

**Características fermentativas, consumo voluntario y digestibilidad de
nutrimentos de henilaje de Sorgo Forrajero (*Sorghum bicolor* (L.)
Moench.) y Sorgo-Sudan (Sudax) fermentado en pacas cilíndricas**

Por

Wandaliz Rodríguez Santana

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

Industria Pecuaria

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2010

Aprobado por:

Abner Rodríguez Carías, Ph.D.
Presidente del Comité Graduado

Fecha

John Fernández Van Cleve, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Paul Randel Følling, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

José R. Latorre, Ph. D.
Director Departamento Industria Pecuaria

Fecha

Marco Antonio Arocha, Ph.D
Representante de Escuela Graduada

Fecha

Resumen

Existe un gran interés por el posible uso del sorgo como henilaje, ya que esta forrajera tiene muchas características deseables tales como gran resistencia a las sequías, buen rendimiento, adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y composición química aceptable; y se ha visto como un posible sustituto a los ensilajes de maíz. Sin embargo, información acerca del potencial del sorgo como henilaje en pacas cilíndricas es limitada.

Los objetivos de este estudio fueron: determinar las características fermentativas del Sorgo Forrajero (SF; *Sorghum bicolor*) y Sudax (SX; híbrido de sorgo x sudan) conservado como henilaje en pacas cilíndricas; comparar el consumo voluntario y la digestibilidad in vivo de henilaje de las dos variedades y estudiar las características fermentativas en ambos sorgos conservados como ensilaje en microsilos de laboratorio. Para el primer objetivo se analizaron muestras tomadas de dos pacas cilíndricas de cada variedad de sorgo luego de cuatro períodos de fermentación (3, 7, 14 y 30 d), además del forraje inicial (d 0) para pH, concentración de ácidos orgánicos y la relación N-NH₃/N-total. Los datos se analizaron según el diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con arreglo factorial de 2 (variedades de sorgo; SX y SF) x 5 (días de fermentación) con 2 repeticiones por combinación. Para la determinación de consumo voluntario y digestibilidad de la MS, PB y FDN se utilizaron 8 ovinos criollos distribuidos aleatoriamente entre 8 corralitos y uno de los dos tratamientos dietéticos, en una prueba de alimentación que tuvo una duración de 15 d, distribuidos entre , 3d de adaptación a las facilidades físicas, 7d de adaptación a la dieta experimental y 5d de recolección de datos comparativos. Se les ofreció diariamente cada henilaje, procedente de dos pacas cilíndricas, a razón de 3% del PV a base seca y agua *ad libitum*. Se utilizó una bolsa especial recolectora de heces fecales ajustada a cada animal y se guardaron submuestras del 10% de la recolección total. Las muestras de henilaje ofrecido y rechazado y las heces se analizaron para contenidos de MS, PB y FDN. Los datos se sometieron a un análisis de varianza aplicable a medidas repetidas,

siendo éstas las de los días 1-5 de recolección de datos comparativos. Para la evaluación de las características fermentativas del ensilaje de sorgo obtenido de microsilos, se determinó el pH y la concentración de los productos de fermentación después de 0, 3, 7, 14 y 30 d de ensilamiento en muestras en duplicado, utilizando los mismos análisis químicos aplicados a las muestras de henilaje y el análisis estadístico correspondiente.

La composición química inicial destinado a henilaje de ambos sorgos (MS de 35 ó 36 %) del material vegetativo fresco fue similar con excepción de la concentración (%) de PB (SX=5.75; SF=9.05). No hubo diferencias significativas entre las variedades de sorgo en el pH ni la concentración de ácidos orgánicos (láctico, acético, propiónico y butírico), ni interacciones significativas entre la variedad y el día de fermentación. El pH en ambas variedades no alcanzó el nivel recomendado (menor de 5) y se observó cierta acumulación de amoníaco, lo que indica una fermentación inestable. En los ensilajes producidos en los microsilos tampoco se observaron diferencias atribuibles a la variedad de sorgo , pero el pH bajo junto con la escasa presencia de amoníaco atestiguaron una fermentación estable . En la prueba in vivo, hubo diferencias significativas (P=0.05), a favor de SF sobre SX en el consumo de MS, PB y FDN; y también, en la digestibilidad de MS (SX=41.92; SF=64.90) y PB (SX=47.09 SF=70.68), pero no de FDN. El inferior consumo voluntario y digestibilidad del SX podría deberse a una concentración marginalmente deficiente de PB y una aparente mayor mohosidad.

Abstract

There is considerable interest in the use of sorghums as haylage, given the desirable characteristics of this forage, such as drought resistance, high yields, adaptability to different types of soil, and acceptable chemical composition; and it is seen as a possible substitute for maize silage. However, information is limited on the potential of sorghum as haylage in large round bales.

The objectives of this study were: determine the fermentative characteristics of Forage Sorghum (FS; *Sorghum bicolor*) and Sudax (SX; Sorghum x Sudan hybrid) preserved as haylage in large round bales; compare the voluntary consumption and in vivo digestibility of haylage of the two varieties; and study the fermentative characteristics of both sorghums preserved as silage in laboratory microsilos. For the first objective, samples taken from two round bales of each sorghum variety after four periods of fermentation (3, 7, 14 and 30 d) plus the initial forage (d 0), were analyzed for pH, concentration of organic acids and the $\text{NH}_3\text{-N}$ /total N ratio. The data were analyzed in accordance with a completely randomized experimental design with a factorial arrangement of 2 (sorghum varieties; FS and SX) x 5 (days of fermentation) and 2 replicates per combination. For determination of voluntary consumption and digestibility of the DM, CP and NDF, 8 creole sheep (randomly allotted to 8 cages and one of two dietary treatments) were used in a trial of 18 d duration, distributed among 3 d for preliminary adaptation, 3 d for adaptation to the physical facilities, 7 d for adaptation to the experimental diet, and 5 d for collection of comparative data. The daily offering of haylage, taken from two bales of each, was at the rate of 3% of bodyweight on a dry basis and water was available *ad libitum*. A fecal collection bag was adjusted to each animal and a 10 % subsample of the total feces was kept. Samples of haylage offered and refused and of feces were analyzed for DM, CP and NDF. The data were submitted to analysis of variance applicable to repeated measures, these being days 1-5 of collection of comparative data. For evaluation of the fermentative characteristics of the silages obtained from microsilos, pH and concentration of fermentation products after 0, 3, 7, 14 and 30 d of ensiling were determined in duplicate, using the same

chemical analyse applied to the samples of haylage and the corresponding statistical analysis.

The initial chemical composition of the fresh vegetative material (35 or 36 % DM) of both sorghums destined to haylage was similar except for percentage CP concentration (SX=5.75; SF=9.05). There were no significant differences between sorghum varieties in pH or in concentration of organic acids (lactic, acetic, propionic and butyric) of the fermented vegetative material nor significant interactions of variety by day of fermentation. Neither variety reached the recommended pH level (less than 5) and some accumulation of ammonia was observed, indicating an unstable fermentation. There were no differences between the two sorghum varieties in the silages produced in microsilos but the low pH and slight presence of ammonia attested to a stable fermentation. There were significant differences ($P=0.05$) in the in vivo trial in favor of SF over SX in consumption of DM, CP and NDF; and in digestibility (%) of DM (SX=41.92; SF=64.90) and CP (SX=47.09; SF=70.68), but not of NDF. The inferior voluntary consumption and digestibility of SX may have been related to a marginally deficient CP level and an apparently greater degree of moldiness.

Dedicatoria

A mis abuelos

Miriam Montes Bermúdez (Abuela Tita)

Emiliano Rodríguez Irizarry (Millo)

Gloria M. Ortiz Marín (Abuela Mimi)

Mi mamá

Wanda Santana Ortiz

Y

Mis hermanos

Francis Rodríguez Santana

Alexis Rodríguez Santana

Agradecimientos

Gracias a Dios por ayudarme a sobrepasar los obstáculos encontrados , y por ayudarme a realizar mis metas.

Agradezco a mi familia, especialmente a mi mamá Wanda Santana Ortiz , la cual siempre me ha motivado a mejorar y trazarme metas. A mis abuelos Emiliano Rodríguez Irizarry, Miriam Montes Bermúdez y Gloria M. Ortiz Marín, por siempre apoyarme y hacerme sentir que soy capaz de esto y más. A mis hermanos, Francis Rodríguez Santana y Alexis Rodríguez Santana por ser los mejores hermanos mayores y mejores amigos. A mis amigas de toda la vida, Leyza González Valentín y Chinchu Coronado Lee por siempre estar ahí para escucharme cuando las necesitaba con algún trauma, aunque no entendieran nada de nutrición animal.

Gracias al Dr. Abner Rodríguez por su colaboración, conocimiento y por darme la oportunidad de continuar estudios post grado. También, por su paciencia a través de estos años y en la realización de este trabajo. A el Dr. Elide Valencia por brindarme oportunidades que me han ayudado en el aspecto profesional y personal. El Dr. Paul Randel Følling por ser parte de mi comité graduado y tomarse el tiempo y dedicación para leer esta investigación.

De igual forma, quiero agradecer a Victor J. Figueroa y Oscar Vélez Juarbe con los que prácticamente compartí más de 8 horas al día. Como olvidar nuestras amanecidas en el laboratorio de SAS, en el de nutrición animal o en la oficina de estudiantes graduados de horticultura. A María S. Vázquez Ortiz por ayudarme en la realización de la tesis y aclararme dudas. También a Ariel Muñoz por ayudarme mientras realizaba el experimento.

Por último, a todos los que contribuyeron en la realización directa o indirectamente de este trabajo. A los del Departamento de Industria Pecuaria, en especial a Jackeline Rivera y a Miguel Rivera, por todas las copias y asuntos del laboratorio que me resolvieron.

