

Consumo y digestibilidad de gramíneas tropicales conservadas y el efecto de la suplementación con residuos fermentados de pescadería¹

Abner A. Rodríguez-Carías² y Félix J. León-Álamo³

J. Agric. Univ. P.R. 90(1-2):57-73 (2006)

RESUMEN

Se llevaron a cabo tres ensayos con carneros adultos con el objetivo de evaluar el consumo voluntario y digestibilidad in vivo de nutrientes, materia seca (MS), proteína bruta (PB) y fibra detergente neutro (FDN) de heno de gramíneas tropicales naturalizadas (HGTN) y ensilaje de sorgo (ES) con o sin suplementación de residuos fermentados de la producción de filete de tilapia (RFPT) y lodos fermentados de la industria atunera (LFIA). En el primer ensayo metabólico se compararon dietas de los dos forrajes sin suplementación. Cuatro carneros criollos adultos se distribuyeron a los tratamientos según un diseño completamente aleatorizado (DCA). Se observó un mayor consumo voluntario ($P < 0.05$) por parte de los animales alimentados con HGTN. La digestibilidad aparente también fue mayor para HGTN que para ES, pero estas diferencias no alcanzaron significación estadísticas. En el segundo y tercer ensayo metabólico se evaluó el efecto de la adición de RFPT y LFIA, respectivamente, como suplementos a dietas basadas de heno de GTN y ES. El RFPT y LFIA se aplicaron a niveles de 30% del consumo de MS esperado a base del peso vivo. En ambos experimentos, se utilizaron ocho carneros adultos distribuidos según un DCA. Al añadir RFPT y LFIA a la dieta de los carneros aumentó ($P < 0.05$) el consumo voluntario de MS y PB en relación al consumo obtenido con el forraje solo, pero se alcanzaron mayores consumos de MS ($P < 0.05$) con HGTN que con ES. En las dietas basadas en ES la suplementación con ambos residuos fermentados de pescadería tendió a aumentar la digestibilidad aparente de la MS, PB y FDN. En las dietas basadas en HGTN, ambos residuos aumentaron la digestibilidad aparente de la PB, mientras el LFIA aumentó la digestibilidad aparente de la MS. El único efecto negativo observado en esta dieta fue la disminución en la digestibilidad aparente de FDN cuando se suplementó con LFIA.

Palabras clave: nutrición, gramíneas tropicales, suplementación, residuos orgánicos

¹Manuscrito sometido a la junta editorial el 29 de julio de 2004.

²Catedrático, Departamento de Industria Pecuaria, Universidad de Puerto Rico-Mayagüez, P.O. Box 9030, Mayagüez, PR 00681.

³Ex Estudiante graduado, Departamento de Industria Pecuaria.

ABSTRACT

Forage intake and nutrient digestibility of tropical grasses with or without supplementation of the two fermented organic wastes

Three experiments were conducted with adult rams to determine the intake and *in vivo* digestibility of the dry matter (DM), crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) of native tropical grass hay (NTGH) and sorghum silage (SS) with or without supplementation of fermented wastes from a tilapia fish processing plant (FWTP) and fermented sludge from a tuna processing plant (FSTP). In the first metabolic trial, the two forages were compared without supplementation. Four adult native rams were assigned to treatments in a completely randomized design (CRD). Higher forage intake ($P < 0.05$) was observed in rams fed with NTGH than with SS. Apparent nutrient digestibility was also higher for NTGH than for SS, but these differences were not statistically significant. In the second and third metabolic trials, the effect of supplementation with FWTP and FSTP, respectively, at levels of 30% of expected DM consumption based on live weight, to basal diets of NTGH and SS, was evaluated. In both experiments, eight native rams were assigned to treatments in a CRD. The rams supplemented with both fermented fish by-products had higher ($P < 0.05$) DM and CP intakes than animals without supplementation, but a greater response was observed in those consuming NTGH rather than SS. Both supplements also tended to improve DM, CP and NDF digestibility in SS diets, whereas with NTGH diets supplements improved CP digestibility, and FSTP increased DM digestibility. The only negative effect observed in this diet was the decrease in the digestibility of NDF when supplemented with FSTP.

Key words: nutrition, tropical grasses, supplementation, organic waste

INTRODUCCIÓN

El pastoreo de gramíneas tropicales constituye la mayor fuente alimenticia de vacunos para carne, ovinos y caprinos en Puerto Rico. Sin embargo, en épocas de lluvia excesiva o de sequía, la disponibilidad y calidad del forraje en sistemas de pastoreo se ve afectada. Actualmente la conservación de los forrajes en forma de heno en pacas cuadradas y de ensilaje en pacas cilíndricas son las alternativas más utilizadas por los productores pecuarios de la isla. Sin embargo, no existe mucha información actualizada sobre el aporte nutricional en términos del consumo voluntario y digestibilidad de los diversos nutrientes de heno y ensilaje de gramíneas tropicales conservadas. Por lo general, el valor nutritivo de las gramíneas tropicales, frescas o conservadas, no es capaz de sostener una alta producción animal. Esto sugiere que la suplementación proteica y energética es necesaria para satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales de alta productividad.

En Puerto Rico, la disposición de los residuos orgánicos de la industria acuícola (peces de descarte y residuos del procesado de filete) y la industria del enlatado de atún (lodos) resulta en problemas de contaminación ambiental y de costos adicionales para las operaciones, limitando así las posibilidades de expansión de estas empresas. Inves-

tigaciones recientes han demostrado que residuos de pescadería previamente sin utilidad pueden servir de suplementos proteicos en dietas para animales domésticos (Bello, 1997; Sanjuan, 2001). Ensilajes producidos por la fermentación anaeróbica de residuos de pescadería pueden ser utilizados como alternativa a la harina de pescado en situaciones donde no existe la posibilidad de procesar, manufactura o almacenar tales residuos (Oyedapo y Jauncey, 1993; Sanjuan, 2001).

