

Composición química y características fermentativas de ensilaje de cuatro variedades comerciales de sorgo forrajero en un suelo vertisol en Puerto Rico.

Por

José R. Delgado Torres

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

INDUSTRIA PECUARIA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGUEZ
2013

Aprobado por:

Teodoro Ruiz, Ph.D.
Presidente de Comité Graduado

Fecha

Héctor Sánchez, Ph.D.
Miembro de Comité Graduado

Fecha

Ernesto Riquelme, Ph.D.
Miembro de Comité Graduado

Fecha

José Latorre, Ph.D.
Director del Departamento de Industria Pecuaria

Fecha

Jay Omar Soto, M.S. , M.I.S.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

ABSTRACT

An evaluating of four different varieties of commercial Sorghum compared with the Mayorbela corn. Three of the sorghum varieties evaluated contained the bmr (triunfo, pampa verde, and centurion) gene, and one did not possess the bmr (pampa pacas) gene. All sorghum varieties and the corn were planted and were harvested after 84 days in an experimental design in randomized blocks with 5 treatments times 4 repetitions. The samples were sent to the DairyOne Laboratory in Ithaca, NY for Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), and Acid Detergent Fiber (ADF), Total digestive nutrients (TDN) and estimates lactation metabolic energy (EN_L). A second sampling of whole plants was done. Experimental PVC silos were filled with approximately with 2Kg of vegetative material that was ensilaged. The vegetative material was ensilaged for 21 days. After this period the silos were opened and pH and aerobic stability tests were performed. Sorghum varieties whether they possessed the bmr gene or not showed higher values of NDF than the corn. Statistically speaking, the no bmr pacas sorghum variety had the most percentage of NDF with an average of (63.58%, $P<0.05$), followed by the bmr varieties both significantly similar to the pacas variety; triunfo 57.03%, and green 57.83%.The centurion variety had the lowest NDF content with an average of 54.45%.The Mayorbela corn was the one with less content of NDF when compared to all the sorghum varieties with 29.18%.The corn also showed the lowest number in terms of ADF and showed significant difference ($P<0.05$) when compared to all the sorghum varieties studied.

The sorghum varieties, whether they had the bmr gene or not did not showed a significant difference in the content of ADF within themselves. None of the treatments studied presented any significant difference ($P>0.05$) in terms of CP %. In terms of the estimated percentage of Total Digestive nutrients (TDN), the pacas variety was the only one that showed a significant difference with the lowest percentage (55.75%), the corn percentage was higher than all the sorghum varieties studied with 58.25%. Except for the pacas all varieties did not present a significant difference in TDN content. The Pacas variety also presented the less amount of estimated lactation metabolic energy (EN_L) ($1.08 \text{ Mcal kg}^{-1}$). There was no significant difference between the AS and pH of the sorghum varieties and the corn ($P>0.05$). Both the ensilages of the sorghum varieties that have the BMR gene (Triunfo, Verde, and Centurion) and the sorghum varieties that don't have the gene (Pacas) as well as the corn where stable during the first 24 hours of aerobic exposition.

Resumen

Se evaluaron cuatro variedades de sorgos comerciales con el maíz mayorbela, Tres variedades de sorgo forrajero triunfo (BMR), pampa verde (BMR) y—pacas y una variedad intermedia centurión (BMR).El diseño experimental evaluado fue de bloques aleatorizados (5x4). Los forrajes fueron cosechados a los 84 días post- siembra. Una muestra fue enviada al laboratorio DairyOne, en Ithaca, NY para análisis de valor nutritivo. La segunda muestra fue ensilada en silos experimentales de 2 kg. Al día 21 los silos fueron analizados para pH y estabilidad aeróbica por 72 horas. Las variedades de sorgo, independientemente de que poseyeran o no el gen BMR, mostraron mayores contenidos de FDN que el de maíz. El sorgo forrajero mostró un mayor contenido de FDN (63.58 %, $P < 0.05$) que los ensilados de las variedades BMR, Triunfo (57.03%) y Verde (57.83%). Entre los sorgos, la variedad BMR intermedio, Centurión tuvo el menor contenido de FDN (54.45%) y fue similar a la del maíz (52.68%).No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de FDA entre las variedades de sorgo, (36.21 %). Sin embargo, el contenido de FDA del ensilaje de maíz (29.18 %) fue significativamente ($P < 0.05$) el más bajo. No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de PB (7.8 %). El contenido de NDT de la variedad forrajera Pacas (55.50 %) fue inferior al del resto de las variedades. No hubo diferencias. El contenido de EN_L siguió un patrón similar y se observó que la variedad Pacas fue el que presentó el menor valor ($1.08 \text{ Mcal kg}^{-1}$). Tanto los ensilajes de las variedades de sorgo que poseen el gen BMR

(Triunfo, Verde y Centuri3n) como los de las que no lo poseen (Pacas) y el de ma3z fueron estables durante las primeras 24 horas de exposici3n aer3bica. El sorgo intermedio BMR se comport3 de manera similar al ma3z en t3rminos de su composici3n qu3mica y estabilidad aer3bica.

DEDICATORIA

La realización de este trabajo primeramente se lo dedico a Dios por darme la fortaleza y la paciencia para lograr mi meta. A mi padre José Ramón Delgado Mora, quién desde pequeño me enseñó lo que significa trabajar y ganarse el respeto de tus compañeros, siempre recordare sus palabras: “Hijo mío estudia para que no pases por lo que yo he pasado”. A mi madre María Del Carmen Torres Martínez que me ha fomentado el respeto y la humildad ante todo. A mi hermana Jessica Delgado Torres quien nunca ha tenido un “No” para mí. A mi tía Benita Torres Martínez siempre me has apoyado y me has tratado como un hijo más. A todas esas personas que de un modo u otro han sido parte de mi desarrollo profesional y personal.

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero agradecerle a Dios que con él lo puedo todo, sin él no puedo nada. Quiero agradecer a mis padres a quienes le debo el ser humano que soy hoy en día. A mi comité graduado a Dr. Teodoro Ruiz, Dr. Ernesto Riquelme y Dr. Héctor Sánchez por sus correcciones y consejos, para la realización de mi tesis. A mis padres postizos que siempre han estado conmigo y me han acobijado en su familia: Iván Rosa, Evelyn Santiago, Luis Acosta, Sylvia Pérez, Noel, Margarita Olivencia, Dr. Pedro Olivencia: "No puedo no existe en mi diccionario", Anamarys Morell, Armando Lasalle y a mi titi especial Benita Torres. A mis hermanos Jessica Delgado Torres, Raymond Mercado, Silvita, Nana, Silueny, Raúl Santiago, Luis (Ferfer), Lilibeth Torres Alers, Carlos Flores, Ivancito Rosa, Germán Valentín, José Cabrera, Emanuel Lasalle, José (Pepito) Orama. En especial a Ariel Muñoz, Javier Rivera Santana, Gabriel Figueroa, Vivi Rivera, Carlos Rosario y Alfredo Aponte por sacar de su tiempo para ayudarme en la realización de mi tesis quienes siempre tuve un sí para cualquier cosa que necesite. En fin les agradezco a todos los involucrados en la realización de dicho trabajo y de mi como persona.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Página
Abstract.....	ii
Resumen.....	iii
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	vii
Tabla de contenido	viii
Lista de cuadros	x
Lista de figuras	xi
Lista de abreviaturas.....	xii
1.0. Introducción.....	1
2.0. Objetivo.....	3
3.0. Revisión de Literatura.....	4
3.1. Características Agronómicas del Sorgo.....	4
3.2. Genotipos de Sorgo.....	5
3.2.1. Granífero.....	5
3.2.2. Forrajeros.....	6
3.2.3. Forrajeros sileros.....	6
3.3. Lignina y Sorgos Brown Mid Rid (BMR).....	10
3.3.1. Lignina.....	10
3.3.2. Brown Mid Rid (BMR).....	10

3.4. Rendimiento de Materia seca del Sorgo.....	11
3.5. Valor Nutritivo de Sorgo.....	12
3.5.1. Valor nutritivo ensilajes de sorgo y calidad de ensilaje.....	15
3.6. Ventajas de la siembra de sorgo.....	17
3.7. Bioquímica del ensilaje.....	18
3.8. Microorganismos del ensilado	19
3.8.1. Bacterias productoras de ácido láctico.....	20
3.8.2. Levaduras y hongos.....	24
3.8.3. Enterobacterias.....	24
3.8.4. Clostridos.....	25
3.9. Estabilidad Aeróbica y pH.....	25
3.9.1. pH.....	28
3.10. Ensilaje.....	29
4.0. Procedimiento experimental.....	31
4.1. Descripción de los tratamientos experimentales.....	32
4.1.1. Muestreo y ensilado.....	33
5.0. Resultados y Discusión.....	35
5.1. Composición Química.....	35
5.2. Estabilidad Aeróbica y pH.....	40
6.0. Conclusiones.....	43
7.0. Referencias.....	44