Tabla de Contenido

Resumen.....	II
Abstract.....	IV
Dedicatoria.....	VI
Agradecimientos.....	VII
Tabla de contenido.....	VIII
Lista de cuadros.....	X
Lista de figuras.....	XI
Lista de abreviaturas.....	XII
Cuadro de Apéndice.....	XIII
1.0. Introducción	1
2.0. Objetivos.....	3
3.0. Revisión de Literatura	4
3.1. Descripción de Gramíneas... ..	4
3.1.1. Sorgo.....	5
3.2. Conservación de Forrajes	7
3.2.1. Ensilaje.....	8
3.2.2. Henilaje.....	14
3.2.3. Heno.....	15
3.2.4. Características de ensilajes y henilajes tropicales.....	15
4.0. Materiales y Métodos.....	17
4.1. Material Vegetativo.....	17
4.2. Proceso de fermentación	21

4.2.1	Análisis estadístico del proceso de fermentación.....	22
4.3.	Prueba de Consumo Voluntario y Digestibilidad Aparente.....	23
4.3.1	Análisis estadístico de la prueba de consumo y digestibilidad...25	
5.0.	Resultados y Discusión.....	27
5.1.	Material Vegetativo.....	27
5.2.	Características Fermentativas de henilajes de SX y SF.....	29
5.3.	Características Fermentativas de SX y SF ensilados en microsilos.....	36
5.4.	Consumo Voluntario y digestibilidad aparente de MS, PB y FDN.....	40
6.0.	Conclusiones.....	46
7.0.	Implicaciones.....	47
8.0.	Referencias.....	48
9.0.	Apéndice.....	52

Lista de Cuadros

Cuadro		Página
Cuadro 1.	Composición química inicial de Sudax y Sorgo Forrajero	29
Cuadro 2.	Efecto del día de fermentación sobre el pH y los productos de fermentación de SF y SX henilados en pacas cilíndricas	34
Cuadro 3.	Composición química del rebrote de Sudax y Sorgo forrajero cosechado a 60 días de crecimiento	37
Cuadro 4.	Productos de fermentación y pH en diferentes intervalos de días de SF y SX ensilados en microsilos	38
Cuadro 5.	Contenido porcentual de MS, PB y FDN de los henilajes ofrecidos	41
Cuadro 6.	Consumo voluntario y digestibilidad de la MS, PB y FDN de dos variedades de sorgo heniladas en pacas cilíndricas	42

Lista de Figuras

Figura	Página
Figura 1. Fases del proceso de ensilamiento	10
Figura 2. A) Sorgo forrajero (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench.) (B) Sudax (<i>Sorghum bicolor</i> x <i>S. bicolor</i> var. sudanense) y (C) vista del predio precosecha	19
Figura 3. Proceso para henilar el material vegetativo en pacas cilíndricas	20
Figura 4. Pacas Cilíndricas de henilaje de sorgo forrajero y Sudax	21
Figura 5. Sorgo forrajero y Sudax ofrecidos a los ovinos en la fase de alimentación.	24
Figura 6. Ovino en su corral durante el periodo de recolección de heces fecales	26
Figura 7. Paca cilíndrica de sorgo con el forraje fermentado	33
Figura 8. Consumo diario de materia seca de henilaje de SF y Sudax de los ovinos en relación al peso vivo	43

Lista de abreviaturas

- AGV-Ácidos grasos volátiles
- BMR-Brown Mid Rib
- BPAL- Bacterias productoras de ácido láctico
- CNE- carbohidratos no estructurales
- CNF- Carbohidratos no fibrosos
- CSA- Carbohidratos solubles en agua
- CV- Consumo voluntario
- d- Día
- DCA- Diseño Completamente aleatorizado
- FDN- Fibra detergente neutro
- FDA- Fibra detergente ácido
- GTN- Gramíneas tropicales naturalizadas
- HCA- Hemicelulosa
- LT- Leguminosa tropical
- MO-Materia orgánica
- MI- Materia inorgánica
- MS- Materia Seca
- PB- Proteína bruta
- PV- Peso vivo
- SF- Sorgo Forrajero
- SX- Sudax

Cuadro de Apéndice

Apéndice	Página
Apéndice 1. Consumo de materia seca de Sudax y Sorgo forrajero en ovinos	52

1.0 Introducción

El sorgo es una gramínea originaria de África introducida a Puerto Rico de otros países tropicales (i.e. México) donde se cultiva intensivamente. Algunas características del sorgo que promueven el uso del mismo incluyen adaptabilidad a climas tropicales; relativo a otros cultivos menor riesgo de verse afectada en su producción bajo condiciones climáticas adversas; adaptabilidad a diferentes tipos de suelo; y gran resistencia a sequías por su profuso y amplio sistema radical. Además, diversas variedades de sorgo responden bien al riego produciendo altos rendimientos en un ciclo corto (Miller, 1984).

En los últimos años ha surgido un gran interés en la utilización de sorgo en sistemas de conservación de forrajes. A tales efectos, el mayor empeño mejorador se ha enfocado en maximizar el rendimiento de grano, ya que una alta proporción de éste se relaciona con mayor contenido de carbohidratos fermentables en los cultivos ensilados. Otros rasgos importantes son el potencial de la planta para producir grandes cantidades de biomasa aérea y una alta digestibilidad de las fracciones materia seca (MS), proteína bruta (PB) y fibra detergente neutro (FDN) (Miron et al.,2005). La utilización de ensilajes y henilajes puede ser sustituto de otros alimentos o suplementos en la dieta animal y permite asegurar la disponibilidad de alimento suficiente durante todo el año.

El ensilaje típico se caracteriza por tener aproximadamente 70% de humedad y un pH de 4.2, mientras que el henilaje es más seco (50% de humedad) y menos ácido (pH de 4.5-5.5). Los sorgos potencialmente aptos

para producción de ensilaje incluyen los llamados híbridos “sileros”. Estos tienden a poseer alto contenido de azúcares solubles en el tallo y las plantas crecen a alturas de hasta 2.8 m. Además, pueden tener incorporado o no el rasgo Brown Mid Rib (BMR). Los sorgos con el BMR tienen en su genoma un gen que está asociado a un contenido de lignina reducido. Otras alternativas son los híbridos fotosensitivos e híbridos graníferos. Entre los factores que más pueden afectar la calidad del ensilaje o henilaje producido, el más crítico es el estado de madurez de la planta, puesto que al ensilar forrajes con un excesivo contenido de humedad (<30 % de materia seca) se aumentan las pérdidas de nutrientes por la inadecuada fermentación y abundantes efluentes. Los factores principales que gravitan sobre el estado óptimo de cosechar una forrajera para ensilar incluyen el contenido de MS en la planta entera, el rendimiento de MS por área de terreno y la calidad nutricional de las diversas fracciones químicas. (Torrecillas, 2006).

En Puerto Rico, la utilización de varios métodos de conservación de forrajes tiene una larga historia. Sin embargo, actualmente predomina el uso de pacas cilíndricas entre los productores locales. En épocas de sequía prolongadas, el material vegetativo disponible en el campo tiende a disminuir en cantidad y calidad, por lo que una reserva de alimento es necesaria para que el animal mantenga su productividad. La producción local de henilaje involucra mayormente los cultivos de gramíneas tropicales naturalizadas (GTN). Las GTN son especies forrajeras con bajos contenidos de carbohidratos solubles en agua (CSA), lo que genera características ensilatorias poco deseables o no

satisfactorias, evidenciado por su alto pH y bajo contenido de ácido láctico. Sin embargo, otros cultivos, entre ellos el sorgo, representan alternativas para la manufactura de henilajes, ya que su rendimiento por unidad de terreno y su contenido de CSA es mayor que el de GTN, por lo que podemos inferir una producción de henilaje con mejores características ensilatorias. Esta investigación se diseñó para determinar las características fermentativas, el consumo voluntario y la digestibilidad de nutrimentos en dos variedades de sorgo (sorgo forrajero e híbrido Sudax) preservados como henilaje en pacas cilíndricas. También se evaluaron las características fermentativas de ambas variedades de sorgo fermentado como ensilaje en microsilos de laboratorio.

2.0 Objetivos

- 2.1 Determinar las características fermentativas de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] y sorgo-sudan (Sudax) conservado como henilaje en pacas cilíndricas.
- 2.2 Determinar las características fermentativas en ambos sorgos conservados como ensilaje en microsilos de laboratorio.
- 2.3 Comparar el consumo voluntario y la digestibilidad de la MS, PB y FDN de las dos variedades de sorgo en cuestión utilizando ovinos como animales experimentales.

3.0 Revisión de Literatura

3.1 Descripción de Gramíneas

Las gramíneas (familia *Poaceae*) son plantas monocotiledóneas utilizadas mundialmente para consumo humano (i.e. granos de cereales como maíz y trigo) y en la alimentación animal, donde, además del grano, su follaje es ofrecido fresco (pastoreo, picado) o conservado (heno, henilaje, ensilaje).

Las gramíneas poseen un sistema radical fibroso compuesto de raíces seminales y adventicias, tienen tallos formados por nudos e intranudos los cuales se alargan en forma de estolones y rizomas en muchas especies; y floración en forma de espiga. Es común que la composición química de especies de gramíneas utilizadas en la alimentación animal incluya un alto contenido de pared celular y relativamente bajo contenido de PB. Las gramíneas pueden ser fotosintéticamente tipo C_3 o C_4 y en largo de vida, anuales o perennes. Las gramíneas tipo C_3 , que predominan en regiones templadas, requieren un clima húmedo y se desarrollan en épocas de frío; generalmente no son muy resistentes a sequías y necesitan días largos para iniciar la floración. Las gramíneas tipo C_4 , que predominan en los trópicos, requieren climas cálidos, tienden a ser más resistentes a sequía y son variables en cuanto a los factores que inician la floración. Además, las gramíneas C_4 presentan un valor nutritivo menor que las C_3 , con excepción de ciertas plantas genéticamente manipuladas como el sorgo y el maíz. Las C_4 son más eficientes en la fotosíntesis que las C_3 , ya que sus primeros productos intermedios estables tienen 4 moléculas de

carbono (caña de azúcar, maíz), mientras que en las C₃ (trigo) son tres carbonos (Ball et al.,2002). Las dos plantas C₄ atípicas, maíz (*Zea mays*) y el sorgo (*Sorghum sp.*), han sido modificadas por técnicas de fitomejoramiento o moleculares a partir de sus ancestros de clima tropical, para poder sobrevivir y desempeñarse destacadamente en climas templados. Se diferecian de otros cereales (como avena, trigo y cebada) en que tienen un tallo pulposo donde pueden almacenar gran cantidad de carbohidratos solubles.

3.1.1 Sorgo

El sorgo es una gramínea tropical que tiene la capacidad de mantenerse durmiente durante períodos de sequía y posteriormente reanudar su crecimiento al reiniciar la época de lluvia. La temperatura ideal para su crecimiento se sitúa entre 25 a 30°C, mientras que la mínima que no merma su crecimiento es alrededor de los 15 °C. El sorgo se adapta mayormente a suelos bien drenados y puede tolerar un pH ácido de hasta 5.7 sin afectar su producción (Miller, 1984).