Esta investigación se realizó con el objetivo de comparar el valor nutritivo, en términos de consumo voluntario y digestibilidad, de dos forrajes tropicales conservados como heno y ensilaje. Además, para evaluar los efectos de la suplementación con ensilaje de residuos fermentados de la producción de filete de tilapia y de lodos de la industria del enlatado de atún sobre el consumo voluntario y digestibilidad de los mismos forrajes tropicales conservados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron 80 pacas cuadradas (± 11 a 14 kg) de heno de gramíneas tropicales mezcladas (aproximadamente con 20% *Sorghum halepense*, 80% *Urochloa maxima*) y 15 pacas cilíndricas (± 350 kg) de ensilaje de sorgo forrajero (*Sorghum* sp.) de un productor comercial de forrajes en Lajas, Puerto Rico. Cada paca cilíndrica de ensilaje de sorgo (ES) se utilizó para la alimentación animal por un máximo de tres días para reducir la posibilidad de rechazo por deterioro aeróbico. Antes de ser ofrecidos a los animales, el heno y ensilaje se trituraron mediante el uso de un triturador comercial (Craftsman, 6.5 hp),⁴ procurando obtener pedazos de unos 7 a 8 cm de largo en promedio para así disminuir la ingestión selectiva de los forrajes durante los ensayos de consumo voluntario y digestibilidad. Se obtuvieron residuos del procesamiento de filete de tilapia (*Oreochromis niloticus*) (RPT) del Centro de Investigación y Desarrollo en Acuicultura Comercial en Puerto Rico (CIDACPR) de la UPR, ubicado en el municipio de Lajas. El residuo incluyó la cabeza, espinazo, cola y vísceras de los peces procesados. Los lodos de la industria atunera (LIA) se obtuvieron de la planta de tratamiento de aguas secundarias de las empresas Starkist Caribe Inc. y Bumble Bee Inc. localizadas en el malecón del puerto de Mayagüez. Los RPT frescos se congelaron por un período de 24 horas y después se picaron en pedazos con una sierra eléctrica comercial de carne, procurando dimensiones teóricas de 2.5 por 2.5 cm. Se mezcló el material picado con

⁴Las marcas registradas sólo se usan para proveer información específica y su uso no constituye garantía por parte de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico ni endoso sobre otros productos o equipo que no se mencionan.

20% de melaza de caña (P/V), obtenida de un vendedor comercial local (Gapso Inc., Mayagüez, P.R.). La mezcla pescada: melaza se fermentó anaeróbicamente por un término no menor de 21 días en 15 pailas plásticas con capacidad de 18.93 litros, equipadas con válvulas unidireccionales para la liberación de gas. Los silos se mantuvieron a temperatura ambiente (28 a 30° C) durante todo el transcurso de la fermentación, obteniéndose residuos fermentados (RFPT). Para la producción de LIA en estado fermentado (LFIA) se mezcló el residuo con 30% de melaza (v/v) y se mantuvo por un periodo no menor de 30 días a temperatura ambiente (28 a 30° C), bajo condiciones anaeróbicas en un tanque con capacidad para 208 L (55 galones) equipado con válvulas unidireccionales para la liberación de gas. Se realizaron tres ensayos metabólicos en la Finca Laboratorio Alzamora del Recinto Universitario de Mayagüez (RUM) utilizando carneros criollos como animales experimentales. Se utilizaron cuatro carneros en el primer ensayo metabólico y ocho en el segundo y tercero. Todos los carneros se adaptaron a las condiciones de manejo y a su alojamiento en jaulas individuales provistas de comederos y bebederos durante 10 días previos al inicio de cada ensayo. Cada animal se desparasitó (Ivomec) antes de comenzar el periodo experimental. Los animales se pesaron antes y después de cada ensayo metabólico para determinar la cantidad de alimento a ofrecer diariamente a base de su peso vivo. En los tres ensayos se evaluaron primero dietas basales de heno de gramíneas tropicales naturalizadas (HGTN) sin suplemento y ES sin suplemento y luego con los suplementos (HGTN+RFPT, HGTN+LFIA, ES+RFPT y ES+LFIA). En el primer ensayo metabólico se evaluó el consumo voluntario y la digestibilidad aparente del HGTN y ES utilizando dos carneros por forraje, distribuidos aleatoriamente. En el segundo y tercer ensayo metabólico se evaluaron como suplemento los RFPT y LFIA, respectivamente, en términos de su efecto sobre el consumo voluntario y digestibilidad en carneros consumiendo HGTN o ES como dieta basal. En cada caso ocho carneros se asignaron aleatoriamente a los dos forrajes conservados. Los residuos fermentados se ofrecieron en cantidades equivalentes al 30% del consumo total anticipado de materia seca (MS) calculado a base del 3% del peso. El RFPT se ofreció, separado del forraje, en envases plásticos de acuerdo a la cantidad correspondiente por animal. Los LFIA se filtraron diariamente con el fin de reducir la rancidez del residuo, previo a su ofrecimiento como aderezo vertido sobre el forraje conservado. El agua se ofreció ad limitum durante todo el periodo experimental. Se suministró la ración una vez diariamente a las 5:00 pm. Los carneros se sometieron a un periodo de adaptación a los tratamientos experimentales durante diez días y luego a un periodo de recolección de datos comparativos de seis días. Se cuantificó la cantidad

de forraje ofrecido y rechazado por cada animal diariamente para determinar su consumo voluntario. De las heces fecales producidas se conservó una alícuota (10% del total) para análisis químicos posteriores y determinación de la digestibilidad aparente.