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Efecto de híbrido y cultivar en valor nutritivo de sorgos planta Entera con granos ESG y sorgos forrajeros ensilados ESF.	7
Cuadro 2: Promedios rendimiento forrajero y porcentajes de partes de la planta de los cultivos para ensilajes de cultivares de sorgo.	8
Cuadro 3: Valores promedio de fracciones nutricionales de ensilajes de distintos genotipos de sorgos.	9
Cuadro 4: Consumo de alimento y respuesta animal de novillos alimentados con ensilajes de sorgos de distintos genotipos.	9
Cuadro 5: Medias para los componentes del rendimiento y calidad de seis variedades de sorgo.....	11
Cuadro 6: Producción de materia seca de genotipos de sorgo forrajero.	12
Cuadro 7: Composición química, en diferentes edades de crecimiento planta entera del sorgo negro forrajero.....	13
Cuadro 8: Composición química de ensilajes de planta entera y rastrojo de dos híbridos de sorgo.....	16
Cuadro 9: Efecto del tiempo de exposición al aire sobre la estabilidad aeróbica de ensilaje de pasturas tropicales.....	27
Cuadro 10: Composición química de cuatro variedades de sorgo y de maíz cosechados a los 84 días post- siembra.....	35
Cuadro 11: Temperaturas alcanzadas por ensilajes de cuatro variedades comerciales de sorgo y de maíz tras 72 horas de exposición al aire.....	41

Lista de Figuras

	Página
Figura 1. Fermentación de glucosa y fructosa por bacterias productoras de ácido lácticas homofermentativas.....	22
Figura 2. Fermentación de glucosa y fructosa por bacterias productoras de ácido láctico heterofermentativas.....	23
Figura 3. Localización de siembra.....	31
Figura 4. Sembradora de dos hileras.....	32
Figura 5. Microsilos experimentales.....	34
Figura 6. Ensilajes de sorgos y maíz expuestos a condiciones aeróbicas en recipientes de poliestireno forrado con bolsas de plástico.....	34
Figura 7. Contenido (%) de FDN de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.....	36
Figura 8. Contenido (%) de FDA de cuatro variedades comerciales de sorgos y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.....	37
Figura 9. Contenido de PB (%) de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post- siembra.....	38
Figura 10. Contenido de NDT (%) de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.....	39
Figura 11. Contenido de EN_L ($Mcal\ kg^{-1}$) de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.....	40
Figura 12. Temperatura ($^{\circ}C$) de ensilajes de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días de crecimiento durante 72 horas de exposición al aire.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS

Acido Láctico	AL
“Brown Mid Rib” o Nervadura marrón	BMR
Bacterias productoras acido Láctico	BPAL
Carbohidratos solubles en agua	CSA
Digestibilidad “in vitro”	DIV
Estabilidad aeróbica	EA
Ensilajes de maíz	EM
Energía neta para la producción de leche	EN _L
Ensilajes de sorgos	ES
Fibra detergente acida	FDA
Fibra detergente neutra	FDN
Ganancia diaria peso vivo	GDPV
Materia seca	MS
Nutrientes digeribles totales	NDT
Proteína bruta o cruda	PB o PC
Peso vivo	PV
Sorgos convencionales	SC

1.0. Introducción

La industria local de producción de leche está enfrentando problemas económicos en parte como resultado de una pobre eficiencia productiva de las vacas lecheras. La baja calidad de los forrajes tropicales influye en que el desempeño de los animales sea menor en comparación con animales de climas templados. Por esta razón, es necesario explorar alternativas de forrajes de mayor calidad y valor nutricional, como lo es el sorgo.

El sorgo es una gramínea de origen Africano, introducida a Puerto Rico por su desempeño y características agronómicas tales como: resistencia a sequias, alto rendimiento y mayor valor nutritivo en ambientes tropicales (Miron et al., 2005). En comparación con otras gramíneas como el maíz, el sorgo es más adaptable a diferentes tipos de suelos y resistente a largos periodos de sequias por su extenso sistema radicular (Miron et al., 2005). Además de su alto rendimiento, algunas variedades de sorgo tienen la capacidad de producir materia seca (MS) y fibra detergente neutra (FDN) de una alta digestibilidad (Miron et al., 2005). Por estas características, en los últimos años, ha existido un interés particular en la producción de sorgo localmente.

El uso de ensilajes es una alternativa alimentaria que permite preservar y almacenar el forraje con el objetivo de brindar el valor nutritivo similar al cosechado para disponer del mismo durante periodos de sequía, y en otras situaciones cuando la producción de pastos se reduce considerablemente (Weinberg et al., 1999). El ensilaje es un proceso de fermentación controlada de un forraje que posee un alto por ciento de humedad. En el ensilaje el factor principal es crear condiciones anaeróbicas (llenado y sellado del silo), comenzando la proliferación de bacterias anaeróbicas responsables de la preservación del forraje. La calidad del producto ensilado depende del valor alimenticio

del material ensilado, la técnica de cosecha y de ensilaje, y los productos de fermentación presentes, tipos de ácido y la cantidad de amoníaco (Mannetje, 2000). El uso de ensilaje representa las ventajas de reducir las pérdidas (por la lluvia, por caída de hojas etc.) en comparación con el henificado; además de cosechar el producto luego del corte sin esperar el marchitamiento del forraje como es el método de henificado (Noguer y Valles., 1977). También, permite almacenar grandes volúmenes de alimento para ofrecerlo en épocas de escasez o incrementar la carga animal. La fermentación láctica que realizan los microorganismos da un valor agregado a los productos vegetales porque mejora su digestibilidad y palatabilidad. También permite manejar los pastizales como un cultivo de corte y no exclusivamente como zona de pastoreo, lo cual mejora la rentabilidad y eficiencia de las explotaciones ganaderas.

El propósito de este trabajo de investigación es evaluar el rendimiento del ensilaje de cuatro variedades comerciales de sorgo sudán forrajero (pampa verde, pampa verde pacas, pampa triunfo y pampa centurión).

2.0 Objetivo

Evaluar cuatro variedades comerciales de sorgo en términos de composición química del forraje, pH y estabilidad aeróbica del ensilaje.

3.0. Revisión de Literatura

3.1. Características Agronómicas del Sorgo

El Sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) es el quinto cereal de mayor importancia a nivel mundial luego del: trigo, el arroz, el maíz y la avena; esto gracias a sus características agronómicas y nutricionales las cuales son de beneficio para el ganado y los seres humanos (Pérez et al., 2010). El sorgo es una planta de clima cálido, con inflorescencia en forma de panoja la cual puede tener desde 400 a 8000 granos (Pérez et al., 2010). El grano es ovalado y de un tamaño aproximado de 3mm; el color del grano varía desde blanco traslucido hasta rojo (Pérez et al., 2010). Es una especie que se desarrolla bien en climas cálidos y tropicales, soportan suelos salinos y de pH variados de 5.5 a 8.5 (Pérez et al., 2010). El Sorgo es una planta C4 similar al Maíz (*Zea mays*), esta posee un sistema de raíces radicales profundas lo que le permite una mejor persistencia en climas secos (Pérez et al., 2010). Además, el sorgo es un cultivo muy eficiente en el uso de agua lo que lo hace un cereal de importancia en áreas semiáridas y áridas donde la limitante en producción es el agua (AghaAlikhani et al., 2012). Este forraje posee una gran versatilidad como estabilidad de rendimientos, resistencia a condiciones adversas del clima y deficiencias de nutrientes en el suelo; creciendo en suelos donde no se puede producir maíz y otros cereales (Alcolea et al., 2005). Las plantas de sorgo han desarrollado varios métodos de defensa contra situaciones de sequías (Wang et al., 1989). Estos métodos incluyen el desarrollar raíces mucho más profundas para la obtención de agua, tallos gruesos para el almacenaje del agua, hojas finas y con cutículas gruesas, y en posiciones alternadas para evitar la insolación excesiva (Wang et al., 1989). Las hojas del sorgo son anchas, alternadas y ásperas en sus márgenes, además de

poseer la adaptación a condiciones de sequía debido a que permiten un mayor contenido de agua en las vacuolas de las hojas (Torres et al., 1988). Borrell et al., (2000) mencionan que mientras mayor sea el número de hojas en la planta de sorgo ocurrirá mayor fotosíntesis y mayor producción de granos resultando en un mayor rendimiento de materia seca del cultivo.

3.2.0. Genotipos de Sorgo

3.2.1 Granífero

En los sorgos graníferos de planta entera ensilados se puede aprovechar el 100% del cultivo, de ellos se obtiene al cosechar la planta entera para ensilaje de 40 al 60 % mayor rendimiento energético respecto a la cosecha del grano solamente. La mayor proporción de MS aportada por los granos es siempre deseable por el aporte de almidón, fuente de energía, aunque se debe correlacionar con la digestibilidad de toda la planta (hojas, tallos, etc). Todos aquellos factores que permitan una mayor proporción de MS de grano y una menor lignificación de la fibra favorecerán, finalmente, a una mayor digestibilidad de todo el material. Los sorgos graníferos presentan una gran producción de granos, obtienen rendimientos menores de MS que los forrajeros y menor altura (De León et al., 2005). Sin embargo, poseen una gran cantidad de almidón, y presentan fibra de baja calidad (De León et al., 2005). Kirch et al., (1988), White., (1989) y Siefers et al. (1997) evaluaron varios cultivares de sorgos graníferos y forrajeros para ensilar, estos investigadores encontraron que los ensilajes de sorgos graníferos obtuvieron mayor desempeño en porcentaje de MS, valores nutritivos más altos (>Proteína cruda, <FDN y FDA) y menos variabilidad entre híbridos en comparación con los sorgos forrajeros (**Cuadro 1**).