El grano de sorgo es ampliamente utilizado en la alimentación animal como ingrediente energético en alimentos concentrados para rumiantes, mamíferos no rumiantes y aves; el follaje es utilizado en dietas para vacunos, ovinos o caprinos como forraje fresco o conservado.

Algunos de los tipos de sorgo utilizados en dietas para animales incluyen el forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), el granífero (*Sorghum vulgare*), sudan (*Sorghum sudanense*), sorgos dulces e híbridos de sorgo-sudan. Cada tipo tiene un uso principal diferente. El tipo forrajero es utilizado mayormente

para la producción de ensilaje, mientras que el sudan o los híbridos sorgo-sudan son notoriamente versátiles, utilizándose mayormente como pasto de corte, ensilaje y en sistemas de pastoreo. El tipo granífero se destina a cosechar granos secos y algunos se ensilan. En general el uso de todos los tipos de sorgo para la producción de heno es limitado por su alto contenido de humedad en sus tallos gruesos, lo que dificulta el proceso de secado. (Ball, 2002; Miller, 1984).

La planta de sorgo se presta para la producción de ensilaje, por su alto contenido de azúcares, lo que promueve la fermentación que resulta en su conservación. El sorgo se compara favorablemente con el maíz en términos de contenido de azúcares (Miller, 1984). Los rendimientos del ensilaje de sorgo son generalmente más altos que los de maíz cuando ambos son sembrados en condiciones similares, pero el ensilaje de maíz aporta más energía digerible debido a su alta proporción y composición química del grano.

La calidad del sorgo como forraje depende en gran medida de la edad de la planta al momento de ser cosechada. El sorgo sudan en el estado de crecimiento vegetativo puede tener una digestibilidad tan alta como 82%, atributo que depende directamente de su alta relación hoja:tallo, alta proporción de contenido celular y la estructura interna de los componentes químicos en la pared celular (Miller, 1984). Los diferentes estados vegetativos de las plantas se caracterizan por procesos de crecimiento y diferenciación celular, que generan cambios en las proporciones químicas y botánicas del follaje. La proporción hoja:tallo se relaciona inversamente con el estado de madurez de las plantas, lo que hace que forrajes más jóvenes sean más palatables, de mejor composición

química y resulten en mayor consumo y digestibilidad. Por otra parte, a mayor madurez del forraje, mayor es su proporción de tallos y la lignificación de su pared celular, lo que resulta en una disminución en su valor nutritivo. El proceso de lignificación es más adverso al valor nutritivo de las gramíneas que de las leguminosas, al crear un mayor contenido proporcional y menor digestibilidad de la pared celular. Aunque un bajo contenido de FDN y poca lignificación serían características preferibles en las gramíneas forrajeras, éstas no son fáciles de obtener a través del fitomejoramiento genético y un buen manejo agronómico representa la alternativa más práctica al presente (Van Soest, 1994).

3.2 Conservación de Forrajes

Los principales métodos de conservación de los forrajes utilizados en las fincas son el heno, el henilaje y el ensilaje. Estas diferentes formas de conservar los forrajes se basan mayormente en el contenido de humedad. Se recomiendan valores de MS de 85% o mayores para su conservación como heno, de 30 a 40% para la producción de ensilaje y entre 45 a 50% para conservarse como henilaje. Independientemente del método usado, estos alimentos conservados son importantes cuantitativa y cualitativamente, tanto del punto de vista económico como nutritivo, e indispensables para utilizarse en épocas secas en áreas tropicales. Sin embargo, hay que tener presente que ningún método de conservación mejora o aumenta la calidad del forraje en comparación a su estado fresco al momento de cosecharse.

3.2.1 Ensilaje

Aparte de la técnica usada en algunos países de añadir ácidos orgánicos artificialmente, la conservación de forrajes mediante la producción de ensilaje se basa en la fermentación anaeróbica del forraje fresco, donde microorganismos utilizan como sustrato los CSA presentes en el material vegetativo y producen ácidos orgánicos, lo que resulta en una disminución en el pH. Para promover fermentaciones estables, el forraje debe tener un contenido de humedad no mayor de 70% al momento de ser cosechado (Van Soest,1994; Woolford, 1984; McDonald et al.,1981). Si no ocurre una fermentación óptima, se pueden perder nutrientes por causas tales como oxidación, mohocimiento y efluente.

El proceso bioquímico de ensilamiento comienza con la respiración aeróbica que llevan a cabo los tejidos de la planta al momento de ser cortada. Después de agotado el oxígeno disponible predomina la actividad microbiana anaeróbica sobre los azúcares que genera la producción de ácidos orgánicos (i.e. láctico y acético); en caso contrario, ocurre la hidrólisis extensa de las proteínas que resulta en la producción de ácido butírico y amoníaco, disminuyendo el valor nutricional (Van Soest,1994; Woolford, 1984; McDonald et al.,1981). Durante este proceso el material ensilado siempre sufre alguna oxidación de nutrientes debido a los diversos procesos biológicos que ocurren, pero las buenas prácticas de manejo ayudan a minimizar la misma. Estas prácticas incluyen; 1) compactación del forraje en el silo para excluir el aire lo antes posible y así reducir la respiración por los tejidos, 2) evitar un exceso de humedad en el material a ensilar, 3) sellar bien el silo, 4) ensilar material con una buena

proporción de carbohidratos fermentables y 5) triturar el forraje para obtener un pequeño tamaño de partícula que sea favorable tanto para la compactación, como para el aprovechamiento de parte del animal. Si el forraje no queda bien compactado, se promueve una actividad bacteriana aeróbica y se retarda la actividad de las bacterias productoras de ácido láctico. El material que ha quedado sin compactar puede llegar a desarrollar temperaturas de 50 a 70 °C, resultando en pérdidas de elementos nutritivos de hasta un 50% (Robles Sánchez,1975). Después de preparado el ensilaje, se debe mantener condiciones de almacenamiento adecuadas. En el trópico, las temperaturas altas y radiación solar pueden promover una fermentación extensiva durante el almacenamiento, por lo que se recomienda el uso de estructuras especiales o un techo protector.

Referente a los eventos microbiológicos y bioquímicos que ocurren, el proceso de ensilar se ha dividido en seis fases según los cambios en pH, temperatura, microorganismos presentes y productos de fermentación formados (Figura 1; McCullough ; Adaptado de Rodríguez, 1996)

Fases	I. Aeróbica	II. "Lag"	III. Producción inicial de ácidos orgánicos	IV. Producción final de ácidos orgánicos	V. Almacenamiento	VI. Uso del ensilado
Eventos	Respiración celular Producción de CO ₂ y calor	Formación inicial de ácido acético, láctico y etanol	Formación de ácido láctico, acético y butírico	Formación de ácido láctico	Material estable si aire excluido	Ocurre después de abrir el silo
Cambios de temperatura	20.5° C	32.2° C	32.2° C	28.8° C	Posible efecto de temperatura ambiental y radiación	37° C
Cambios de pH	6.0-6.5	5.0	3.8-4.5	4.0	4.0-4.2	7
Microorganismos predominantes presentes	Microorganismos epífiticos (aeróbicos)	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Streptococcus lactis</i> y <i>Pediococcus acidilactici</i> , entre otras.	Bacteria productora de ácido láctico	Bacteria productora de ácido láctico con actividad decreciente	Actividad microbiana inhibida	Levaduras y hongos

Figura 1. Fases del proceso de ensilamiento

Fase 1- Aeróbica

Ocurre después de cortado el forraje mientras los tejidos de la planta continúan con la respiración aeróbica y hay también presencia y actividad de microorganismos aeróbicos. Se desea que esta fase dure lo menos posible para minimizar la pérdida de nutrientes. El pH presente suele fluctuar entre 6.0-6.5.

Fase 2- “Lag”

Ocurre rompimiento de las membranas de las células vegetales permitiendo que el contenido de la célula actúe como un medio para el posterior crecimiento de bacterias deseables para la fermentación, tales como *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis* y *Pediococcus acidilactici*, entre otras.

Fases 3 y 4 - Producción inicial y final de ácidos orgánicos.

Ocurre en ausencia de oxígeno. Los microorganismos presentes (alrededor de 10^9 por gramo de forraje) utilizan los CSA disponibles para la producción de ácido láctico preferiblemente y de otros ácidos orgánicos. Esta fase puede tener una duración variable desde días hasta semanas, dependiendo del material ensilado, el pH obtenido y la disponibilidad de oxígeno y agua y la temperatura ambiental. Si la fermentación ocurre con éxito, la presencia de mucho ácido láctico estabilizará el ensilaje a un pH bajo. Dicho resultado requiere niveles iniciales adecuados de azúcares. La fermentación también produce ácidos grasos volátiles (AGV) que contribuyen a disminuir el pH a valores entre 3.8-4.5

(Romero; citado por Chalkling, 2008). Los ácidos orgánicos de mayor cuantía en el ensilaje son: acético, butírico y láctico. Las proporciones entre estos ácidos inciden en el estado de preservación del ensilaje y su aceptación por el animal.

Ácido láctico - es el más fuerte (ionizado) de los ácidos orgánicos formados y el responsable por mantener una acidez adecuada en el ensilaje. Además, es el ácido que más se produce y se utiliza con mayor eficiencia energética y biológica, conserva y hace disponible para los animales en mayor proporción la energía contenida en el material original del cual se obtuvo el ensilaje (Acosta et al., 2002; citado por Chalkling, 2008).

Ácido acético - Es un ácido más débil que el láctico pero aun así posee propiedades preservativas. Cuando está presente en altas proporciones se relaciona negativamente con el consumo animal.

Ácido butírico - Es muy poco acidificante. Su presencia en altas concentraciones es indicativa de un ensilaje de mala calidad y baja aceptabilidad del animal, debido a una fermentación putrefactiva. Su producción durante la fermentación es mayormente producto de la hidrólisis de compuestos nitrogenados.

Fase 5 – Almacenamiento

Se trata de la fase de estabilidad. Comienza después de que el ensilaje llega a un pH suficientemente ácido, seguido por la disminución o inhibición de las bacterias. En un silo lleno de material vegetal bastante compactado y bien sellado, esta fase dura hasta que el silo se abre y el ensilaje es expuesto al aire.

Fase 6 – Exposición aeróbica.