Se analizaron muestras compuestas de alimento ofrecido y rechazado y de heces producidas por animal para determinar los contenidos de MS (65° C/48 h), proteína bruta (PB; AOAC, 1990) y fibra detergente neutro (FDN) (Van Soest et al., 1991). En cada ensayo metabólico se determinó el consumo voluntario y la digestibilidad aparente de las tres fracciones químicas aludidas. Además, en los alimentos ofrecidos se determinó el N-total, grasa bruta (AOAC, 1990) y los carbohidratos solubles en agua (CSA) (Dubois et al., 1956).

Los datos de cada uno de los tres ensayos metabólicos se analizaron individualmente mediante un diseño completamente aleatorizado (DCA), con dos repeticiones por tratamiento para el ensayo 1, y cuatro repeticiones por tratamiento en los ensayos 2 y 3, utilizando el modelo lineal general (SAS Inst., 1990). La comparación de las medias dentro cada ensayo se realizó mediante la prueba de Bonferroni.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química del material vegetativo utilizado en los tres ensayos metabólicos (Cuadro 1) coincide en general con valores publicados para GTN (Vicente-Chandler et al., 1983; Van Soest, 1994; Rodríguez et al., 1998a). El HGTN compuesto por aproximadamente 80% de yerba Johnson (*Sorghum halepense*) y 20% de yerba guinea (*Urochloa maxima*) presentó un alto contenido de MS, FDN y hemicelulosa y un bajo contenido de PB. La composición química, el pH y las características fermentativas del ES utilizado en este experimento coinciden con valores de experimentos locales previos (Rodríguez, 1996; Martínez et al., 1999). El ES tuvo un pH de 4.10, contenidos adecuados de MS, materia orgánica, CSA, PB y FDN; un contenido moderado de ácido láctico y poco de ácido acético. Además, el contenido de NH₃ y la proporción NH₃/N total (Cuadro 1) son indicativos de un ensilaje producto de una fermentación estable.

En la evaluación de los forrajes se observó un mayor ($P < 0.05$) consumo voluntario de MS por parte de los animales alimentados con HGTN que con ES (Cuadro 2). Las características nutritivas (composición química) de ambos forrajes no fueron iguales. El HGTN presentó mejores características nutritivas, por lo que se puede inferir que los animales seleccionaron el material que consumieron de acuerdo a preferencias de tipo sensorial (sabor, tacto y olor) y a la relación tallo/hoja en los forrajes ofrecidos. En estudios previos, para evaluar el consumo voluntario de forraje en novillos

CUADRO 1. *Composición química del ensilaje de sorgo (ES) y heno de gramíneas tropicales (HGTN) utilizados en los ensayos metabólicos.*

Componente	ES	HGTN
Composición química (%) ¹		
Humedad	65.05	12.32
Materia seca	34.95	87.68
Materia orgánica ²	90.76	90.83
Materia inorgánica ²	9.24	9.17
Proteína bruta ²	6.79	5.69
Fibra detergente neutro ²	64.14	68.20
Fibra detergente ácida ²	45.51	44.48
Hemicelulosa ³	18.64	23.88
Carbohidratos solubles en agua ⁴	0.11	ND ⁵
pH	4.10	ND
Productos de fermentación (%)		
Ácido láctico ²	0.40	ND
Ácido acético ²	0.11	ND
Ácido propiónico ²	0.01	ND
NH ₃ ²	0.02	ND
N-NH ₃ /N-total ²	1.56	ND

¹Medias de cuatro repeticiones.

²Base seca.

³Cálculo por diferencia FDN-FDA.

⁴Base húmeda.

⁵ND = no determinado.

alimentados con GTN ensiladas en pacas cilíndricas o henificadas, también se observó una mayor preferencia animal por el heno que por el ensilaje (León et al., 1999).

El menor consumo de ES que de HGTN observado en este experimento también pudo deberse al deterioro del forraje fermentado (cambios en olor y sabor) al ser expuesto a condiciones aeróbicas. Estudios previos han revelado que la disminución en el consumo voluntario del ensilaje están relacionadas con el deterioro debido a la exposición aeróbica (Ojeda, 1988). En este experimento se ofreció a los carneros ensilaje expuesto al aire por un máximo de tres días con el fin de disminuir la posibilidad de deterioro aeróbico. Sin embargo, el uso de forraje con cierto grado de deterioro pudo haber influenciado en el consumo voluntario de los animales.

El consumo voluntario diario de estos forrajes no se acercó al 3% del PV animal. Estas observaciones coinciden con otros estudios que indican bajo consumo de HGTN y ES. Se postula que esto es debido a sus características físico-químicas, por ejemplo, la estructura de la pared celular (FDN) y bajo contenido de N-total (Van Soest, 1994). Estas pro-

CUADRO 2. *Consumo voluntario y digestibilidad aparente de ensilaje de sorgo (ES) y heno de gramíneas tropicales naturalizadas (HGTN).*

Componente	ES	HGTN	EE ¹
Consumo voluntario (g/d) ²			
Alimento ofrecido			
Materia seca (MS)	769 b ³	963 a	36.33
Proteína bruta (PB)	26 b	38 a	2.76
Fibra detergente neutro (FDN)	246 b	456 a	29.49
Alimento rechazado			
Materia seca (MS)	386	294	33.73
Proteína cruda (PB)	12	14	1.75
Fibra detergente neutro (FDN)	121 b	213 a	22.92
Alimento consumido			
Materia seca (MS)	383 b	669 a	44.47
Proteína bruta (PB)	14 b	24 a	2.91
Fibra detergente neutro (FDN)	125 b	243 a	37.70
Materia seca/peso vivo (%)	1.49 b	2.08 a	0.13
Digestibilidad aparente (%)			
Materia seca (MS)	52.54	54.71	6.44
Proteína bruta (PB)	50.63	60.82	5.94
Fibra detergente neutro (FDN)	47.57	48.83	7.27

¹EE = error estándar.