3.2.2. Forrajeros

De León, (2005) describe los sorgos forrajeros como productores de grandes cantidades de MS pero poca producción de granos los cuales poseen mayor proporción de fibra y alta digestibilidad de la misma. White et al. (1989) evaluaron 60 cultivares de sorgos forrajeros durante dos años (**Cuadro 1**).

3.2.3. Forrajeros sileros

Los sorgos forrajeros sileros son potencialmente aptos para producción de ensilaje por que poseen un alto contenido de azúcares solubles en tallo, con alturas de planta de hasta 2.8 m y que pueden tener o no incorporado el rasgo (BMR). Las variedades “sileros” producen una gran cantidad de MS por hectárea, tienen mayor proporción y digestibilidad de fibra; Además poseen una adecuada producción de granos, carbohidratos no estructurales y fibra de calidad (De León, 2005).

Cuadro 1. Efecto de híbrido y cultivar en valor nutritivo de sorgos planta entera con granos (ESG) y sorgos forrajeros ensilados (ESF)

Referencia (a)	Planta entera	PC	Ensilaje	
	Contenido MS		FDN	FDA
	%		% MS Ensilaje	
Kirch et al.(1988)				
ESG (3)	40.5 (38.0-44.0)(b)	10.7 (10.3-11.5)	40.3 (36.9- 43.5)	20.1 (19.1-20.4)
ESF(4)	32.0 (28.0-37.0)	8.3 (7.0-8.8)	57.0 (54.1-61.3)	33.0 (28.9-37.8)
White et al(1989)				
ESG(5)	34.0 (33.6-35.1)	9.1 (8.5-9.9)	43.4 (41.9-48)	24.5 (22.6-27.5)
ESF(7)	28.8 (23.3-34.4)	7.5 (6.7-8.3)	55.1 (47.3-60.0)	33.1 (29.6-38.5)
Siefers .,(1997)				
ESG(3)	36.0 (34.0-40.2)	10.4 (10.1-10.8)	46.8 (42.5-49.4)	27.9 (26.0-29.3)
ESF(37)	25.4 (22.9-39.9)	8.4 (7.2-10.1)	51.9 (45.1-58.0)	29.6 (27.3-36.5)
White et al ., 1989				
ESF(60)	27.5 (23.3-35.4)	6.5 (4.5-8.1)	57.6 (48.3-71.9)	35.6 (27.1-49.4)
ESF(60)	29.2 (24.0-34.8)	6.8 (4.9-8.3)	51.6 (44.0-67.8)	30.9 (24.3-40.3)

(a) el numero de cultivares utilizados en cada estudio

(b) Valores mínimos y máximos de cada clasificación

Adaptado de De león y Giménez, (2005).

De León y Giménez (2005) evaluaron seis genotipos de sorgos correspondientes a tres tipos distintos de cultivares: graníferos (G), forrajeros (F) e intermedios (sileros;l), en cuanto a su utilización para la confección de ensilajes. Determinaron su rendimiento, proporción de sus componentes (hoja, tallo y panoja), calidad forrajera y su respuesta animal (consumo y ganancia de peso) al ser utilizados como ensilajes en la alimentación de novillos. El rendimiento de MS de los cultivos fue mayor en los genotipos (I) (sileros) respecto a los forrajeros y los (G) presentaron rendimientos intermedios. Los tres tipos de

genotipos de sorgo se diferenciaron claramente por su proporción de tallo y de panoja (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedios rendimiento forrajero y porcentajes de partes de la planta de los cultivos para ensilajes de cultivares de sorgo.

Genotipo	Rendimiento (kg MS.ha ⁻¹)	Hoja (%)	Tallo (%)	Panoja (%)
F-Nutritop	9360 a	17.87 a	58.43 c	23.69 b
F-VDH 701	9832 a	36.83 b	62.53 c	0.63 a
G-VDH 314	14137 ab	18.11 a	39.67 a	42.22 d
G-VDH 302	13950 ab	19.65 a	34.53 a	45.82 d
I-VDH 422	17643 b	17.24 a	51.15 b	31.60 bc
I-A 9939 W	17011 b	19.49 a	48.69 b	31.82 c

Letras distintas en una misma columna difieren significativamente ($P < 0.05$)

Fuente: De León y Giménez, (2005).

En términos de calidad de los ensilajes los autores observaron diferencias significativas con excepción al contenido de lignina. Los genotipos graníferos (G) presentaron la mejor calidad debido a sus menores valores de FDN y FDA y, por lo tanto, obtuvieron las mayores digestibilidades y concentraciones energéticas debido al alto contenido de grano que provoca un efecto de disminución de la proporción de fibra (Cuadro 3.)

Cuadro 3. Valores promedio de fracciones nutricionales de ensilajes de distintos genotipos de sorgos.

Genotipo	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	Dig. (%)	CE (Mcal EM.kg MS ⁻¹)	Lignina (%)	MS (%)
I-A 9939 W	6.19 e	62.29 c	40.74 b	59.32 b	2.14 b	8.04 a	32.91 d
F-Nutritop	5.54 cd	58.69 b	39.66 b	60.08 b	2.16 b	8.51 a	31.08 c
Gr-VDH 302	5.37 c	52.09 a	34.32 a	63.82 c	2.30 c	8.00 a	33.23 d
Gr-VDH 314	5.80 d	53.11 a	34.68 a	63.57 c	2.29 c	8.15 a	32.69 d
I-VDH 422	5.01 b	61.53 c	40.58 b	59.44 b	2.14 b	7.89 a	29.73 b
F-VDH 701	4.49 a	65.73 d	45.55 c	55.95 a	2.01 a	8.58 a	26.41 a

Letras distintas en la misma columna difieren significativamente ($P < 0.05$). PB (proteína bruta); FDN: (fibra detergente neutro); FDA: (fibra detergente ácido); Dig: (digestibilidad); CE (concentración de energía metabolizable); MS: (materia seca).

Fuente: De León y Giménez, (2005).

Se observaron diferencias significativas en la ganancia diaria de peso vivo obtenida con los distintos genotipos, siendo menores con los genotipos forrajeros, coincidiendo con su menor calidad y con el menor consumo determinado. Se lograron las mejores respuestas en ganancia de peso y consumo con los genotipos graníferos. Las eficiencias de conversión de kilogramos de ensilaje en kilogramos de carne como ganancia de peso, no mostraron diferencias significativas entre los valores de consumo y la respuesta animal. Los valores de consumo registrados como porcentaje PV mostraron variaciones relacionadas a la calidad de cada uno de los genotipos con un rango entre 2-4 y 3-15 considerados consistentes con la respuesta animal obtenida (Cuadro 4).

Cuadro 4. Consumo de alimento y respuesta animal de novillos alimentados con ensilajes de sorgos de distintos genotipos.

Genotipo	GDPV (kg.an. ⁻¹)	Ef. de Conversión (kg alimento/kg carne)	Consumo		Ingestibilidad (gr MS.UTM ⁻¹)
			(kg MS.an. ⁻¹ .día ⁻¹)	(% PV)	
I-A 9939 W	0.99 d	8.77 a	8,45 b	2,90 b	119,81 bc
F-VDH 701	0.80 ab	9.22 a	6,78 a	2,43 a	99,36 a
I-VDH 422	0.88 bc	9.45 a	7,93 ab	2,82 b	115,50 b
Gr-VDH 302	0.99 d	9.68 a	9,16 b	3,15 c	129,98 d
F-NUTRITOP	0.74 a	9.51 a	6,93 a	2,54 a	103,21 a
Gr-VDH 314	0.98 cd	9.47 a	9,10 b	3,12 c	128,82 cd

Letras distintas dentro de cada columna difieren significativamente ($P < 0.05$)

Fuente: De León y Giménez. (2005)

3.3. Lignina y Sorgos Brown Mid Rid (BMR)

3.3.1. Lignina

La lignina es un polímero (complejo aromático) que le otorga resistencia química, física y biológica a la pared celular y presenta una alta resistencia a la degradación química. El contenido de lignina disminuye el valor nutritivo de los forrajes debido a la incrustación física de las fibras vegetales en la lignina, lo que produce que estas sean inaccesibles para las enzimas, de esta manera se afecta negativamente la calidad del ensilaje (De león, 2005). La concentración de lignina tiene una correlación negativa y significativa con la digestibilidad; un aumento de lignina reduce la digestibilidad del alimento (De león, 2005).

3.3.2. Brown Mid Rid (BMR)

Los Sorgos de Nervadura Marrón o (BMR) poseen un gen que cambia la forma en que están construidas las paredes de la célula y hacen que el nervio central de la hoja se torne marrón. Este gen está relacionado con una reducción en lignina y un aumento en digestibilidad de fibra en comparación con sorgos convencionales (Cuadro 5). Además este gen está compuesto por diferentes alelos tales como: bmr-6, bmr-12, bmr-18 entre otros (De León, 2005). Según Romero et al. (2003) las variedades BMR tienen menor contenido de lignina, por lo cual tienen mayor digestibilidad y consumo que los híbridos convencionales.