Por estabilidad aeróbica se entiende el tiempo en que el ensilaje se mantiene a temperatura normal luego de haber sido expuesto a oxígeno, y puede variar desde una hora hasta varios días. Algunos factores que afectan la estabilidad aeróbica de un ensilaje son: 1) la presencia relativa de oxígeno y CO_2 , 2) la población de organismos aeróbicos, 3) el contenido de MS, 4) la temperatura, 5) la especie de forraje y 6) la concentración de productos de fermentación.

Esta fase comienza con la apertura del silo y uso del ensilaje, o mucho antes si el ensilaje ha estado en contacto con oxígeno al entrar aire en la masa ensilada, sea por los lados del silo o por el sello superior. Si el ensilaje resultante es inestable ante presencia de oxígeno ocurren cambios en la composición química, el pH sube y en poco tiempo el ensilaje se deteriora. Como resultado, se desmejora la calidad y se reduce la cantidad del forraje conservado. En ensilajes inestables aeróbicamente se activan las levaduras, hongos y bacterias que estaban presentes, pero inactivos en la etapa anaeróbica y que ante la presencia de oxígeno tienen el potencial de consumir las azúcares residuales y los productos de fermentación (como ácido láctico) produciendo CO_2 , agua y calor (Woolford, 1984). Estos cambios se resisten mientras dure la estabilidad aeróbica, luego el deterioro aeróbico causa una merma en acidez e incremento calórico, disminuyendo así el valor nutritivo.

3.2.2 Henilaje

El concepto en el que se basa el henilaje es el mismo que el del ensilaje, es decir el desarrollo de un ambiente anaeróbico acidificado dentro del silo, pero con un contenido de humedad alrededor de 50 % y un pH no menor de 4.5. La producción de henilaje en grandes pacas cilíndricas consiste en almacenar el material fresco envuelto en una cubierta de polietileno para lograr una fermentación adecuada en ausencia de oxígeno. Esto requiere la utilización de maquinaria especializada de alto costo. El henilaje ofrece varias ventajas sobre el heno, entre ellas menos pérdida de hojas del forraje por manejo mecánico, siendo éstas la parte más nutritiva; menos pérdidas de nutrientes durante el almacenamiento; y el hecho de no ser obligatorio un almacén, ya que el polietileno protege el material henilado en pacas dejadas a la intemperie. Por otra parte, el hacer henilaje de este modo implica equipo costoso adicional, las pacas cilíndricas son difíciles de mercadear si no es para el propio uso de la finca y requiere usarse rápidamente el material luego de removida la cubierta. Además, la densidad de compactación del material vegetativo es menor en pacas cilíndricas que en estructuras o silos tradicionales (e.i. torre, bunker, trinchera), lo que afecta la creación de condiciones anaeróbicas durante las primeras fases de fermentación, factor que podría dificultar una fermentación eficiente y estable (Chalkling, 2008).

3.2.3 Heno

Debido a las bondades de nuestro clima tropical, la henificación es el método de conservación de forrajes más utilizado en sistemas de producción pecuaria. Este consiste en la conservación del forraje por medio de secado (a 15% de humedad o menos), inhibiendo así los procesos biológicos de la planta y limitando la acción de los microorganismos (Van Soest, 1994). Normalmente, el heno conserva la mayor parte de los nutrimentos originales, pero las pérdidas pueden llegar a reducir la proporción recuperada en el heno hasta un 50%, o aún menos si el período de secado se extiende varios días como puede ocurrir cuando la planta cortada se moja por lluvias o fuertes rocíos y el cielo se mantiene nublado (Robles Sanchez, 1975).

3.2.4 Características de ensilajes y henilajes tropicales

Los forrajes tropicales (i.e. GTN) se caracterizan por tener un bajo contenido de CSA y bajas poblaciones epifíticas de bacterias productoras de ácido láctico, los microorganismos deseables durante el proceso fermentativo (Rodríguez, 1996). Los ensilajes de GTN tienden a caracterizarse por fermentaciones con pH mayores de 5, altos contenidos de ácidos acético y butírico, y relativamente bajo contenido de ácido láctico (González y Rodríguez 2002; Rodríguez, 1996). También, pueden ocurrir condiciones propicias para una alta incidencia de bacterias del género *Clostridia*, microorganismos que ocasionan fermentaciones secundarias, lo que resulta en una pobre aceptabilidad por el animal del material vegetativo fermentado. A diferencia del ensilamiento de GTN (i.e. hierba guinea,

pangola) fermentar otras gramíneas con mayor contenido de CSA (i.e. maíz, sorgo) sí resulta en fermentaciones con pH más bajos y mayores contenidos de ácido láctico (Martínez, 1998; Arías, 1998; Rodríguez, 1996;).

Intentos más recientes de henilar gramíneas o leguminosas tropicales en pacas cilíndricas han resultado en fermentaciones pobres e inestables. González y Rodríguez (2002) encontraron que someter GTN a dicho proceso durante 25 y 53 días resultó en fermentaciones poco estables y susceptibles a deterioro aeróbico, observándose valores de pH mayores de 5.0 y concentraciones de ácido láctico menores al deseado. Vázquez (2009) obtuvo resultados similares al henilar la leguminosa *Stylosanthes guianensis* en pacas cilíndricas durante 30 y 72 días de fermentación. No se ha reportado las características fermentativas de forrajes tropicales con mayores contenidos de CSA (i.e. maíz, sorgo) en pacas cilíndricas.

4.0 Materiales y Métodos

4.1 Material Vegetativo

El Sorgo forrajero ([*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] y el Sudax (*Sorghum bicolor* x *S.bicolor* var. sudanense) se sembraron mecánicamente en la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico localizada en el municipio de Lajas, en un suelo Vertisol, en un predio con dimensiones 149 por 36 m. El predio fue subdividido en 4 parcelas iguales de 9 m de ancho, alternando la siembra de las dos variedades de sorgo. La distancia entre plantas y entre hileras fue de 20 y 45 cm, respectivamente (Figura 2). Se cosechó el material vegetativo a los 90 días de crecimiento, cortándose a una altura de 6 cm del suelo. Después del corte, se recolectó tres muestras del material vegetativo fresco (día 0) de cada forraje para determinar el pH y composición química inicial (Van Soest 1991; AOAC,1990). La composición química consistió en el análisis de la MS, MO, MI, PB, FDN, FDA, HCA y CNF. Los análisis de MS MO y PB se hicieron utilizando el Método Wendee. Este consiste en secar la muestra en un horno a 65° C conociendo su peso inicial y su peso final luego de 48 horas para la determinación de la MS. Luego, la muestra fue sometida al proceso de incineración en una mufla a 550° C por 8 horas para la determinación de la MI y MO. El análisis de la PB se hizo utilizando el Método Kjeldahl, el cual consiste en el proceso de digestión, destilación y titulación mientras que para el análisis de FDN se utilizó el Método Van Soest. Otros análisis mencionados fueron llevados a cabo en el Dairy Forage Lab en Ithaca, NY.

Después de dos días de marchitamiento en el campo se formaron hileras del material vegetativo y se prepararon 16 pacas cilíndricas con un peso aproximado de 400 kg, 8 de cada especie, cubiertas con plástico de polietileno (Figura 3) , mediante el uso de maquinaria especializada (Class Rollant 46 roto cut). Las pacas cilíndricas se transportaron posteriormente al Proyecto de Pequeños Rumiantes localizado en la Finca Alzamora del Recinto Universitario de Mayagüez (Figura 4). Se evaluaron sus características fermentativas durante 30 días y después el consumo y digestibilidad de la MS, PB y FDN del henilaje por ganado ovino. Para evaluar las características fermentativas de ambas variedades de sorgo también como ensilaje, se utilizaron 16 microsilos de laboratorio (capacidad neta 1.1 Kg). Se cosechó el material vegetativo de ambas variedades a 60 días de rebrote y se picó a un tamaño de partícula de 7 cm mediante el uso de maquinaria comercial especializada. Se tomaron 3 muestras de material fresco por variedad para determinar pH y composición química inicial por métodos estándar (Van Soest et al., 1991; AOAC, 1990).

A.



B.



C.



Figura 2. (A) Sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) (B) Sudax (*Sorghum bicolor* x *S.bicolor* var. sudanense) y (C) vista del predio precosecha.



Proceso de marchitamiento después del corte (48 horas)



Material vegetativo en pacas cilíndricas



Maquinaria especializada que envuelve las pacas cilíndricas en polietileno

Figura 3. Proceso para henilar el material vegetativo en pacas cilíndricas.



Figura 4. Pacas Cilíndricas de henilaje de sorgo forrajero y Sudax

4.2 Proceso de Fermentación

Se utilizaron las 8 pacas cilíndricas de cada variedad de sorgo para la determinación de los cambios en pH y productos de fermentación en vías de formación del henilaje. Las pacas de cada especie se asignaron en duplicado a uno de cuatro periodos de fermentación (3, 7, 14 y 30 d). Para el muestreo de cada paca correspondiente a cada variedad y período de fermentación, se recolectaron 8 submuestras utilizando un muestreador de forraje (Master Forage Probe, 5 cm diámetro, Dairy One Forage Lab, Ithaca, NY). Las 8 submuestras se mezclaron para formar muestras compuestas destinadas a la determinación de pH y productos de fermentación (ácidos orgánicos y nitrógeno en forma de amoníaco, $N-NH_3$). Para determinar la concentración de iones de hidrógeno (pH) se pesó 50 g de muestra y se mezcló con 450 ml de agua deionizada. La mezcla

se homogenizó por 2 minutos utilizando el equipo Stomacher 3500 (Seward) y se sometió a filtración a través de una tela de tejido abierto. El efluente colectado (50 ml) sin residuos sólidos fue utilizado para la medición del pH con un electrodo de combinación (pH/Ion 510, Eutech Instruments/Oakton Instruments) estandarizado con soluciones amortiguadoras comerciales de pH 4, 7 y 10 (Fisher Scientific). El efluente se centrifugó por 15 minutos para su clarificación y se envió al laboratorio comercial antes citado para la determinación de los productos de fermentación (ácidos grasos volátiles acético, propiónico y butírico; ácido láctico y N-NH₃).

Para la evaluación de las características fermentativas del ensilaje de sorgo obtenido de microsilos, se determinó el pH y la concentración de los productos de fermentación después de 0, 3, 7, 14 y 30 d en muestras en triplicado de cada variedad forrajera, utilizando los mismos procedimientos mencionados para las muestras de henilaje.