²Datos en base seca.

³Medias con diferente letra en la misma fila difieren ($P < 0.05$).

riedades de los forrajes tropicales limitan su consumo debido a que ocasionan un proceso de rumia más extenso y un mayor tiempo de retención de la ingesta en el retículo-rumen con mayor distensión ruminal (Church, 1993). Según Ruiz y Vázquez (1983), los principales factores que limitan el consumo voluntario de dietas basadas en HGTN son su bajo contenido de PB y su componente de FDN (fibroso). Un bajo contenido de PB limita la actividad microbiana debido a la escasez de nitrógeno, mientras que el componente de FDN con un alto contenido de ligno-celulosa, alarga el tiempo de retención de la ingesta en el complejo retículo-rumen, causando que el animal se sienta lleno y limita su consumo voluntario.

El mayor consumo de HGTN versus ES observado en este experimento no se asoció a diferencias significativas en la digestibilidad aparente de la MS, PB y FDN. Solamente se observó una digestibilidad aparente numéricamente mayor de la PB del HGTN que de la PB del ES. De representar un efecto real, esta diferencia podría deberse a una mayor disponibilidad de nitrógeno a nivel ruminal en los carneros alimentados con HGTN, ocasionado por un mayor consumo del mismo nutriente (24 vs 14 g/d, respectivamente).

Los valores de digestibilidad aparente obtenidos en este estudio (Cuadro 2) coinciden con los de trabajos previos para evaluar GTN henificadas en carneros adultos y GTN ensilado en novillas en crecimiento (Rodríguez, 1998b; González, 2002). Los RFPT utilizados como suplemento proteico (Cuadro 3) en el segundo ensayo metabólico presentaron valores de pH, productos de fermentación y composición química similares a los observados previamente (Díaz, H. L., Departamento de Industria Pecuaria, comunicación personal). Los RFPT mostraron una acidez (pH = 4.49) y un contenido de humedad (50.62%) adecuados para este tipo de alimento fermentado. También presentaron altos contenidos de materia inorgánica, pero un contenido sólo moderado de PB y grasa bruta en comparación con la mayoría de las harinas de pescados. El ácido láctico fue el principal producto asociado con esta fermentación, siendo el valor de 2.20% indicativo de un ensilaje de buena calidad. Otras características favorables de los RFPT son el contenido moderado de ácido acético (0.27%), la baja relación N-NH₃/N-total (0.48%) y la ausencia de cantidades detectables de ácido butírico. Al utilizarse RFPT como suplemento proteico, ofrecido aparte del forraje se observó un consumo prácticamente completo del residuo fermentado, lo que es indicativo de características organolépticas adecuadas y excelente palatabilidad.

Al suplementar la dieta los carneros con RFPT se observó un mayor (P < 0.05) consumo voluntario de MS en animales alimentados con HGTN

CUADRO 3. *Composición química y productos de fermentación del ensilaje de residuos fermentados de la producción de filete de tilapia (RFPT).*

Componente	RFPT
Composición Química (%) ¹	
Humedad	50.62
Materia seca	49.38
Materia orgánica ²	82.33
Materia inorgánica ²	17.67
Proteína bruta ²	26.12
Grasa bruta ²	15.16
Carbohidratos solubles en agua ³	3.48
pH	4.49
Productos de fermentación (%)	
Ácido láctico ²	2.20
Ácido acético ²	0.27
Ácido propiónico ²	0.02
NH ₃ ²	0.02
N-NH ₃ /N-total ²	0.48

¹Medias de cuatro repeticiones.

²Base seca.

³Base húmeda.

que en aquellos alimentados con ES (Cuadro 4). Dado que el consumo de RFPT fue similar para ambos grupos de animales al no haber ningún rechazo de importancia del suplemento, las diferencias en consumo voluntario de los tratamientos ES/RFPT y HGTN/RFPT son atribuidas a diferencias en el consumo de forraje. En ausencia de suplementación, una preferencia por este segundo material vegetativo conservado por parte de los animales se observó también en el primer ensayo metabólico. El consumo voluntario diario por tratamiento en el segundo ensayo fue de 2.37 y 2.73% del PV del animal al consumir ES y HGTN como dieta basal, respectivamente. Estos valores de consumo voluntario, aunque menores que los esperados por un pequeño rumiante (3% PV), representan consumos más razonables y claramente mayores que los observados en carneros en dietas sin suplementos en el ensayo anterior.

La digestibilidad aparente de la MS y FDN fue similar ($P > 0.05$) para ambos tratamientos evaluados (Cuadro 4). Sin embargo, la digestibilidad aparente de la PB fue mayor ($P < 0.05$) en carneros

CUADRO 4. Consumo voluntario y digestibilidad aparente de ensilaje de sorgo (ES) y heno de gramíneas tropicales naturalizadas (HGTN) suplementados con residuos fermentados de la producción de filete de tilapia (RFPT).