Cuadro 5. Medias para los componentes del rendimiento y calidad de seis variedades de sorgo en el 2009 en Lusignan, Francia.

Caracter	Media	Variedades					
		Granifero 1	Granifero 2	Granifero 3	BMR 1	BMR 2	Forrajeros
Componentes del rendimiento:							
Materia seca por planta (MSPL), g kg ⁻¹	312.5	330.7 a	293.0 a	311.8 a	305.3 a	266.0 a	368.3 a
Rendimiento de MS (RMS), t ha ⁻¹	13.1	12.3 c	11.25 c	11.1 c	17.1 a	16.1 ab	13.8 bc
Número de plantas m ⁻¹	5.53	7.0 a	5.0 bc	4.5 c	4.8 c	5.6 bc	6.2 ab
Altura, cm	142.0	100.9 c	83.2 c	101.0 c	193.6 a	202.5 a	171.0 b
Número de rebrotes, m ⁻¹	0.43	0.75 b	0.20 b	1.5 a	0.0 b	0.16 b	0.0 b
Área foliar planta ⁻¹	296.1	250.3 c	340 ab	328.6 ab	285.6 bc	385.3 a	186.6 d
Relación tallo/planta	0.52	0.38 b	0.47 b	0.45 b	0.57 a	0.65 a	0.61 a
Relación Panícula/planta	0.22	0.32 a	0.26 a	0.25 a	0.23 a	0.0 b	0.26 a
Calidad:							
Proteína, g kg ⁻¹ de MS	87.05	104.3 a	99.0 b	90.9 c	77.6 d	75.4 e	77.8 d
Digestibilidad, g kg ⁻¹ de MS	651.0	667.6 b	596 c	618.1 c	720.4 a	678.5 b	625.0 bc
Lignina, g kg ⁻¹ de MS	29.43	31.0 b	31.5 ab	38.3 a	19.6 c	20.9 c	36.1 a

Letras diferentes existen diferencias significativas P>.05

Fuente: Bolaños et al, (2012)

3.4. Rendimiento de Materia seca del Sorgo

Amador y Bochini (2000) determinaron la biomasa seca de la planta entera de sorgo negro (*Sorghum alnum*). Recolectaron varias muestras desde el día 38 hasta el 150 luego de sembrado. El rendimiento en el día 38 fue de 355 Kg/ha M/ corte en comparación con el día 150 donde se produjeron 10,976 Kg/ha. A los 57 días de sembrado, el rendimiento del sorgo negro de MS fue un 50% por hojas y un 50% por tallos; posterior a esta edad el rendimiento del cultivo aumentó con un mayor aporte de los tallos. La aparición de la panoja se efectuó a los 94 días post- sembrado, con un aporte inicial de 50 kg/ha hasta 2,588 kg/ha M/ corte a los 150 días.

Rodríguez et al. (2005) evaluaron el rendimiento por hectárea de 15 genotipos de sorgo, 13 forrajeros *Sorghum bicolor* y dos genotipos de *Sorghum alnum*. Estas fueron sembrados y al cabo de 77 días fueron cosechados (12Kg de planta entera) y secados.

Sus resultados indicaron que las diferencias entre genotipos fueron significativas, las que fluctúan desde valores de 3.373 Kg/ha MS/ corte hasta 6.143kg/ha MS/ corte obteniendo una alta variabilidad en rendimientos entre variedades; cuando el rendimiento se promedió entre genotipos la producción fue 4.652kg/ha (Cuadro 6).

Cuadro 6. Producción de materia seca de genotipos de sorgo forrajero. Tres Ríos, Cartago, Costa Rica. 2005

Ecotipos	MV (kg/ha)	MS (kg/ha)	MS (%)
CIAT 635	40.036 a ¹	5.622 a	14,04 b
CIAT 897	39.143 a	5.921 a	15,13 a
CIAT 496	28.250	3.373	11,94 c
CIAT 638	41.607 a	6.143 a	14,77 a
CIAT 623	32.429 a	4.166	12,85 c
CIAT 613	27.679	3.845	13,89 b
CIAT 643-1	35.143 a	4.751 a	13,52 b
CIAT 645	26.107	3.626	13,89 b
SN ATENAS	40.286 a	5.990 a	14,87 a
CIAT 879	27.143	3.904	14,39 a
CIAT 639	33.750 a	5.050 a	14,97 a
CIAT 591	25.643	3.474	13,55 b
CIAT 634-1	34.929 a	4.735 a	13,56 b
CIAT 610	22.893	3.535	15,44 a
UCR-EEAVM	40.036 a	5.649 a	14,11b
Promedio	33.005	4.652	14,06

¹ Letras distintas marcan diferencias significativas.

Fuente: Rodríguez et al. (2005)

3.5. Valor Nutritivo de Sorgo

Un forraje de calidad debe de poseer suficiente fibra, digestibilidad y tasa óptima de digestión. La tasa de digestión es importante porque determina la cantidad de energía disponible por el forraje por unidad de tiempo (Van Soest, 1994). La célula de la planta está compuesta por dos porciones: los componentes solubles que afectan positivamente el valor nutritivo del forraje (proteínas, azúcares, grasas, pectinas y carbohidratos) y los componentes estructurales (hemicelulosa, celulosa y lignina) que se encuentran

distribuidos entre las paredes (primaria y secundaria) de la célula vegetal y afectan inversamente el valor nutritivo del forraje (Rodríguez et al., 1996).

Rodríguez et al. (2005) evaluaron 15 genotipos de sorgos forrajeros cosechados a los 77 días de post- siembra. Se determinó la proteína cruda de 12.66%, digestibilidad *in vitro* (DIVMS) (57.83%), la degradabilidad ruminal promedio fue de 84.1% a razón de 3.1% por hora y en términos de FDN y FDA de 74% y 43% respectivamente. Amador y Boschini. (2000) evaluaron la composición química en diferentes edades de crecimiento del *Sorghum alnum* o sorgo negro. Desde el día 38 hasta el 150 luego de sembrado recolectaron datos y evaluaron PB que en el día 38 fue de 25.97% y al día 150 fue de 7.90%, FDN al día 38 fue de 50.58%, al día 150 fue de 75.05%, FDA día 38 de 26.69% y al día 150 de 46.76%. Observándose la tendencia del aumento de fibra y lignina según aumenta la edad del forraje (Cuadro 7).

Cuadro 7. Composición química, en diferentes edades de crecimiento planta entera del sorgo negro forrajero.

Edad (días)	Proteína Cruda %	FDN %	FDA %	Hemicelulosa %	Celulosa %	Lignina %	Cenizas %
38	25.97	50.58	26.69	20.89	26.72	2.97	13.74
52	22.00	56.59	29.31	28.70	26.49	2.82	12.47
66	17.79	63.15	38.35	24.80	34.84	3.28	13.77
80	13.91	67.98	43.61	24.37	38.65	4.49	14.31
94	11.99	70.03	48.42	21.62	43.25	5.16	11.36
108	10.12	68.37	44.02	24.36	37.78	6.24	9.07
122	8.70	74.13	49.44	24.69	42.10	7.34	8.89
136	7.70	78.26	50.63	27.64	43.43	7.20	7.46
150	7.90	75.05	46.76	28.28	39.25	7.51	7.86

Adaptado de (Amador y Boschini ., 2000).

Serra Gironella et al ., (2005) realizaron un experimento de bloques aleatorizados con tres repeticiones para determinar la composición y el valor nutritivo de variedades de híbridos de sorgo x pasto sudan normales (SC) e híbridos (BMR) en dos cortes de siembra separadas en dos años. Obtuvieron resultados de las variedades de sorgo (BMR) en conjunto para el primer corte y segundo corte, Los valores obtenidos de PC fueron 10.3% 1er corte y 9.1% 2ndo corte. En SC los valores de PC fueron 10.1% y 8.8%. En términos de FDN para SC y BMR fueron de 67.6% y 66.3% en el primer corte y 67.6 y 65.3% en el segundo. Los valores de FDA de BMR y SC fueron 39.3% y 41.1% durante el primer corte; 38.3% y 41.4% durante el segundo corte. El porcentaje de lignina para los sorgos bmr fueron 3.9% y 4.4% primer y segundo corte, y para SC 5.4% y 5.7%). La digestibilidad de los sorgos bmr fue de 48.8% y 49.8% en primer y segundo corte y SC 40.8% y 42.1%.

Los autores concluyeron que los sorgos (BMR) han presentado en ambos cortes un contenido menor de lignina, FDA y una mayor digestibilidad en comparación con los sorgos convencionales. Núñez y Cantu. (2012) estudiaron el rendimiento, composición química y digestibilidad *in vitro* de variedades de sorgo con nervadura marrón o BMR y convencionales. Los sorgos fueron sembrados a densidad de 14 kg/ha de semilla y fertilizaron con 300 kg/ha al 80-60-00 de N-P-K al momento de la siembra, el primer corte fue a los 55 y 60 días luego de sembrado. Sus resultados demostraron que los sorgos BMR y los convencionales en términos de PC (12.8% BMR vs 11.9%), FDN (67.49% BMR vs 59.18%), FDA (41.0% vs 43.8%), Lignina (5.0% vs 5.8%) y DIV de (65% vs 70%) no existieron diferencias significativas entre los mismos. Concluyeron que la

mayor digestibilidad *in vitro* para la variedad de (BMR) se asoció con menor concentración de FDA y lignina que la variedad convencional.