4.2.1 Análisis estadístico del proceso de fermentación

Los datos referentes a pH y productos de fermentación de etapas sucesivas del henilaje de sorgo en formación se analizaron mediante un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial de 2 tratamientos (variedades de sorgo; SX y SF) x 5 (días de fermentación; 0, 3, 7, 14 y 30) con 2 repeticiones por combinación. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) junto a la prueba de separación de medias Tukey, utilizando el programa estadístico SAS (SAS Inst., 1990).

El modelo estadístico correspondiente fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Variable dependiente (pH y productos de fermentación)

μ : Promedio de la población

α_i : Niveles del primer factor (Variedad)

β_j : Niveles de segundo factor (Días de fermentación)

$\alpha\beta_{ij}$: La interacción entre ambos factores (Variedad x Días de fermentación)

ε_{ijk} : Error experimental

El mismo análisis estadístico fue utilizado para los datos de pH y productos de fermentación de ensilaje de sorgo en microsilos, excepto que hubo 3 repeticiones por combinación de variedad por días de fermentación.

4.3 Prueba de Consumo Voluntario y Digestibilidad Aparente

Para evaluar el consumo y digestibilidad aparente de la MS, PB y FDN de los henilajes se utilizaron 8 ovinos criollos castrados, cuatro por cada variedad de sorgo con un tamaño corporal bastante uniforme (peso vivo, PV=28.5 Kg). Los animales fueron esquilados y desparasitados (Levasol- 2 ml x 100 lb PV) antes de comenzar la prueba de alimentación. Esta tuvo una duración de 15 días, los cuales se distribuyeron en 3 días de adaptación a las facilidades físicas mientras se alimentó con heno de GTN, 7 días de adaptación a la dieta experimental y 5 días de recolección de datos comparativos. Durante la prueba de alimentación el henilaje ofrecido se picó mecánicamente a un tamaño de

partícula de aproximadamente 10 cm para facilitar el consumo. Los ovinos fueron distribuidos aleatoriamente entre 8 corrales individuales, con medidas de 1.11 x 0.74m ubicados en línea, y dos tratamientos dietéticos (Figura 5). Se pesaron los animales antes del período de adaptación a la dieta y al empezar la recolección de datos para ofrecer el henilaje diariamente a razón de 3% PV a base seca. Había agua disponible *ad libitum* en bebederos galvanizados automáticos. Todo el henilaje ofrecido había tenido un periodo de fermentación mínimo de 30 d y máximo de 45 d.



Figura 5. Sorgo forrajero y Sudax ofrecidos a los ovinos en la fase de alimentación.

El pesaje de forraje del día anterior dejado sin consumir y el nuevo ofrecimiento se realizó diariamente a las 8:00am. El consumo se determinó

diariamente de la cantidad de alimento ofrecido menos el rechazado ajustándose sus valores a base seca.

Para determinar la digestibilidad in vivo de la MS y de las fracciones PB y FDN, se recolectaron muestras del forraje ofrecido y rechazado y de las heces fecales previamente pesadas durante los 5 días de recolección de datos comparativos. Durante este período, se utilizaron 2 pacas cilíndricas frescas por variedad de sorgo. Para facilitar la recolección de heces se usó una bolsa especial recolectora ajustada a cada animal (Figura 5). Se guardaron submuestras del 10% de la recolección total. Las muestras de henilaje ofrecido y rechazado y las heces se analizaron para contenidos de MS, PB y FDN.

4.3.1 Análisis estadístico de la prueba de consumo y digestibilidad

Los datos individuales de consumo voluntario y digestibilidad se sometieron a un análisis de varianza aplicable a medidas repetidas, siendo éstas las de los días 1-5 de recolección de datos comparativos, y un diseño experimental completamente aleatorizado. Las observaciones tomadas de la misma unidad experimental con el paso de los días están correlacionadas, por lo cual no se analizarán como observaciones independientes. El modelo estadístico que se utilizó para las medidas repetidas considera los efectos de la dieta, el tiempo y su interacción (efectos fijos), el efecto aleatorio de la unidad experimental (animal) y el error experimental (aleatorio) de diferentes observaciones en la misma unidad (en diferentes tiempos):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{k(i)} + T_j + \varepsilon_{k(ij)}$$

Donde:

Y : Variables dependientes (i.e. consumo voluntario, digestibilidad)

i : Tratamientos (variedad de sorgo)

j : Tiempo (día 1-5)

k : Repetición

μ : Promedio de la población

α_i : Efecto de dieta j

$\delta_{k(i)}$: Efecto del animal individual

τ_j : Día de toma de datos (día 1-5)

ε : Error experimental



Figura 6. Ovino en su corral durante el periodo de recolección de heces fecales.

5.0 Resultados y Discusión

5.1 Material vegetativo

En las dos variedades de sorgo, el forrajero ([*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] y sudax (Sorgo-Sudan), cosechadas a los 90 días de crecimiento, la composición química inicial del material vegetativo fresco antes de fermentar fue similar con excepción del contenido de PB (Cuadro 1). El contenido de compuestos nitrogenados fue 3.3 unidades porcentuales mayor ($P < 0.05$) en SF que en SX. En ambas variedades, el contenido de MS fue mayor de 30% pero menor de 40%, humedad adecuada para su conservación en forma de ensilaje pero no de henilaje. Forrajes conservados como ensilaje con un contenido de MS menor de 30% son susceptibles a fermentaciones secundarias putrefactivas ocasionadas por bacterias del género *Clostridia*; en cambio un nivel de MS mayor de 40% puede reducir la calidad del ensilaje obtenida debido a la pérdida de nutrientes por oxidación y crecimiento de hongos además de que podría afectar inversamente el contenido de CSA (Edwards y McDonald; citado por McDonald et al., 1981). En este experimento el contenido inicial de humedad del material vegetativo utilizado (SX, 63.98%; SF, 65.39%) no fue óptimo para su preservación como henilaje, razón por la cual se sometió a un periodo de marchitamiento en el campo durante 48 h antes de ser empacado en pacas cilíndricas para su fermentación.

Ambas variedades presentaron contenidos iniciales de MO y MI característicos de forrajeras cosechadas sin contaminación de suelo. Los contenidos de paredes celulares (FDN) y las otras fracciones fibrosas (FDA y

hemicelulosa) fueron típicos de sorgos cosechados en el trópico (Martínez, 1998; Rodríguez, 1996). Ambas variedades presentaron un contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) adecuado para facilitar la fermentación como ensilaje o henilaje. En el sorgo, los CNF, también llamados carbohidratos no estructurales (CNE), fracción química que incluye los CSA, se localizan preferentemente en las raíces y los tallos basales (Botrel y Gomide; citado por Correa, 2009), tratándose principalmente de monosacáridos (glucosa y fructosa), disacáridos (sacarosa y maltosa) y polisacáridos como almidones y fructosanas (Smith; citado por Correa, 2009). Los CSA presentes en la fracción CNF o CNE actúan principalmente como sustrato energético para los microorganismos activos durante la fermentación que los convierten en ácidos láctico y acético (en menor proporción), lo que resulta en una acidificación del material ensilado (reducción de pH), que es necesario para su preservación.

En estudios relacionados Ward y colaboradores (2000) determinaron la composición química de diferentes tipos de sorgo y para el tipo forrajero encontraron un contenido de MS menor (23.06%) y un contenido de PB mayor (13.32%) que lo observado en el presente estudio, mientras que el contenido de FDN (63.60%) y su fracción ligno-celulolísica (38.02%) fueron similares. Las diferencias en contenidos de humedad y PB entre los dos estudios se explican por la edad de cosecha de 60 días del material vegetativo evaluado en aquel caso. El sorgo forrajero utilizado en el presente experimento mostró una composición química que coincide con los resultados de Martínez (1998) y Rodríguez (1996), autores que evaluaron el efecto de aditivos comerciales sobre

las características fermentativas de ensilajes de sorgos forrajero ([*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] y granífero (*Sorghum vulgare*).

Cuadro 1. Composición química inicial de Sudax y Sorgo forrajero

Fracción química ¹ (%)	Variedad de sorgo ³			Valor P
	Sudax	Sorgo Forrajero	EEM ⁴	
MS	36.02	34.61	0.68	0.23
MO²	94.45	94.80	1.39	0.78
MI²	5.55	5.21	1.39	0.78
PB²	5.75 ^a	9.05 ^b	0.15	0.01
FDN²	60.20	59.30	3.92	0.11
FDA²	34.60	34.95	3.08	0.86
HC^{2,5}	25.60	24.35	3.45	0.09
CNF^{2,6}	25.70	24.25	0.34	0.13

¹ Media de 2 repeticiones. ² Base seca. ³ Medias con diferentes letras en la misma fila muestran diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey (P<0.05). ⁴ Error estándar de la media. ⁵ hemicelulosa. ⁶ Carbohidratos no fibrosos.

5.2 Características Fermentativas de henilajes de SX y SF

El pH y las concentraciones de los productos de fermentación analizados a diferentes intervalos del periodo fermentativo de las dos variedades de sorgo en pacas cilíndricas se presentan en el Cuadro 2. No se observaron diferencias significativas (P>0.05) en el pH del material vegetativo fermentado atribuible a la variedad de sorgo, ni a la interacción entre la variedad y el día de fermentación (P>0.05). A través del periodo fermentativo, la acidez, medida por pH, no disminuyó a valores menores de 5.4, observándose la disminución máxima después de 7 días de fermentación (SX = 5.49; SF = 5.57). Posteriormente, el

pH volvió a aumentar y después de 30 días de fermentación registró valores mayores de 6. Los cambios erráticos observados en el pH del henilaje resultante podría ser el resultado de fermentaciones secundarias causadas por microorganismos indeseables, como bacterias tipo aeróbicas, sacarolíticas o proteolíticas y levaduras, que utilizan ácido láctico como sustrato. Los valores mínimos de pH observados en las pacas cilíndricas en este experimento difieren de los recomendados para un henilaje estable y de alta calidad, lo cual es una acidez (pH) no mayor de 5.0 (Ulvelsi; McCullough; citado por Martínez,1998). Los valores de pH mayores de 5 son característicos de henilajes con alto contenido de carbohidratos estructurales, bajo contenido de carbohidratos solubles, alta capacidad amortiguadora y dominancia de microorganismos no deseables para la fermentación láctica, como coliformes, hongos, y levaduras (González y Rodríguez, 2002). Si no se obtiene un pH estable, microorganismos indeseables, como hongos, levaduras y bacterias coliformes del género *Clostridia* tipo sacarolíticas o proteolíticas, se proliferan fermentan el ácido láctico, carbohidratos solubles residuales y compuestos nitrogenados y forman ácido butírico y amoníaco, con un aumento en el pH. Los henilajes pobremente fermentados se caracterizan por tener valores de pH entre 5.0 a 7.0 (McDonald, 1981), ya que no reúnen las condiciones necesarias para la estabilización efectiva como la producida por las BPAL, sino que dominan otros microorganismos menos acidificante (González y Rodríguez, 2002).