Componente	Tratamiento (70:30)		
	ES/RFPT	HGTN/RFPT	EE ¹
Consumo voluntario (g/d) ²			
Alimento ofrecido			
Materia seca (MS)	928 b ³	1,163 a	12.32
Proteína bruta (PB)	99	106	3.27
Fibra detergente neutro (FDN)	319 b	382 a	15.46
Alimento rechazado			
Materia seca (MS)	217	261	22.45
Proteína bruta (PB)	27	34	1.11
Fibra detergente neutro (FDN)	141 b	190 a	5.03
Alimento consumido			
Materia seca (MS)	711 b	902 a	25.13
Proteína bruta (PB)	72	72	3.44
Fibra detergente neutro (FDN)	178	192	14.97
Materia seca/peso vivo (%)	2.37 b	2.73 a	0.08
Digestibilidad aparente (%)			
Materia seca (MS)	55.70	54.67	1.76
Proteína bruta (PB)	71.45 a	67.33 b	1.36
Fibra detergente neutro (FDN)	54.08	48.85	2.20

¹EE = error estándar.

²Datos en base seca.

³Medias con diferente letra en la misma fila difieren ($P < 0.05$).

alimentados con ES y RFPT que con HGTV y el mismo residuo fermentado. En estudios relacionados, Samuels et al. (1991) reportaron una mayor digestibilidad de la MS y materia orgánica en ovinos alimentados con una dieta basal de 50% heno y 50% concentrado (mezcla maíz y soya) que en dietas de ensilaje de pescado y heno (70:30), o ensilaje de camarón y heno (60:40). En cambio la digestibilidad aparente de la PB fue mayor en dietas suplementadas con ensilaje de pescado.

En este estudio el consumo de la PB fue igual para ambos tratamientos dietéticos evaluados (Cuadro 4), por lo que se puede inferir que las diferencias en digestibilidad aparente de dicha fracción son atribuibles al metabolismo de nitrógeno a nivel ruminal o la digestión proteica post-ruminal. En otros estudios la degradabilidad de nitrógeno al nivel ruminal aumentó significativamente al suplementar rumiantes con harina de pescado. Sin embargo, en los datos presentes, la digestibilidad de la PB de ambas dietas fue mayor de 65%, siendo éste el nivel mínimo señalado como característica de dietas de buena calidad (NRC, 1981). Es bien conocido que bajos niveles de nitrógeno a nivel ruminal pueden afectar la digestibilidad de los carbohidratos estructurales, reduciendo así la razón de pasaje de ingesta y el consumo voluntario (Van Soest, 1994). Combillas et al. (1993) señalaron que la calidad digestiva de los forrajes a nivel ruminal mejora con el uso de suplementos basados en carbohidratos y fuentes de nitrógeno no proteico (NNP); además, por su degradabilidad completa el NNP puede ser más eficiente que otras fuentes de proteína en situaciones de deficiencia de nitrógeno en el rumen. Estos estudios sugieren que el uso estratégico de suplementos nitrogenados en rumiantes alimentados con GTN de baja calidad puede aumentar el consumo voluntario del forraje. Los resultados presentes también indican que el suplementar con RFPT al 30% del consumo de MS esperado del animal (3% del PV) representa una alternativa para promover el consumo voluntario y aumentar la digestibilidad de dietas basadas en forrajes tropicales conservados como heno o ensilaje.

En el tercer experimento, los LFIA utilizados presentaron altos contenidos de humedad y materia inorgánica, y moderados contenidos de grasa bruta y PB (Cuadro 5). Entre las características fermentativas del LFIA se observó una acidez ($\text{pH} = 3.97$) adecuada para evitar la proliferación posterior de microorganismos no deseables causantes de una fermentación secundaria. El contenido de ácido láctico, principal producto de fermentación de los LFIA, fue de 3.82% en base seca, valor indicativo de una buena fermentación. Además, se observaron contenidos moderados de los ácidos acético y propiónico con valores de 0.78% y 0.37%, respectivamente, un bajo contenido de ácido butírico (0.13%) y muy baja proporción de $\text{N-NH}_3/\text{N}$ total (0.01%), lo que es característico de residuos fermentados en buen estado de preservación.

CUADRO 5. *Composición química y productos de fermentación de lodos fermentados de la industria atunera.*

Componente	LFIA
Composición química (%) ¹	
Humedad	72.46
Materia seca	27.54
Materia orgánica ²	83.64
Materia inorgánica ²	16.36
Proteína cruda	11.61
Grasa bruta ²	10.13
Carbohidratos solubles en agua ³	2.85
pH	3.97
Productos de fermentación (%)	
Ácido láctico ²	3.82
Ácido acético ²	0.78
Ácido propiónico ²	0.37
Ácido iso-butírico ²	0.02
Ácido butírico ²	0.13
NH ₃ ²	0.02
N-NH ₃ / N-total ²	0.01

¹Medias de cuatro repeticiones.

²Base seca.

³Base húmeda.

La composición química y características fermentativas de los LFIA utilizados en este ensayo discrepan con valores reportados previamente, que caracterizaron a los LFIA como más ricos en PB y grasa (27.34% y 38.26%, respectivamente; Sanjuan, 2001; Alvelo, 2001; Sánchez, 2003). Estos resultados variables en la composición química de LFIA pueden deberse al proceso de filtración a que se sometieron los residuos fermentados en este experimento para facilitar su mezcla con el forraje. Cabe destacar que se recurrió a este proceso debido al rechazo del lodo fermentado por los carneros experimentales al ofrecerlo solo y se optó por su aplicación en forma de aderezo.

El consumo voluntario de MS y PB fue mayor ($P < 0.05$) por los animales alimentados con HGTN y LFIA que con ES y el mismo residuo orgánico fermentado, pero el consumo de FDN (paredes celulares) fue menor ($P < 0.05$) (Cuadro 6). Puesto que los LFIA se ofrecieron como aderezo, no se cuantificó separadamente el consumo de los mismos pero se obtuvo la cantidad rechazada del tratamiento dietético. En todo caso, se puede inferir que las diferencias en consumo voluntario entre los dos tratamientos se debieron a características de los forrajes, tal como se observó en los ensayos anteriores, existiendo una preferencia por el HGTN sobre el ES.