3.5.1. Valor nutritivo de ensilajes de sorgo y calidad de ensilaje

Di Marco et al. (2007) compararon una variedad de sorgo silero normal (AG200) con uno de nervadura marrón (BMR) comparando el peso y la composición morfológica de la planta y de su calidad nutritiva de ensilaje. Dividieron las muestras realizando dos tipos de ensilaje: uno de planta entera y otra de planta sin panoja o stover. Los autores reportaron que la variedad de (BMR) obtuvo mayor proporción de panojas que el sorgo silero normal 47.1% versus 33.2% y menor el contenido de tallos que el silero 25.3% vs 39.5%. Las proporciones de las hojas en la planta fueron similares. En cuanto a la composición de los ensilajes ambos fueron similares en materia seca con 27.7% de silero normal versus 27.3% BMR; en términos de FDN 54.1% versus 50.6% y en PC 5.6% versus 6.9% sorgos sileros y bmr respectivamente. Solo existieron diferencias en la composición de almidón que fue mayor en la variedad BMR con 28.0% vs 19.7% (Cuadro 8). Los autores concluyeron que el híbrido de sorgo BMR mostro ventajas agronómicas respecto al silero debido a que tuvo igual peso de planta entera, con mayor producción de panoja y menor tallo además de contener un por ciento mayor de almidón.

Cuadro 8. Composición química de ensilajes de planta entera y rastrojo de dos híbridos de sorgo

Variable	AG200	BMR	EEM	Significancia
Silaje de planta entera				
MS (%)	27,7	27,3	0,87	NS
FDN (%)	54,1	50,6	1,83	NS
ALMIDON (%)	19,7	28,0	2,05	*
CNES (%)	3,7	3,6	0,79	NS
PB (%)	5,6	6,9	0,72	NS
Silaje de stover				
MS (%)	22,7	22,0	0,55	NS
FDN (%)	60,9	60,7	1,85	NS

EEM: error estándar de la media; NS: $p > 0,05$; * $p < 0,05$.

Fuente: Di Marco et al. (2007)

Grant et al. (1995) evaluaron la calidad de ensilajes de híbridos de sorgo con y sin el gen BMR, utilizando vacas Holsteins en lactación mediana. Las dietas raciones mixtas o (TMR) utilizadas contenían un 65% de MS de ensilaje y un 35% de concentrado. Los resultados indicaron que el híbrido de sorgo que contenía el gen BMR tenía menos lignina (7.5% vs 10.3%) y fueron similares en la concentración de FDN y FDA; 60.4% vs 59.0% y 39.8% vs 36.6%, respectivamente. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Aydin et al. (1999). En términos de producción de leche el sorgo BMR produjo mayor cantidad de leche con 26 kg/día en producción versus un 20.3kg/día del sorgo convencional. La variedad de BMR al contener menos lignina que el sorgo habitual, es una gran fuente de fibra digestiva para vacas lactantes.

Lusk et al. (1984) compararon los efectos de la alimentación en vacas lactantes de sorgos bmr 12 y maíz. Encontraron que el sorgo (BMR 12) fue similar al maíz en la concentración de FDN y FDA (61.2% vs 60.5% y 33.8% vs 30.0%, respectivamente). El

contenido de PC fue mayor el híbrido (BMR) con 8.49% vs 6.19%. Las vacas alimentadas con el sorgo (BMR) produjeron la misma cantidad de leche que las vacas que consumieron el ensilaje de maíz (24.7 Kg/ día (ES) vs 24.4 Kg/ día (EM)). Los autores concluyeron que el ensilaje de sorgo BMR puede ser utilizado como forraje sustituyendo al maíz en las dietas de vacas lactantes.

3.6. Ventajas de la siembra de Sorgo

Según Di Marco et al. (2007) el sorgo posee ventajas agronómicas y de implantación sobre el maíz. Entre estas se encuentra su mayor adaptabilidad en suelos poco fértiles; dependiendo de la variedad el sorgo posee una capacidad de rebrote óptima que permite más de un corte por siembra y su eficiencia de uso del agua es mayor que la del maíz. La semilla y planta de sorgo pueden permanecer en latencia en periodos de sequía extensos y continuar su crecimiento con la presencia de agua; aún cuando esto implique rendimientos menores a los esperados. En adición, el sorgo tiene un menor costo de implantación. Estas ventajas sobre el maíz hacen del sorgo una alternativa más viable y menos riesgosa que la siembra de maíz.

Pérez et al. (2010) plantean que el sorgo tiene una alta capacidad al rebrote después de cortes sucesivos por lo que puede prolongar la vida productiva del cultivo bajo un buen sistema de manejo y fertilización. Saucedo, (2008) enumera y explica el comportamiento y las características de la planta de sorgo que la hacen tolerante a la sequía: 1) plántula posee un sistema de raíces muy ramificado (el doble al del maíz), 2) contiene una cera que recubre sus hojas y tallos así evitando la transpiración o evaporación excesiva, 3) contiene células higroscópicas que se encuentran a lo largo de la nervadura central de las hojas. Estas producen un encogimiento de las hojas cuando

no hay suficiente agua disponible así disminuyendo la superficie de área expuesta a la radiación solar reduciendo la transpiración de la planta y la fotosíntesis 4) Las estomas del sorgo son más pequeñas que las del maíz pero tienen mayor cantidad de estas. Esto le ayuda a la plántula de sorgo a responder con mayor prontitud en la abertura y cierre de las estomas ha variaciones de humedad del ambiente y temperaturas 5) Los sorgos poseen la habilidad de dormancia vegetativa la cual no tiene el maíz y abandonan luego de la disponibilidad de agua.

3.7. Bioquímica del Ensilaje

Los forrajes deben poseer sustratos disponibles para el proceso de fermentación microbial, principalmente carbohidratos solubles en agua (CSA) en forma de hexosas (glucosa y fructosa), compuestos nitrogenados y ácidos orgánicos (Rosario et al., 2012). Según Mc Donald et al. (1991) la madurez y las condiciones ambientales donde se desarrolla el forraje afectan la disponibilidad y la cantidad presente de CSA del mismo. Esto se debe a que en forrajes más maduros los CSA se encuentran en forma cristalizada y hay menos cantidad que en forrajes más jóvenes, afectando la disponibilidad de los mismos a los microorganismos (Mc Donald et al., 1991).

Los ácidos orgánicos presentes en los forrajes son el cítrico y el málico, responsables de la acción amortiguadora y el desarrollo de ensilajes óptimos (McDonald et al., 1991). La fermentación de los mismos causa la formación de acetato, etanol, formato, 2,3 butanodiol y dióxido de carbono (McDonald et al., 1991). La preservación del forraje en el proceso de ensilado se debe a la formación de lactato y acetato los cuales producen un ambiente ácido, por consiguiente resultando en un descenso del pH

contribuyendo a la conservación del ensilado (Rosario et al., 2012). Los componentes nitrogenados no proteicos actúan de amortiguadores en el ensilaje y forman parte de entre el 10 – 25% de los componentes existentes en el forraje, su concentración aumenta en forrajes fertilizados con nitrógeno. Los forrajes de climas tropicales poseen menor cantidad de proteínas que forrajes de climas templados (McDonald et al., 1991).

3.8. Microorganismos en ensilado

Los microorganismos presentes en el ensilaje juegan un papel importante en la conservación del forraje. Estos pueden ser divididos en dos grupos: microorganismos benéficos y microorganismos indeseables. Los microorganismos benéficos son aquellos que producen ácido láctico (BPAL) y los microorganismos indeseables son aquellos que causan el deterioro anaeróbico como: clostridios y enterobacterias o que causen deterioro aeróbico del ensilaje como: bacilos, hongos y levaduras (Oude Elferink et al., 2001). Algunos de estos microorganismos además de afectar el valor nutritivo del ensilaje pueden afectar la salud del animal al que se le provea el mismo (Oude Elferink et al., 2001). Villa et al. (2010) compararon dos variedades de maíz de clima tropical (ICA-Clavito blanco) y de clima templado (ICA-158 blanco) en su contenido de microorganismos presentes en ensilaje. La variedad de clima tropical fue cosechada para ensilar al día 75 post- siembra y la variedad templada a los 180 días post-siembra. Luego se ensilaron en silos de 1.5 kg en bolsas plásticas selladas herméticamente. El silo de clima frío se almacenó a una temperatura promedio de 16°C, mientras el de clima cálido a 37°C, con el fin de simular las condiciones de temperatura propias para cada variedad. Se tomaron tres muestras de cada sustrato en cada período de evaluación (días 0, 1, 2, 3, 4,

7, 14, 28 y 56 luego de ensilados) para determinar las concentraciones de bacterias de los géneros de BPAL epífitas, (*Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus* y *Leuconostoc*). Estos son los grupos de bacterias más comúnmente aislados de ensilajes y los más representativos en el proceso fermentativo. Sus resultados revelan que para todos los géneros de BPAL estudiados, se observaron diferencias significativas en la concentración para la interacción del clima y día ($p < 0.05$). Aunque no hubo diferencias en su concentración para el día cero, el primer día el ensilaje comenzó a mostrar una tendencia de mayor concentración en el silo de clima cálido ($p = 0.07$) que para el día dos ya era significativa ($p < 0.05$). Sin embargo, para el día siete la diferencia fue significativamente mayor en el silo de clima frío ($p < 0.05$). Posteriormente, no se observaron diferencias.