En este experimento no se encontró efecto significativo atribuible a la variedad de sorgo ($P>0.05$) sobre el contenido de ácidos orgánicos (láctico,

acético, propiónico y butírico) en los henilajes en formación. El ácido láctico, que es el producto más deseable de la fermentación y está asociado con henilajes y ensilajes bien conservados (Woolford, 1984; McDonald et al.1981), alcanzó su mayor concentración después de 14 y 7 d de fermentación en SF (.88%) y SX (0.48%), respectivamente. A lo largo del periodo fermentativo, el contenido de ácido láctico mostró un patrón variable, lo que es representativo de una ecología microbiana heterogénea y poco estable con ninguna dominancia de microorganismos deseables. Además, el contenido de ácido láctico observado en este experimento fue muy inferior al valor mínimo recomendado para un henilaje estable (1.5%), lo que es indicativo de una fermentación láctica pobre.

A través del periodo fermentativo se observó un patrón similar al obtenido con ácido láctico con la producción de ácido acético en los henilajes. La concentración del mismo osciló entre .04 a .47% en las dos variedades de sorgo, valores que también reflejan poca dominancia de las BPAL tipo heterofermentativas o de bacterias acetogénicas, lo que también contribuye a fermentaciones inadecuadas, poca dinámicas, e inestables. Durante el transcurso de la fermentación, se observó la producción de ácido propiónico pero en cantidades muy pequeñas y sin ninguna significancia para la fermentación. La producción de ácido butírico, se mantuvo relativamente constante desde los 3 hasta los 30 d de fermentación lo que podría ser indicador de fermentaciones secundarias producto de la actividad metabólica de microorganismos no deseables (bacterias aeróbicas del género *Clostridium* o levaduras que utilizan ácido láctico como sustrato). La utilización de este ácido

orgánico está asociado con fermentaciones secundarias que utilizan carbohidratos residuales y compuestos nitrogenados. La fermentación inestable observada en los henilajes de ambas variedades de sorgo también se refleja en la producción constante de amoníaco después de 3 y de 14 días de fermentación en henilajes de SX y SF, respectivamente. Entre las dos variedades de sorgo se observó una mayor ($P < 0.05$) relación de $\text{NH}_3/\text{N-total}$ después de 7, 14 y 30 d en SX que en SF, esto a pesar de que el contenido inicial de PB en SX fue de 3.3 unidades porcentuales menor que en la variedad forrajera. A pesar de que las características fermentativas indican que ninguno de los sorgos henilados en pacas cilíndricas no representan un forraje conservado de calidad, es posible inferir, basado en un menor pH final, un mayor contenido de ácido láctico y menor de ácido butírico y menor hidrólisis de compuestos nitrogenados para producir amoníaco, que la variedad SF presentó mejor aptitud para henilarse que la Sudax. Sin embargo, y ante la similitud de la composición inicial entre las dos variedades, otros factores asociados de la planta (i.e. microorganismos epifíticos, proporción tallo:hoja, contenido de compuestos inhibidores) o del manejo (densidad de compactación del material vegetativo dentro de la paca durante la fermentación) podrían influir en el proceso de henilar.



Figura 7. Paca cilíndrica de sorgo con el forraje fermentado.

Cuadro 2. Efecto del día de fermentación sobre el pH y los productos de fermentación de SF y SX henilados en pacas cilíndricas

Componente ¹	Día de fermentación ²	Variedades de sorgo ²			Valor de P		
		Sudax	Sorgo Forrajero	EEM ³	Var	Día	Var*Día
pH	0	6.21	6.31	0.01	0.16	0.01	0.18
	3	6.47	6.03				
	7	5.49	5.57				
	14	5.99	5.72				
	30	6.14	6.10				
Productos de fermentación (%)							
Acido láctico	0	0.00	0.02	0.03	0.47	0.03	0.88
	3	0.36	0.45				
	7	0.48	0.31				
	14	0.01	0.88				
	30	0.01	0.45				
Acido acético	0	0.04	0.05	0.01	0.32	0.81	0.71
	3	0.17	0.16				
	7	0.36	0.28				
	14	0.47	0.30				
	30	0.39	0.39				
Acido propiónico	0	0.01	0.02	0.01	0.17	0.20	0.71
	3	0.01	0.01				
	7	0.09	0.03				
	14	0.16	0.06				
	30	0.10	0.08				
Acido butírico	0	0.00	0.12	0.01	0.21	0.72	0.82
	3	0.46	0.21				
	7	0.15	0.12				
	14	0.30	0.19				
	30	0.23	0.19				
N-NH ₃ /N-total	0	0.54	0.28	0.74	0.01	0.04	0.11
	3	2.71	0.28				
	7	2.83	0.62				
	14	7.66	1.17				
	30	3.09	2.04				

¹ Media de 2 repeticiones, ² Medias con letras distintas tienen diferencias significativas utilizando la prueba estadística de Tukey (P<0.05).³Error estándar de la media

Otras investigaciones locales han obtenido resultados similares al evaluar la producción de henilaje en pacas cilíndricas como método de conservación en gramíneas naturalizadas (González y Rodríguez, 2002) y leguminosas tropicales (e.i., *Stylosanthes guienensis*; Vazquez, 2009). En los citados estudios, se observaron fermentaciones pobres con pH altos, poca producción de ácido láctico y bajas poblaciones de BPAL. Esos autores atribuyeron los resultados a los bajos contenidos de CSA presentes en el material vegetativo fresco de las GTN y LT, además de la capacidad amortiguadora de esta última. En cambio, las distintas variedades de sorgo presentan contenidos óptimos de CNE para promover la fermentación láctica y bajos o moderados contenidos de PB y otros ácidos orgánicos asociados que aportan a la capacidad amortiguadora de los forrajes o su capacidad de resistir cambios en pH durante la fermentación (Vázquez, 2009). Las características químicas iniciales favorables del sorgo para conservarse de forma anaeróbica y la pobre fermentación obtenido al henilarlo en pacas cilíndricas hacen inferir que son otras condiciones, como la falta de compactación adecuada, la baja densidad del material al henilarse y una duración prolongada de la fase “lag” durante la fermentación, las que podrían limitar la debida formación de henilaje utilizando el aludido método. Las características físicas de ambas variedades de sorgo evaluadas, como la alta proporción de tallos y el tamaño de partícula relativamente grande del material vegetativo al momento de empacarse, puede haber impedido la compactación adecuada del mismo, aumentando así la presencia de oxígeno y ocasionado las

condiciones para fermentaciones secundarias no deseables. En otros estudios relacionados, también la conservación de forrajes en pacas cilíndricas resultó en fermentaciones inestables, debido posiblemente a la compactación inadecuada del material vegetativo al momento de empacarse (Kung y Stokes, 2001)

5.3 Características fermentativas de SX y SF ensilados en microsilos

En la segunda fase de esta investigación se evaluó las características fermentativas de ambas variedades de sorgo al ensilarse en microsilos bajo condiciones de laboratorio. El sorgo de 60 días de rebrote usado para este propósito presentó una composición química similar al utilizado en la fase anterior para hacer henilaje en pacas cilíndricas y cosechado a 90 días de crecimiento (Cuadros 1 y 3). Sin embargo, y contrario a lo observado durante su henilamiento en pacas cilíndricas, la conservación de ambas variedades como ensilaje en microsilos produjo características fermentativas satisfactorias (Cuadro 4).

Cuadro 3. Composición química del rebrote de Sudax y Sorgo forrajero cosechado a 60 días de crecimiento

Fracción Química ¹ (%)	Variedad de sorgo ³			
	Sudax	Sorgo Forrajero	EEM ⁴	P
MS	31.68	31.60	0.94	0.96
MO²	93.23	92.46	0.04	0.06
MI²	6.78	7.55	0.04	0.06
PB²	6.95	6.50	0.76	0.66
FDN²	56.25	55.30	3.28	0.65
FDA²	38.05	36.80	0.51	0.22
HC²	18.20	18.50	1.46	0.83
CNF²	30.35	31.15	1.52	0.58

¹ Media de 2 repeticiones, ² Base seca, ³ Medias con diferentes letras en la misma fila muestran diferencias significativas utilizando la prueba de Tukey (P<0.05), ⁴ Error estándar de la media.

Cuadro 4. Productos de fermentación y pH en diferentes intervalos de días de SF y SX ensilados en microsilos.

Componente ¹	Días de fermentación	Variedades de sorgo				Valor de Probabilidad	
		Sudax	Forrajero	EEM ³	Var	Día	Var*Día
pH	0	4.73	4.64	0.01	0.33	0.01	0.97
	3	4.27	4.22				
	7	4.11	4.05				
	14	4.03	4.01				
	30	3.81	3.81				
<i>Productos de fermentación (%)</i>							
Acido láctico	0	0.01	0.01	0.01	0.36	0.01	0.53
	3	0.08	0.15				
	7	0.20	0.25				
	14	2.97	2.11				
	30	1.12	0.95				
Acido acético	0	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.23
	3	0.36	0.22				
	7	0.30	0.22				
	14	0.25	0.16				
	30	0.39	0.32				
Acido propiónico	0	0.01	0.05	0.01	0.28	0.01	0.25
	3	0.01	0.01				
	7	0.01	0.01				
	14	0.01	0.01				
	30	0.01	0.0				
Acido butírico	0	.	.	0.01	0.30	0.76	0.75
	3	0.02	0.01				
	7	0.01	0.01				
	14	0.01	0.01				
	30	0.01	0.01				
NH ₃ -N/N-total	0	0.22	0.19	0.01	0.09	0.32	0.20
	3	0.54	0.43				
	7	0.54	0.00				
	14	0.45	0.38				
	30	0.90	0.24				

¹ Media de 2 repeticiones, ² Medias con letras distintas en la misma fila tienen diferencias significativas utilizando la prueba estadística de Tukey (P<0.05). ³ Error estándar de la media.