CUADRO 6. *Consumo voluntario y digestibilidad aparente de ensilaje de sorgo (ES) y heno de gramíneas tropicales naturalizadas (HGTN) suplementados con lodos fermentados de la industria atunera.*

Componente	Tratamiento (70:30)		
	ES/LFIA	HGTN/LFIA	EE ¹
Consumo voluntario (g/d) ²			
Alimento ofrecido			
Materia seca (MS)	1,218 b	1,373 a	18.84
Proteína bruta (PB)	67 b	99 a	2.23
Fibra detergente neutro (FDN)	368 b	418 a	10.80
Alimento rechazado			
Materia seca (MS)	375 a	298 b	24.15
Proteína bruta (PB)	27	31	1.49
Fibra detergente neutro (FDN)	164 b	254 a	7.50
Alimento consumido			
Materia seca (MS)	843 b	1,075 a	26.06
Proteína bruta (PB)	40 b	68 a	2.13
Fibra detergente neutro (FDN)	204 a	164 b	12.56
Materia seca/peso vivo (%)	2.72 b	3.06 a	0.07
Digestibilidad de nutrientes (%) ¹			
Materia seca (MS)	65.14 a	60.64 b	1.47
Proteína bruta (PB)	58.70 b	68.73 a	1.71
Fibra detergente neutro (FDN)	54.53 a	38.53 b	2.26

¹EE = Error estándar.

²Datos en base seca.

³Medias con diferente letra en la misma fila difieren ($P < 0.05$).

Se observó un consumo voluntario diario de 2.72 y 3.06% del PV animal para las tratamientos de LFIA con ES y con HGTN, respectivamente. Ambos consumos voluntarios de MS superaron por amplio margen lo observado en animales consumiendo los forrajes conservados sin los suplementos (Cuadro 1).

La digestibilidad aparente de la MS y FDN fue mayor ($P < 0.05$) en los carneros alimentados con la dieta de ES/LFIA que en los alimentados con la de HGTN/LFIA, pero la digestibilidad aparente de la PB fue menor (Cuadro 6). Las respuestas en digestibilidad aparente de la MS, PB y FDN fueron variables, observándose un patrón de respuesta menos definida que en los carneros suplementados con RFPT (Cuadro 4). El ofrecer como aderezo el LFIA puede haber ocasionado una mayor selectividad durante el consumo como respuesta al cambio en las características organolépticas del forraje, favoreciendo así la digestibilidad aparente de la MS y las fracciones fibrosas, además de un mayor consumo de MS. No se tiene conocimiento de ningún otro estudio metabólico sobre el uso de LFIA como suplemento para rumiantes. En este

experimento no se observó ningún efecto adverso en la salud de los animales que consumieron LFIA como suplemento, detectándose una disminución en la digestibilidad aparente de FDN del HGTN como único resultado negativo. Es de amplio conocimiento que el uso de dietas con niveles de 3 a 8% de grasa resulta tóxico para las bacterias celulolíticas del rumen. El alto contenido graso del LFIA pudo haber sido la causa del efecto negativo en la digestibilidad aparente de FDN. Sin embargo, Alvelo (2001) incorporó LFIA a un sistema ruminal *in vitro* y observó que no afectó la degradabilidad de la MS de HGTN. Para resolver esta duda deben realizarse más estudios para determinar los efectos del LFIA sobre la actividad y función de los microorganismos y su uso potencial como fuente de proteína y energía en la alimentación de rumiantes.

Al comparar, para cada forraje, el efecto de la suplementación con los dos residuos fermentados de pescadería sobre el consumo y digestibilidad de nutrientes se observó que la suplementación del heno aumentó ($P < 0.05$) el consumo de MS sobre el de los carneros alimentados solo con el HGTN de la dieta basal, pero se observó un mayor consumo ($P < 0.05$) en animales suplementados con LFIA que con RFPT (Cuadro 7). El consumo de PB por los carneros fue similar con ambos residuos de pescadería, pero mayor ($P < 0.05$) que el de los animales a los que le ofrecieron HGTN sin suplemento. En cambio, las diferencias observadas en el consumo de FDN entre los tres tratamientos evaluados no resultaron significativas. Si bien, se observó un mayor consumo de FDN (fibra) con la dieta basal.

El mayor consumo voluntario se observó en carneros alimentados con HGTN como dieta basal y suplementados con LFIA; dicho consumo expresado en relación al PV (3.06%) llenó las expectativas. El tratamiento de HGTN y RFPT resultó en un consumo de MS (2.73%) algo inferior a lo esperado, mientras la alimentación con HGTN solo resultó en un consumo (2.08%) inadecuado para pequeños rumiantes, ya que se espera un valor más cercano a 3.0% ($P < 0.05$; Cuadro 7). El mayor consumo voluntario observado con el tratamiento heno/LFIA no se asoció a ningún aumento significativo en la digestibilidad aparente de la MS, en cambio se asoció a una menor digestibilidad de FDN comparado con los tratamientos HGTN/RFPT y HGTN solo.