3.8.1. Bacterias productoras ácido láctico (BPAL)

Las bacterias productoras de ácido láctico, son microorganismos anaeróbicos o anaeróbicos facultativos cuya función es fermentar los carbohidratos solubles y convertirlos en ácidos orgánicos, fuente importante de la preservación del forraje. Estas bacterias poseen dos vías metabólicas en la fermentación de azúcares dependiendo de la bacteria que actúe y se subdividen en dos grupos las homofermentativas y las heterofermentativas. Las (BPAL) homofermentativas son bacterias que convierten las hexosas (glucosa y fructosa) en ácido láctico (AL), pero no pueden degradar pentosas xilosa. Las heterofermentativas además de producir ácido láctico por la fermentación de glucosa, tienen la capacidad de metabolizar pentosas produciendo ácido láctico, dióxido de carbono, etanol y ácido acético (Oude Elferink et al., 2001). Las homofermentativas son más deseables que las heterofermentativas en el proceso de ensilar ya que degradan

más eficientemente las hexosas, lo que resulta en una mayor producción de AL y descenso en el pH (Rosario et al., 2012).

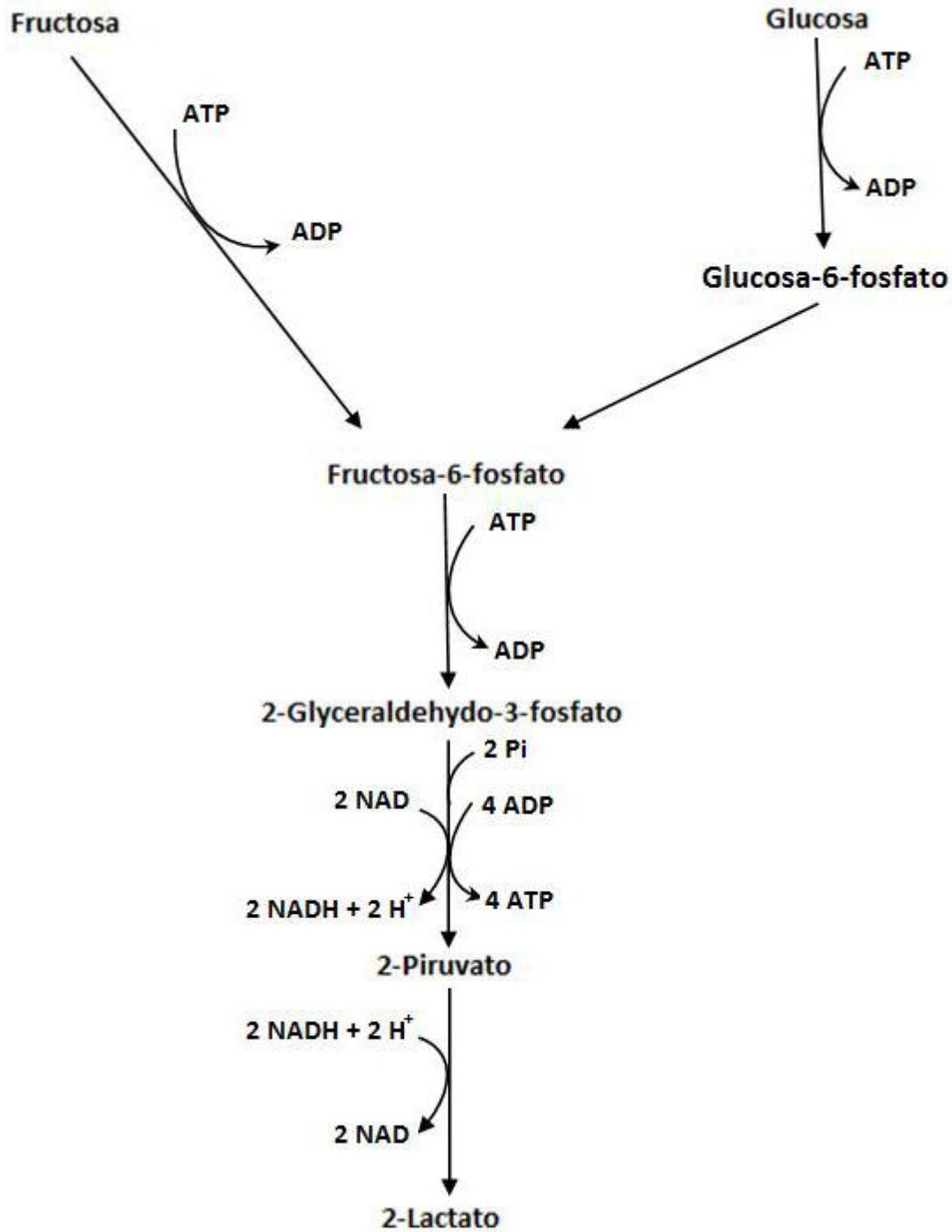


Figura 1. Fermentación de glucosa y fructosa por bacterias productoras de ácido lácticas homofermentativas. (Adaptado de (McDonald et al., 1991). Fuente (Rosario et al., 2012)

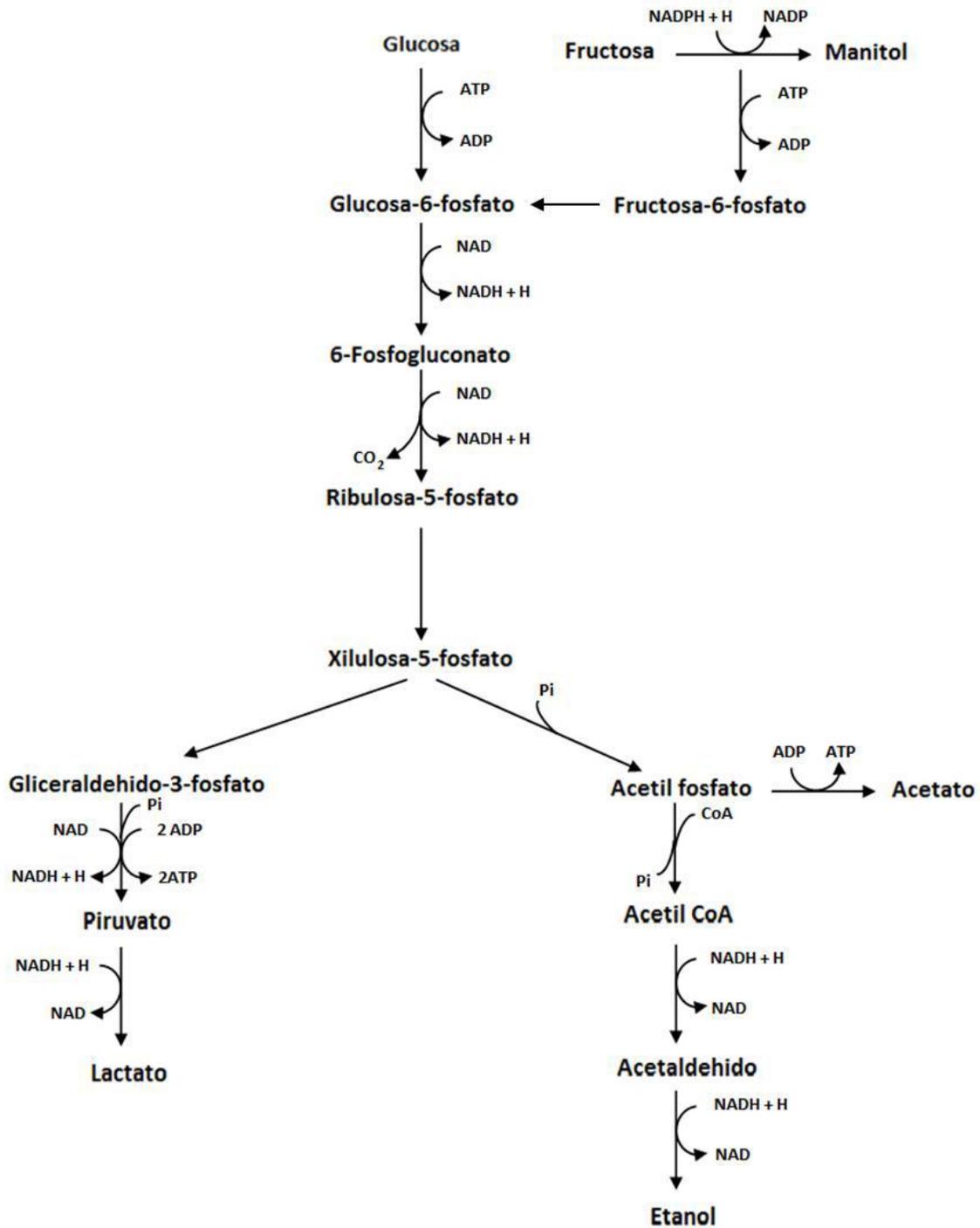


Figura 2. Fermentación de glucosa y fructosa por bacterias productoras de ácido láctico heterofermentativas. (Adaptada de McDonald et al., 1991).