Las características de los ensilados de las 2 variedades de sorgo fermentados en microsilos, concuerdan con la obtenida por otros autores que evaluaron sorgo ensilado en ambiente tropical (Martínez, 1998; Rodríguez, 1996). En este experimento no se observaron diferencias atribuibles a la variedad de sorgo, al final del periodo fermentativo (30d). En ambos casos el pH fue menor de 4.20, valor indicativo de una fermentación dominada por BPAL. Esto ocurrió a pesar de que el ácido láctico demoró en aumentar su concentración, alcanzando su punto máximo a los 14 d; y luego decreció hasta los 30 d de fermentación. El contenido de ácido acético fue mayor ($P < 0.05$) en henilaje de SX que en SF con valores finales de 0.39 y 0.32% respectivamente. No se observaron diferencias entre variedades en los contenidos de ácidos propiónico y butírico, ni en la proporción de nitrógeno amoniacal/N-total. Esta última ($< 1\%$), es indicativo de que no ocurrieron fermentaciones secundarias, como suele suceder en el ensilamiento de otras gramíneas tropicales con bajo contenido de CSA fermentables sin adición de preservativos, o leguminosas forrajeras con alto o moderado contenido de PB (González y Rodríguez, 2002).

En un estudio relacionado, Martínez Freitas (1998) ensiló sorgo granífero en microsilos y encontró productos de fermentación no concordantes con los cambios en acidez observados durante el transcurso de la fermentación. Dichas observaciones indican la heterogeneidad de la ecología microbiana asociada con la fermentación de los ensilajes tropicales resultado de la utilización de diferentes sustratos durante el proceso de ensilamiento. Informes de otros estudios realizados en climas tropicales también han señalado fermentaciones poco estables durante el período de ensilamiento, con cambios no definidos en composición química, poblaciones

microbianas y productos de fermentación (Tjandraadmadja et al.,1991, Panditharatne et al.,1986). Con base en los resultados presentados, la conservación de sorgo como ensilaje bajo condiciones tropicales luce promisorio y necesita ser evaluada en escala grande como alternativa al ya tradicional sistema de conservación de GTN como heno. Sin embargo, la utilización de pacas cilíndricas para la conservación de las dos variedades de sorgo en forma de henilaje no parece ser el método más apropiado evidenciado por los resultados obtenidos en este experimento.

5.4 Consumo voluntario y digestibilidad aparente de MS, PB y FDN

En este experimento se evaluó el consumo y la digestibilidad de la MS, PB y FDN de las dos variedades de sorgo ofrecidas a ovinos en forma de henilaje como dieta única. El contenido porcentual de estas tres fracciones difirió entre los dos henilajes ofrecidos pero no estadísticamente en el caso de la MS (Cuadro 5). El contenido de MS fue 5.52 unidades porcentuales mayor ($P=0.05$) en el henilaje de SX que en el de SF ofrecidos ambos después de 30 días de fermentación. El contenido de PB fue mayor por 2.07 unidades porcentuales en SF que SX (9.07% vs 7.00%) pero el de paredes celulares fue menor por 4.99 unidades. Los valores de PB encontrados en este experimento coinciden con los observados por Balwani et al. (1969) de 7.5% y 10.1% en sorgo forrajero y granífero, respectivamente.

Cuadro 5. Contenido porcentual de MS, PB y FDN de los henilajes ofrecidos

Componente	Variedad ³		EEM	P
	Sudax	Sorgo Forrajero		
MS	53.48	47.96	7.05	0.34
PB²	7.00 ^a	9.07 ^b	0.01	0.01
FDN²	59.23 ^a	54.24 ^b	0.01	0.01

¹Valores basados en una muestra del forraje ofrecido ²Base seca, ³Valores con letras distintas en la misma línea tienen diferencias significativas utilizando la prueba estadística de Tukey.

Durante la prueba de alimentación con ovinos, la cantidad ofrecida (g/d) de MS de los dos materiales vegetativos fermentados fue estadísticamente similar, en cambio, las cantidades de PB y FDN ofrecidas variaron conforme a la composición química porcentual de los henilajes (Cuadro 6). El ofrecimiento de PB fue mayor (P=0.03) y el de FDN (P=0.01) menor en animales alimentados con SF que SX. Se observó un mayor rechazo de MS, PB y FDN en ovinos alimentados con SX que SF. Hubo notables diferencias en el consumo voluntario (g/d) de MS (801.7 vs 482.7), PB (76.2 vs 39.2) y FDN (374.1 vs 192.9) a favor de SF sobre SX (Cuadro 6).

Cuadro 6. Consumo voluntario y digestibilidad de la MS, PB y FDN de dos variedades de sorgo heniladas en pacas cilíndricas

Componente	Variedad		EEM	P
	Sudax	Sorgo Forrajero		
Alimento Ofrecido (g/d)				
MS	1157.3	1055.54	5.80	0.17
PB	81.01 ^b	95.00 ^a	0.49	0.03
FDN	685.46 ^a	569.99 ^b	3.22	0.01
Alimento Rechazado (g/d)				
MS	674.59 ^a	253.82 ^b	6.91	0.01
PB	41.78 ^a	18.92 ^b	0.52	0.01
FDN	492.59 ^a	195.93 ^b	4.47	0.01
Consumo (g/d)				
MS	482.71 ^b	801.72 ^a	7.87	0.01
PB	39.23 ^b	76.17 ^a	0.63	0.01
FDN	192.87 ^b	374.06 ^a	5.02	0.01
Digestibilidad (%)				
MS	41.92 ^a	64.90 ^b	0.55	0.01
PB	47.09 ^a	70.68 ^b	0.42	0.01
FDN	43.87 ^a	45.10 ^a	0.97	0.90

Valores con letras diferentes difieren significativamente ($p < 0.05$). EEM- Error estándar de la media.

El consumo voluntario de los animales está influenciado por las condiciones ambientales, por rasgos inherentes de la planta y propios del animal y por las características organolépticas (olfativas, de sabor, visuales y táctiles) del alimento ofrecido. En este estudio el mayor contenido de ácido butírico y nitrógeno amoniacal, asociado con la casi ausencia de ácido láctico, observado en el henilaje de SX pudo haber afectado adversamente el consumo voluntario del mismo por los ovinos. La presencia de ácido butírico y amoníaco en forrajes conservados húmedos se ha relacionado con una disminución en el consumo voluntario animal por asociarse con la putrefacción y olor a rancidez (McDonald et al., 1981). La producción de butirato y

amoníaco es el resultado de fermentaciones secundarios donde diferentes tipos de microorganismos (e.i. *Clostridia*) hidrolizan carbohidratos o compuestos nitrogenados. Estos procesos son contrarios a la producción de buenos forrajes conservados. Visualmente también se observó una mayor cantidad de hongos, predominantemente blancos, en el henilaje de SX que en él de SF. Aunque no se relacionaron estos con la producción de toxinas y ni se enumeraron o identificaron en esta investigación, los hongos de los géneros *Geotrichum* y *Mucorales* se caracterizan por la formación de colonias de coloración blanca y su presencia en los ensilajes se asocia inversamente con el consumo voluntario de los animales (Silage Management Handbook, 2000). Este factor pudo ser determinante en el bajo consumo de forraje observado en los ovinos alimentados con henilaje de SX, el cual representó solamente el 1.55 % del peso vivo de los animales en base seca diariamente, contrario al henilaje de SF que fue consumido a razón de 3 % de PV (Figura 8).

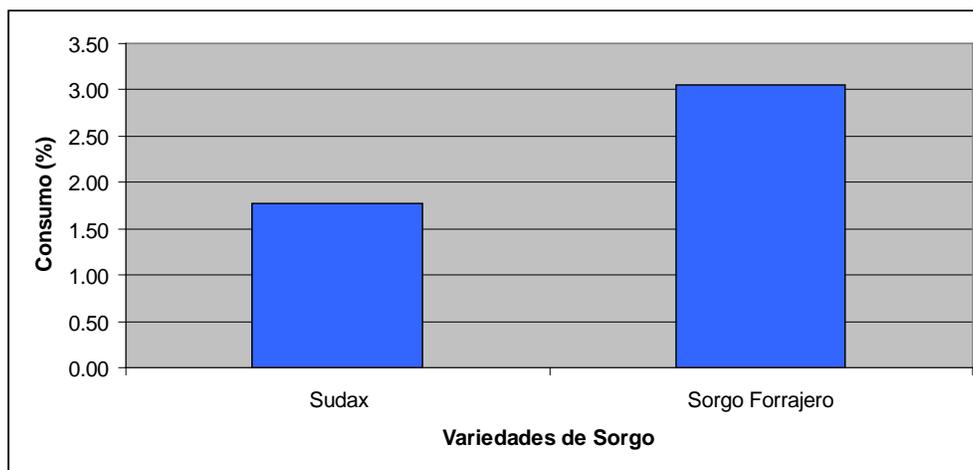


Figura 8. Consumo diario de materia seca de henilaje de SF y Sudax por los ovinos en relación al peso vivo.

En otras investigaciones también la conservación de GTN en pacas cilíndricas generalmente ha resultado en fermentaciones pobres, lo cual hace el forraje susceptible al deterioro aeróbico conducente a una disminución en su valor nutritivo. También, este tipo de henilaje está asociado a una baja aceptación animal y bajo CV debido a sus alto contenido de amoníaco y aminos (León, 2003; González, 2002; Harrison et al.,1994).

En investigaciones con henilaje de LT en pacas cilíndricas también se ha visto la presencia de hongos y levaduras en el forraje al momento de su exposición aeróbica, lo que afectó adversamente el consumo voluntario por ovinos y caprinos (Vázquez,2009).

Además de un mayor consumo voluntario del henilaje de SF, en este experimento también se observó mayor digestibilidad de la MS y PB de SF ($P < 0.05$), pero la de su FDN fue similar a SX (Cuadro 6). Los valores de digestibilidad observados en el henilaje de SF coinciden con los de investigaciones previas para evaluar variedades de sorgo forrajero conservado como ensilaje en rumiantes. Balwani et al. (1969) obtuvieron una digestibilidad de la MS de 55% para sorgo forrajero, valor mayor que el observado en sorgo granífero. Los mismos autores reportaron una digestibilidad de PB de 36% en sorgo granífero, la cual consideraron sumamente baja para un material vegetativo con un contenido de PB de 10.1%.

