Martínez R, Herradora M, Castrejón F, Galván E. Isolation of *Salmonella* spp. from liquid and solid excreta prior to and following ensilage in ten swine farms localited in central México. *Bioresource Technology,* 2005; 96:587-595.
- R-project. Paquete estadístico. 2.12.2. ed 2011. p. A language and environment for statistical computing, R Fundation for statistical computing.
- Sánchez OJ, Cardona CA. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology,* 2008; 99: 5270-5295.
- Serrano E, Castrejón F, Herradora MA, Ramírez AH, Angeles-Campos S, Buntinx SE. Fungal survival in ensiled swine faeces. *Bioresource Technology,* 2008; 99: 3850-3854.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP). Descripción de la cadena agroalimentaria de caña de azúcar. México: Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. SAGARPA. 2008. p. 13.
- Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Cornell University Press. 1994. 476 p.
- Villamil CM, Duque CO, Caicedo LA. Impacto ambiental de estiércol y algunas alternativas de manejo. En: *Sistemas de tratamiento para los residuos de la industria porcícola*, editor. Bogotá, D.C.: Asociación colombiana de porcíultores-Universidad Nacional de Colombia-Corpoica. 2000. p. 8-9.
- Zapata A. Utilización de la caña de azúcar y sus derivados en la alimentación porcina. Bogotá. Colombia: CIPAV - Asociación Colombiana de Porcíultores; 2000.