De forma similar a lo observado con HGTN, al añadir al ES los suplementos de residuos fermentados de pescadería aumentó ($P < 0.05$) el consumo de MS (Cuadro 8). Se observó nuevamente un mayor consumo ($P < 0.05$) de MS en los carneros suplementados con LFIA que con RFPT. Por el contrario, el consumo de PB fue mayor ($P < 0.05$) con el tratamiento ES/RFPT que con el de ES/LFIA. La dieta de ES solo fue la de menor ($P < 0.05$) consumo de MS, PB y también de FDN, aunque

CUADRO 7. Consumo voluntario y digestibilidad aparente de heno de gramíneas tropicales naturalizadas (HGTN) suplementado con residuos fermentados de pescadería (LFIA).

Componente	Tratamiento (70:30)			
	HGTN	HGTN/RFPT	HGTN/LFIA	EE ¹
Consumo voluntario (g/d) ²				
Alimento ofrecido				
Materia seca (MS)	963 c	1,163 b	1,373 a	33.34
Proteína bruta (PB)	38 b	106 a	99 a	3.10
Fibra detergente neutro (FDN)	456 a	382 b	418 ab	20.18
Alimento rechazado				
Materia seca (MS)	294 a	261 a	298 a	33.22
Proteína bruta (PB)	14 b	34 a	31 a	1.80
Fibra detergente neutro (FDN)	213 ab	190 b	254 a	13.52
Alimento consumido				
Materia seca (MS)	669 c	902 b	1,075 a	53.64
Proteína bruta (PB)	24 b	72 a	68 a	3.17
Fibra detergente neutro (FDN)	243 a	192 a	164 a	26.70
Materia seca/peso vivo (%)	2.08 c	2.73 b	3.06 a	0.11
Digestibilidad de nutrientes (%) ¹				
Materia seca (MS)	54.71 a	54.67 a	60.64 a	3.29
Proteína bruta (PB)	60.82 a	67.33 a	68.73 a	2.79
Fibra detergente neutro (FDN)	48.83 a	48.85 a	38.53 b	4.10

¹EE = error estándar.

²Datos en base seca.

³Medias con diferente letra en la misma fila difieren ($P < 0.05$).

en este último caso la diferencia no fue significativa en comparación con ES/RFPT (Cuadro 8).

La relación consumo MS por PV (%) siguió el mismo patrón que el consumo absoluto de MS (Cuadro 8), siendo los valores más bajos que los obtenidos con el uso de HGTN como dieta basal (Cuadro 7). Dicho consumo en relación al peso vivo (Cuadro 8) fue mayor (2.72%, $P < 0.05$) para carneros consumiendo LFIA, seguido por los que consumieron con RFPT (2.37%). El consumo así expresado fue menor al esperado para las dietas basadas en ES. La digestibilidad aparente de la MS de estas dietas también se vio influenciada por la suplementación (Cuadro 8). Al suplementar con LFIA se obtuvo una mayor ($P < 0.05$) digestibilidad de la MS que la obtenida con RFPT o sin suplementos. El efecto de los tratamientos en la digestibilidad aparente de la PB presenta un patrón de respuesta diferente, donde la suplementación con RFPT resultó en una mayor digestibilidad ($P < 0.05$). No se observó ningún efecto significativo de la suplementación sobre la digestibilidad aparente de FDN, aunque numéricamente se favoreció con el uso de los dos productos fermentados

CUADRO 8. *Consumo voluntario y digestibilidad aparente de ensilaje de sorgo (ES) suplementado con residuos fermentados de pescadería (RFPT).*

Componente	Tratamiento (70:30)			
	ES	ES/LFIA	ES/RFPT	EE ¹
Consumo voluntario (g/d) ²				
Alimento ofrecido				
Materia seca (MS)	769 c	928 b	1,218 a	14.23
Proteína bruta (PB)	26 c	99 a	67 b	4.32
Fibra detergente neutro (FDN)	246 b	319 a	368 a	22.43
Alimento rechazado				
Materia seca (MS)	386 a	217 b	375 a	33.02
Proteína bruta (PB)	12 b	27 a	27 a	1.89
Fibra detergente neutro (FDN)	121 b	141 a	164 a	12.31
Alimento consumido				
Materia seca (MS)	383 c	711 b	843 a	35.72
Proteína bruta (PB)	14 c	72 a	40 b	3.93
Fibra detergente neutro (FDN)	125 b	178 ab	204 a	21.26
Materia seca/peso vivo (%)	1.49 a	2.37 b	2.72 a	0.12
Digestibilidad aparente (%)				
Materia seca (MS)	52.54 b	55.70 b	65.14 a	3.70
Proteína bruta (PB)	50.63 b	71.45 a	58.70 b	3.68
Fibra detergente neutro (FDN)	47.57 a	54.08 a	54.53 a	4.43

¹EE = error estándar.

²Datos en base seca.

³Medias con diferente letra en la misma fila difieren (P < 0.05).

(Cuadro 8). Contrario a la disminución en la digestibilidad aparente de FDN observada en los carneros alimentados con HGTV, al suplementar la dieta basal de ES con LFIA la digestibilidad aparente de esta fracción aumentó. El hecho de que los carneros alimentados con HGTV hayan acusado este efecto negativo al suplementar con LFIA fue sorprendente. Para esta disminución en la digestibilidad de FDN no se pudo precisar ninguna razón evidente y posiblemente sea sólo un efecto azaroso.