Ward et al. (2001) realizaron un estudio de 2 años para determinar la composición y digestibilidad de ensilajes de sorgo forrajero, “pearl millet” y maíz, obteniendo respectivos valores de digestibilidad de la MS de 56.83, 51.36 y 58.13 %. En ambos años, se encontraron valores similares para el maíz y el sorgo forrajero, por lo que la decisión de utilizar un cultivo u otro sería a base de otras consideraciones

como rendimiento, economía, equipo y maquinaria disponible y condiciones climáticas regionales.

Oliver (2004) también evaluó la digestibilidad de nutrientes de dos híbridos de sorgo forrajero y ensilaje de maíz y sus resultados concuerdan con los del presente experimento. El sorgo tuvo las digestibilidades: MS, 52.5 %; PB, 51.3 % y FDN, 40.8 %. Las diferencias en coeficiente de digestibilidad entre variedades de sorgo, como el convencional forrajero, el Brown Mid Rib (BMR) e híbridos de sorgo-sudan, se explican por diferencias en la extensión y la digestión de la FDN, siendo éstas menores en sorgos no mejorados (Dann, 2008).

En los resultados presentes, las digestibilidades de la MS, PB y FDN de SF fueron mayores que las de SX por 22.98, 23.59 y 1.23 unidades porcentuales, respectivamente. Además se observaron características fermentativas menos deseables y mayor deterioro aeróbico en el henilaje de SX que en el de SF.

El bajo consumo de MS y por ende de PB de los ovinos alimentados con SX fermentado puede haber influido negativamente la digestibilidad de la MS y la de otros nutrimentos. El contenido porcentual inicial de PB del henilaje de sorgo sudax fue de 7%, valor menor al mínimo requerido teóricamente (8%) para mantener un funcionamiento ruminal adecuado. Este valor marginalmente deficiente asociado a cierto grado de hidrólisis de los compuestos nitrogenados durante el proceso de fermentación podría explicar la baja digestibilidad aparente de la PB y posiblemente, en menor grado, la de paredes celulares en ovinos alimentados con henilaje de SX. Ovinos adultos bajo condiciones de mantenimiento requieren en teoría un promedio de

60 a 100 g de PB/d en dependencia de su PV (NRC,1985), cantidad muy por encima del consumo observado (39 g/d) en este experimento.

6.0 Conclusiones

- Al conservarse como henilaje las variedades de sorgo forrajero (SF) y Sudax (SX) en pacas cilíndricas las dos mostraron características fermentativas pobres, caracterizadas por valores de pH mayores de 5, y poca producción de ácido láctico; si bien el SF lució ligeramente mejor en este respecto, las diferencias no fueron significativas estadísticamente. Por lo tanto es problemático el uso de este método para conservar estos sorgos.
- Por el contrario, al ensilar estas mismas variedades en microsilos de laboratorio se obtuvieron valores de pH menores de 4.20, concentraciones de ácido láctico mayores de 2% y muy baja proporción N-amoniacoal/N-total (<1%), lo que es indicativo de que no ocurrieron fermentaciones secundarias contrario al henilado. Entonces bajo condiciones bien controladas estos sorgos pueden conservarse bien por medio de la fermentación.
- Hubo diferencias en la prueba in vivo con ovinos de la MS (64.9 vs. 41.9 %) y la PB (70.7 vs. 47.1%), pero no significativamente en digestibilidad de la FDN (45.1 vs. 43.9 %); posiblemente estas diferencias sean reflejo de un nivel marginalmente deficiente de PB en el SX (7.0%) relativo al SF (9.07%) y a mayor desarrollo de hongos observado visualmente en aquel.

7.0 Implicaciones

No sería razonable descartar el posible uso de henilaje de estos sorgos en pacas cilíndricas basándose en los resultados de esta investigación únicamente, pero para que tenga éxito semejante empeño en el futuro se precisará un proceder mejor que el presente, tal vez mediante una más apretada compactación del material vegetativo en las pacas o un envolvimiento de plástico más perfecto de las pacas para evitar las fermentaciones secundarias.

8.0 Referencias

AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Arlington, VA.

Arias Carrasquillo, F. 1998. Características fermentativas y estabilidad aeróbica de dos variedades de maíz tropical y hierba guinea ensilada a diferentes estados de madurez. Universidad de Puerto Rico. Tesis MS.

Ball, D. M., C. S. Hoveland and G. D. Lacefield, 2002. Southern Forages, 3rd Ed. Williams Printing Co., Atlanta, Georgia.

Balwani, T.L. 1969. Evaluation of green chop and ensiled sorghums, corn silage and perennial forages using digestión trials and VFA production in sheep. J. Anim Sci. 28:90-97.

Correa, H.J., H. Arroyave, Y. Henao, A. López, J.M Cerón. 2009. Pasto Maralfalfa: Mitos y Realidades (Parte Segunda).Producción Animal. Univ. Nac. de Colombia; Cooperativa COLANTA.
http://www.engormix.com/pasto_maralfalfa_mitos_realidades_s_articulos_440_GDC.htm

Chalkling,D.J. 2008. Ensilaje de grano húmedo.
http://www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/86-grano_humedo.pdf

Dann, H.M, R.J. Grant, K.W. Cotanch, E.D. Thomas, C.S. Ballard and R. Rice. 2008. Comparison of brown midrib sorghum-sudangrass with corn silage on lactational performance and nutrient digestibility in Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 91:663-672

González, G. and A.A, Rodríguez. 2002. Effect of storage method on fermentation characteristics, aerobic stability, and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales. *J. Dairy Sci.* 86:926-933.

Harrison, J.H and R.Blauwikel, 1994. Fermentation and utilization of grass silage. *J. Dairy Sci.* 77:3209-3235.

Kung, L., Jr., and M.R. Stokes. 2001. Analyzing silages for fermentation end products. http://ag.udel.edu/anfs/faculty/kung/articles/analyzing_silages_for_fermentati.htm

León Alamo, F.J. 2003. Consumo voluntario y digestibilidad de nutrientes de heno de gramíneas tropicales nativas y ensilaje de sorgo y el efecto de la suplementación con residuos fermentados de pescadería. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Tesis M.S.

Martínez Fleitas, J. 1998. Efecto de la aplicación de aditivos comerciales sobre las características fermentativas y estabilidad aeróbica de forrajeras ensiladas en ambientes tropicales. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Tesis M.S. pp.15, 28-31.

McDonald, P. 1981. *The Biochemistry of Silage*. John Wiley & Sons, LTd. Chichester, UK. pp.226.

Miller, D.A. 1984. *Forage Crops*. McGraw-Hill Book Company. New York, NY. pp. 486-495.

Miron, J., E. Zuckermanb, D. Sadehc ,G. Adinb, M. Nikbachata, E. Yosefa, D. Ben-Ghedalia, A. Carmia, T. Kipnisa, and R. Solomonb. 2005. Yield, composition and in vitro digestibility of new forage sorghum varieties and their ensilage characteristics. *Anim. Feed Sci. Tech.* 120: 17–32.

Nutrient Requirements of Sheep. 1985. 6th Ed. National Academy Press. Washington, D.C. pp. 112.

Oliver, A.L. R.J. Grant, J.F. Pedersen, and J. O' Rear. 2004. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 87:637-644.

Panditharatne, S. V.G. Allen, J.P. Fontenot and M.C.N. Jayasuriya.1986. Ensiling characteristics of tropical grasses as influenced by stage of growth, additives and chopping length. J. Anim Science. 63:197-207.

Robles Sánchez, R. 1975. Producción de Granos y Forrajes. Editorial Limusa, Mexico. D.F. pp.583-587.

Rodríguez, A.A. 1996. Studies on the efficacy of a homofermentative lactic acid producing bacterial inoculant and commercial, plant cell wall- degrading enzyme mixtures to enhance the fermentation characteristics and aerobic stability of forages ensiled in temperate and tropical environments. Michigan State University. PhD dissertation. pp.35

SAS Inst., 1990. SAS/STAT® User's Guide (Release 6.12). SAS Inst., Inc., Cary, NC.

Silage Management Handbook. 2002. A resource to help you maximize the value of your forage. Lallemand Animal Nutrition.

Tjandraatmadja, M., B.W. Norton and I.C. MacRae.1991. Fermentation patterns of forage sorghum ensiled under different environmental conditions. Wd J. Microbiol. Biotech. 7: 206-218.

Torrecillas, M. 2006. Las claves en los cultivos de sorgo destinados a reservas. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

<http://www.ipcva.com.ar/files/Las%20claves%20en%20los%20cultivos%20de%20sorgo%20destinados%20a%20reservas.doc> .

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.* 74:473-481.

Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd Edition. Comstock Publishing Associates, Ithaca New York.

Vázquez Ortiz, M. 2009. Características fermentativas, estabilidad aeróbica, consumo voluntario y degradabilidad *In vitro* de henilaje de *Stylosanthes guianensis*. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Tesis M.S. pp.16,28,42

Ward, J.D., D.D. Redfearn, M.E. McCormick, and G.J. Cuomo. 2000. Chemical composition, ensiling characteristics, and apparent digestibility of summer annual forages in a subtropical double-cropping system with annual ryegrass. *J. Dairy Sci.* 84:177-182.

Woolford, M.K. 1984. *The Silage Fermentation*. Microbiological Series, No.14. Marcel Dekker: New York, and Basle.

9.0 Apéndice

Apéndice 1. Consumo voluntario de la MS de dos variedades de sorgo heniladas en pacas cilíndricas

Variedad	Animal	PV (Kg)	Día	Consumo MS (Kg/d)
Sudax	1	23.59	1	0.61
			2	0.20
			3	0.19
			4	0.18
			5	0.65
	2	28.12	1	0.37
			2	0.16
			3	0.30
			4	0.80
			5	0.49
	3	29.94	1	0.55
			2	0.49
			3	0.76
			4	0.34
			5	0.39
	4	34.02	1	0.13
			2	0.87
			3	0.72
			4	0.72
			5	0.81
Sorgo forrajero	1	28.12	1	0.51
			2	0.50
			3	0.60
			4	1.26
			5	0.46
	2	28.58	1	0.64
			2	0.78
			3	1.43
			4	0.46
			5	0.46
	3	29.03	1	0.68
			2	1.37
			3	0.50
			4	0.52
			5	0.64
	4	23.59	1	1.44
			2	0.66
			3	0.75
			4	0.92
			5	1.45

PV= Peso Vivo.