3.8.2. Levaduras y Hongos

Las levaduras son microorganismos eucariotas que pueden sobrevivir en ambientes ácidos. En el ensilaje, la presencia de levaduras anaeróbicas como aerobias es indeseable (Oude Elferink et al., 2001). Según Mc Donald et al., (1991) la presencia de las levaduras en el ensilaje es resultado del deterioro aeróbico del mismo. Las levaduras compiten con las BPAL por los azúcares disponibles en el forraje que se esté ensilando convirtiéndolos en etanol y CO₂, resultando en un ensilaje con valor nutritivo reducido.

Los hongos son microorganismos eucariota, que obtienen sus nutrientes por la secreción de enzimas como: proteasas, amilasas, lipasas y celulosas que rompen las moléculas orgánicas y las convierten en monómeros los cuales son absorbidos por las membranas celulares del hongo. Su presencia en el ensilaje es resultado de la exposición del mismo al oxígeno (Mc Donald et al., 1991). Según Oude Elferink et al. (2001) la presencia de hongos afecta la palatabilidad, el valor nutritivo del ensilaje y puede afectar la salud del animal, esto ocasionado por la producción de micotoxinas por algunas especies de hongos.

3.8.3. Enterobacterias

Woolford, (1984) clasificó las enterobacterias como bacterias anaerobias facultativas, estas bacterias compiten con las BPAL por la fermentación de azúcares y la síntesis de proteínas produciendo ácidos grasos de cadenas múltiples y aminos biogénicas que afectan de forma negativa la palatabilidad del ensilaje. El mayor producto de la fermentación de carbohidratos por las enterobacterias es el ácido acético, pero puede producir ácido fórmico; este último puede acumularse y convertirse en hidrógeno y

CO₂. Las enterobacterias son afectadas por pH ácidos, siendo su pH óptimo de crecimiento 7.

3.8.4. Clostridios

Los clostridios son microorganismos anaeróbicos que forman esporas (Oude Elferink et al., 2001). Tienen la capacidad de disminuir el valor del nutritivo del ensilaje porque degradan tanto carbohidratos como proteínas, produciendo aminas biogénicas como las enterobacterias (Oude Elferink et al., 2001). Estas bacterias se desarrollan en ensilajes que contienen poca cantidad de CSA o son muy húmedos (Oude Elferink et al., 2001). Según Cañete y Sancha (1998) las bacterias (*Clostridium saccharolíticos*) son las que atacan a los hidratos de carbono formando el ácido butírico el cual posee un olor desagradable y escaso poder acidificante, dificultando así la actividad de las bacterias lácticas y destruyendo el ácido láctico ya formado, esto permite la proliferación de otros grupos bacterianos. Luego actúan las *Clostridium proteolíticos* que van a continuar el proceso de putrefacción que afecta a la proteínas, originando amoníaco como producto final, el cual termina por neutralizar la acidez residual. El ensilaje, ya de por sí sin mucho valor alimenticio y con sustancias de carácter tóxico, queda reducido a un producto podrido que ha perdido su aspecto original, con un desagradable y característico olor.

3.9 Estabilidad Aeróbica y pH

La estabilidad aeróbica (EA) es la resistencia del ensilaje al aumento de temperatura (Kleinschmit y Kung 2006). Según Muck y Pitt (1993) cuando el ensilado es expuesto al aire ocurre el cambio de un ambiente anaeróbico a uno aeróbico, por consecuencia ocurre la proliferación de microorganismos aeróbicos tales como: los hongos, levaduras y bacterias aeróbicas. Esto resulta en un cambio en la temperatura y el

pH del ensilado ambas aumentando luego de la interacción con el oxígeno. Esto según Spoeltra et al., (1988) es ocasionado por la acción metabólica de los organismos aeróbicos (hongos, levaduras y bacterias aeróbicas) de los ácidos orgánicos y azúcares del ensilaje, ocasionando pérdidas de materia seca (McDonald et al., 1991). Pitt (1990) mencionó los factores que determinan la estabilidad aeróbica como: el tipo de forraje, porcentaje de MS, pH, concentración microbiana, niveles de oxígeno y CO₂, y la temperatura del ensilado. En climas tropicales, debido a diferencias en composición química y microorganismos epifíticos del material a ensilarse y a las altas temperaturas ambientales prevalentes, las características fermentativas de las plantas a ensilarse difieren de aquellas que se ensilan en climas templados (McDonald *et al.*, 1991). Rodríguez et al., (2005) compararon el efecto de la adición de ácido propiónico y el tiempo de exposición aeróbica de ensilaje de pasturas tropicales nativas. Utilizaron ensilaje de pasturas tropicales nativas (60 % *Johnson halapense*, 20 % *Panicum maximum*, 20 % *Pennisetum purpureum*) los cuales fueron ensilados en microsilos de PVC y tratados con 0.5% de ácido propiónico y el control sin aditivo. Los silos fueron mantenidos a temperatura ambiente (27 - 30°C) por 60 días. Luego del período de fermentación, tres silos por tratamiento fueron abiertos y expuestos a condiciones aeróbicas por 3 días. Después de 0, 1 y 3 días de exposición aeróbica, 50 g de ensilaje fueron diluidos en 450 mL de agua destilada y homogeneizados por 5 minutos, utilizándose los extractos para determinar pH. La temperatura fue tomada dos veces al día durante los 3 días de exposición aeróbica. Sus resultados demostraron que para el efecto del tiempo en exposición aeróbica sobre la estabilidad del ensilaje, se observó una tendencia hacia el aumento del pH ($P < .08$) después del primer día de exposición aeróbica, la degradabilidad "in vitro" de la materia

seca y el porcentaje de recuperación de MS disminuyeron ($P < .01$) conforme aumentó el tiempo de exposición aeróbica del ensilaje resultante. Estos resultados comprobaron que el período crítico de deterioración del ensilaje de pasturas tropicales nativas ocurre entre 1 y 3 días de exposición aeróbica, evidenciado por los cambios en pH, el porcentaje de degradabilidad *in vitro* de la MS y el porcentaje de recuperación de la materia seca. La estabilidad de los ensilajes dependió de la especie de forraje, contenido de materia seca y duración de la fermentación del material ensilado (Cuadro10).

Cuadro 9.Efecto del tiempo de exposición al aire sobre la estabilidad aeróbica de ensilaje de pasturas tropicales.

Tiempo expuesto (Dias)	pH	Temperatura (°C)	DIVMSa(%)	RMSb(%)
0	4.95 ^f	30.33	51.88 ^c	—
1	4.86 ^{ef}	30.00	49.77 ^{cd}	93.48 ^c
3	5.74 ^e	30.33	43.95 ^d	89.20 ^d
Probabilidad	0.08	0.74	.01	.01

Degradabilidad *in vitro* de materia seca(DIVMSa), b. recuperación de material seca(RMSb). Medias con diferentes letras en la misma columna difieren entre si ($p < 0.10$). (Adaptado de Rodríguez et al., 2005)

Rosario et al. (2012) ensilaron gramíneas naturalizadas de Puerto Rico donde se encontraban las especies de hierbas como: guinea (*Panicum maximum*), johnson (*Sorghum halepense*), pangola (*Digitaria decumbens*) y buffel (*Cenchrus ciliaris*) cosechadas a los 60 días de madurez, para comparar un inóculo comercial que es utilizado para ayudar a alcanzar estabilidad tanto anaeróbica como aeróbica en ensilajes de gramíneas, alfalfa, trébol, y otros forrajes. Los tratamientos evaluados fueron

sin aditivo (control), y inóculo comercial a razón de 10^6 y 10^{10} ufc/g. Para la determinación de estabilidad aeróbica abrieron tres microsilos por tratamiento, luego de 35 días de fermentación, la temperatura fue revisada cada seis horas durante cinco días con termómetros colocados en la masa del ensilaje. Se determinó el pH del ensilaje después de 0, 1, 3 y 5 días de exposición aeróbica. Los resultados indicaron un aumento en el pH ($P < 0.05$) en ensilajes inoculados con BPAL y expuestos a condiciones aeróbicas durante cinco días (de 4.38 a 4.55) y al compararse con ensilajes control a los 3 y 5 días. Los cambios decrecientes en la acidez fueron de pequeña magnitud para tratamientos ($P < 0.015$) y día de fermentación ($P < 0.022$) mientras la interacción de tratamiento por día se acercó a la significancia ($P < 0.061$). La temperatura de los ensilajes expuestos al aire no demostró diferencias entre tratamientos ($P > .05$), pero sí las hubo entre horas ($P < 0.001$), limitadas a cambios ocurridos durante las primeras 12 horas. En fin, el ensilaje de gramíneas tropicales naturalizadas producido bajo ambos tratamientos fue estable durante cinco días de ser expuesto a condiciones aeróbicas.

3.9.1. pH

La disminución del pH es importante en la fermentación y preservación del forraje por medio del ensilado ya que mientras más rápido este se reduzca menores serán las pérdidas de valor nutritivo y rendimiento del forraje ensilado. Además depende de contenido de humedad y género del forraje. Los ensilajes húmedos obtienen mayor descenso de pH que ensilajes con mayor porcentaje MS. Las BPAL promueven el descenso en pH y para ello necesitan un ambiente anaeróbico, por eso es importante la disponibilidad de sustratos en el forraje y de altas concentraciones de BPAL para que ocurra dicho proceso (McDonald *et al.*, 1991).