Al resumir los tres ensayos metabólicos realizados en ausencia de suplementos, se observó una mayor preferencia en el consumo voluntario por parte de los animales para el HGTV y menos aceptación del ES. También hubo diferencias en la digestibilidad aparente favorables al heno pero éstas no fueron significativas con el pequeño número de animales usados. La suplementación de los carneros consumiendo ambos forrajes con RFPT y LFIA incentivó el consumo voluntario de MS y PB, pero se alcanzaron mayores consumos de MS con HGTV que con ES. La suplementación con RFPT no aumentó significativamente la digestibilidad aparente de la MS, PB y FDN en carneros consumiendo HGTV ni de la MS y FDN de carneros alimentados con ES. En cambio, aumentó

considerablemente la digestibilidad aparente de la PB. La suplementación con LFIA mostró efectos positivos sobre la digestibilidad aparente de la MS, PB y FDN en los carneros consumiendo ES como dieta basal y sobre la digestibilidad aparente de la MS y PB en los animales consumiendo HGTN, pero tuvo un efecto negativo sobre la digestibilidad aparente de FDN de la dieta con HGTN.

El uso de RFPT y LFIA representa una alternativa para promover el consumo voluntario y, en algunos casos, aumentar la digestibilidad aparente en rumiantes consumiendo dietas basadas en forrajes tropicales conservados como HGTN y ES.

LITERATURA CITADA

- avelo-Rodríguez, S. L., 2001. Estrategias para mejorar las características fermentativas de los residuos de la industria atunera para uso potencial en dietas para rumiantes. MS Tesis. Universidad de Puerto Rico. RUM. 63 pp.
- AOAC., 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.
- Bello, R. A., 1997. Experiencias con ensilado de pescado en Venezuela. Cap. 1. pp. 1-14 *En: Tratamientos y Utilización de Residuos de Origen Animal, Pesquero y Alimenticio en la Alimentación Animal.* F. Vilda y M. Sánchez (eds). FAO, Cuba.
- Church, D. C., 1993. *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition.* Waveland Press Inc. Chicago, IL.
- Combillas, J., F. Priore, J. Peralta y O. Zavarce, 1993. Influence of the addition of fish meal to diets of roughage or roughage and concentrate on the consumption and live-weight gain of growing cattle. *Anim Feed Sci. Tech.* 42:319-331.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers y F. Smith, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350.
- González G., 2002. Efecto del método de almacenamiento sobre las características fermentativas, estabilidad aeróbica y valor nutritivo de gramíneas tropicales naturalizadas ensiladas en pacas cilíndricas. MS Tesis. Universidad de Puerto Rico. RUM. 68 pp.
- Kjos N. P., A. Skrede y M. Overland, 1999. Effects of dietary fish silage and fat on growth performance and sensory quality of growing-finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 79:139-147.
- León F. J., A. A. Rodríguez, C. Goitia, G. González y E. Riquelme, 1999. Características fermentativas y consumo voluntario de pasturas tropicales nativas ensiladas con alto contenido de materia seca en pacas cilíndricas. XLVI Reunión Anual del PCC-MCA, San Juan, PR. p. 205.
- Martínez, J. L., A. Rodríguez, F. Arias, R. Macchiavelli y E. O. Riquelme, 1999. Características fermentativas y estabilidad aeróbica de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) ensilado en Puerto Rico bajo varias dosis de inóculo comercial. *J. Agric. Univ. P.R.* 83(3-4):135-151.
- NRC: Nutrient Requirements of Goats, 1981. National Academy Press. Washington, D.C.
- Ojeda, F., 1988. Valor nutritivo de forrajes tropicales conservados como ensilajes. *Pastos y Forrajes. EEPF "Indio Hatuey"* 11:199-205.
- Oyedapo, F. y K. Jauncey, 1993. Chemical and nutritional quality of stored fermented fish (tilapia) silage. *Bioresource Technology* 0960-8524:207-210.
- Rodríguez A. A., 1996. Studies on the efficiency of a homofermentative lactic-acid producing bacterial inoculant and commercial cell wall degrading enzyme mixtures to

- enhance the fermentation characteristics and aerobic stability of forages ensiled in temperate and tropical environments. Ph.D. Dissertation. Michigan State University, East Lansing, MI.
- Rodríguez, A. A., E. Riquelme y P. F. Randel, 1998a. Inclusión de leguminosas forrajeras en dietas basadas en gramíneas tropicales. I. Composición química y degradación in vitro. *J. Agric. Univ. P.R.* 82(1-2):25-38.
- Rodríguez, A. A., E. Riquelme y P. F. Randel, 1998b. Inclusión de leguminosas forrajeras en dietas basadas en gramíneas tropicales. II. Consumo voluntario y digestibilidad aparente de nutrimentos. *J. Agric. Univ. P.R.* 82:39-49.
- Ruiz, R. y C. M. Vázquez, 1983. Consumo voluntario de pastos y forrajes tropicales. *En: Los pastos en Cuba. Tomo 2. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.*
- Samuels, W. A., J. P. Fontenot, V. G. Allen y M. D. A. Adazinge, 1991. Seafood processing wastes ensiled with straw: Utilization and intake by sheep. *J. Anim. Sci* 69:4983-4992.
- Sánchez, R, 2003. Utilización de lodo fermentado de la industria atunera como parte integral en dietas para cerdos en crecimiento y engorde. MS Tesis. Universidad de Puerto Rico. RUM.
- Sanjuan, A. E., 2001. Fermentación biológica del lodos de la industria atunera como fuente potencial de proteína para la nutrición de tilapia (*Oreochromis niloticus*). Ph.D. Disertación. Universidad de Puerto Rico. RUM. 113 pp.
- SAS Inst., 1990. SAS/STAT® User's Guide (Release 6.12). SAS Inst., Inc., Cary, N.C.
- Van Soest, P. J., 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2 ed. Comstock Publ. Assoc., Ithaca, NY. p. 112.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis, 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583.
- Vicente-Chandler, J., R. Caro-Costas, F. Abruña y S. Silva, 1983. Producción y utilización intensiva de las forrajeras en Puerto Rico. Estación Experimental Agrícola, UPR-RUM, Boletín 271.