3.10. Ensilaje

El proceso de ensilaje es el resultado de la fermentación microbiana del material vegetativo en un ambiente anaeróbico donde la preservación del mismo ocurre por el descenso en pH (Rosario et al., 2012). El objetivo del ensilaje es preservar forrajes de calidad con un mínimo de pérdidas de MS y de energía. Los obstáculos para la producción de un ensilaje de calidad son: respiración celular, actividad proteolítica de la planta, fermentación clostridial, actividad microbiana aeróbica, entre otros. Por ello, es importante crear y mantener un ambiente anaeróbico en el silo (Muck et al., 1988). Según Cañete y Sancha, (1998) el proceso del ensilaje comienza con el corte del forraje, llenado del silo, compactación del silo, sellado del silo y culmina con la apertura del silo y la exposición al oxígeno del mismo. Este procedimiento se puede dividir en 5 fases: aeróbica, anaeróbica, producción AL, almacenamiento y estabilidad aeróbica según (Seglar., 1993; Weinberg et al., 1999; Oude Elferink et al., 2001).

Fase 1: aeróbica Esta fase dura pocas horas. El oxígeno atmosférico presente en el forraje disminuye rápidamente debido a la respiración de los microorganismos aerobios y aerobios facultativos como las levaduras y enterobacterias. Además, existe también actividad de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las carbohidrasas las cuales consumen oxígeno. Siempre que el pH se mantenga en el rango normal del forraje fresco (pH 6,0-6,5).

Fase 2: Anaeróbica En esta fase las paredes de las células vegetales se rompen exponiendo sus nutrientes a los microorganismos deseables para promover la fermentación como los *Lactobacillus spp.*

Fase 3: Producción de Acido Láctico Comienza la formación de ácidos orgánicos, esto ocurre en total ausencia de oxígeno lo cual resulta en una reducción en el pH idealmente entre 3.8-4.5. Se espera que el ácido producido sea en su mayoría el ácido láctico el cual es indicativo de buena fermentación y calidad de ensilaje.

Fase 4: Almacenamiento Ocurre cuando el ensilaje llega a un pH suficientemente ácido, idealmente 4.2 seguido de una disminución de la fermentación por bacterias. El ensilaje se estabiliza en este momento.

Fase 5: Estabilidad Aeróbica Ocurre en todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al aire para su empleo, pero puede ocurrir antes por daño de la cobertura del silo (i.e., roedores o pájaros). El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera etapa se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto aumenta el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; en la que ocurre un aumento de la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje, incluyendo los bacilos. La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aerobios, facultativos, como mohos y enterobacterias.

4.0. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El estudio fue realizado en la Sub-Estación Experimental Agrícola de Lajas de la Universidad de Puerto Rico, ubicada en el suroeste de la isla. El suelo del predio donde se efectuó la siembra corresponde al orden vertisol de la serie Coto.

Antes de establecer la siembra, el suelo fue arado con un pase de vertedera y dos pases de rastra. Se utilizaron cuatro variedades de sorgo y una de maíz con el fin de obtener forraje para confeccionar ensilaje. Las variedades fueron sembradas en parcelas de 6 metros de largo x 6 metros de ancho y con 6 surcos de siembra por parcela a una distancia aproximada entre surcos de 75 cm (figura 3). Entre parcelas se dejó una distancia de 90 cm entre bloques que fueron alineados en dirección de norte a sur. La siembra se realizó utilizando una sembradora mecánica de dos hileras (figura 4). Al día siguiente de la siembra se aplicó un herbicida de pre-emergencia (Pendimetalina 455 g L⁻¹).



Figura.3. Localización de siembra



Figura.4. Sembradora de dos hileras.

4.1. Descripción de los tratamientos experimentales

Se sembraron cuatro variedades comerciales de sorgo y una variedad de maíz que fue desarrollada localmente. Las variedades de sorgo utilizadas fueron:

1. **Pampa verde BMR6**: es una variedad con una relación de tallo/ hoja baja, es fotosensible y contiene el gen de Brown Midrib (Nervadura marrón, BMR).
2. **Pampa verde pacas**: es una variedad fotosensible con baja producción de grano ideal para la producción de pacas por su gran proporción de hojas / tallos.
3. **Pampa triunfo** es una variedad que contiene en su genoma el gen BMR y se caracteriza por un alto contenido de azúcares solubles en sus tallos y hojas, su rebrote es uno de los más altos permitiendo cosechas más rápidas.
4. **Pampa centurión** es una variedad ideal para la producción de ensilados por su amplio potencial en producir rendimientos altos y esta variedad ofrece grano y forraje a la vez.
5. **Maíz (Mayorbela)**: variedad desarrollada localmente que fue utilizada como testigo.

4.1.1. Muestreo y ensilado

El forraje se cosechó a los 84 días de crecimiento en el mes de Septiembre. Al momento del corte, se tomaron muestras del forraje, utilizando un marco muestreador de un metro cuadrado de área. En cada parcela, las muestras se obtuvieron en dos lugares dentro los cuatro surcos internos. El forraje fue cortado a 15 cm del suelo utilizando tijeras de jardinería. Las muestras fueron secadas en un horno de convección a 64°C por 48 horas y el material seco fue molido. Del material seco y molido se separaron aproximadamente 300 gramos que fueron enviados a un laboratorio comercial para ser analizados para proteína bruta (PB), fibra insoluble en detergente neutro (FDN) y fibra insoluble en detergente ácido (FDA).

Se realizó un segundo muestreo de plantas enteras, las cuales fueron trituradas (2.5 cm) de largo por medio mecánico con una cortadora de forraje (New Holland serie (36). Con el material triturado se llenaron microsilos experimentales, con una capacidad aproximada de 2 Kg de material vegetativo. Los microsilos experimentales fueron contruidos con tubería PVC (Steel 40) de 10 cm de diámetro y 30 cm de longitud. Estos microsilos fueron sellados con dos tapones sanitarios de goma, uno de ellos con una válvula de escape de gas contruido con tubo de cobre de 0.80 cm de diámetro (figura 5). El material vegetativo permaneció por 21 días ensilándose en un ambiente anaeróbico. Al día 21 los silos fueron abiertos y se realizaron las pruebas de pH y estabilidad aeróbica.

Para las pruebas de pH, se mezclaron 50 g de cada muestra con 450 ml de agua destilada (pH 7.0) y se agitó en una máquina homogeneizadora por dos minutos. El extracto acuoso resultante se filtró a través de una gaza de tela y el filtrado se utilizó para

medir el pH, realizado con un medidor equipado con electrodo, estandarizado para pH 4 a 7 utilizando soluciones amortiguadoras comerciales.

Para determinar estabilidad aeróbica, se colocaron 500 g del ensilaje en bolsas de plástico y luego en recipientes de material aislante de poliestireno (Figura. 6), y se expuso al aire durante 72 horas. La temperatura fue revisada a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas de exposición. La temperatura se tomó con termómetros colocados en el centro de la masa del ensilaje.



Figura. 5. Microsilos experimentales



Figura.6. Ensilajes de sorgos y maíz expuestos a condiciones aeróbicas en recipientes de poliestireno forrados con bolsas de plástico

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente utilizando el programa Infonstat de acuerdo a un diseño experimental de bloques completos aleatorizados con 5 tratamientos y 4 repeticiones (bloque). Los promedios de tratamientos fueron comparados entre sí mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey.

5.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Composición Química

Cuadro10. Composición química de cuatro variedades de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post- siembra.

	FDN	FDA	PB	NDT	EN _L
Triunfo	57.03 ^{ab}	35.45 ^b	7.8 ^a	57.25 ^b	1.19 ^{ab}
Verde	57.83 ^{ab}	35.58 ^b	7.8 ^a	56.75 ^{ab}	1.17 ^{ab}
Centurión	54.45 ^a	34.95 ^b	8.2 ^a	57.25 ^b	1.21 ^b
Pacas	63.58 ^b	39.28 ^b	7.9 ^a	55.50 ^a	1.08 ^a
Maíz	52.68 ^a	29.18 ^a	7.3 ^a	58.25 ^b	1.25 ^b

Medias con una letra común en cada columna no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

FDN = Fibra insoluble en detergente neutro, %; FDA = Fibra insoluble en detergente ácido, %;

PB = Proteína bruta, %; NDT = Nutrientes digeribles totales, %; EN_L = Energía neta para producción de leche, Mcal kg⁻¹.

La composición química de las distintas variedades de sorgo, independientemente de que poseyeran o no el gen BMR, mostraron mayores contenidos de FDN que el de maíz. Entre las variedades de sorgo, la variedad Pacas mostró un mayor contenido de FDN (63.58 %, $P < 0.05$) que los ensilados de las variedades Triunfo (57.03%) y Verde (57.83%). Entre los sorgos, el ensilaje de la variedad Centurión fue el que mostró el

menor contenido de FDN (54.45%, Figura 7) pero, en términos generales, la variedad Mayorbela de maíz fue el de menor contenido de FDN (52.68%).

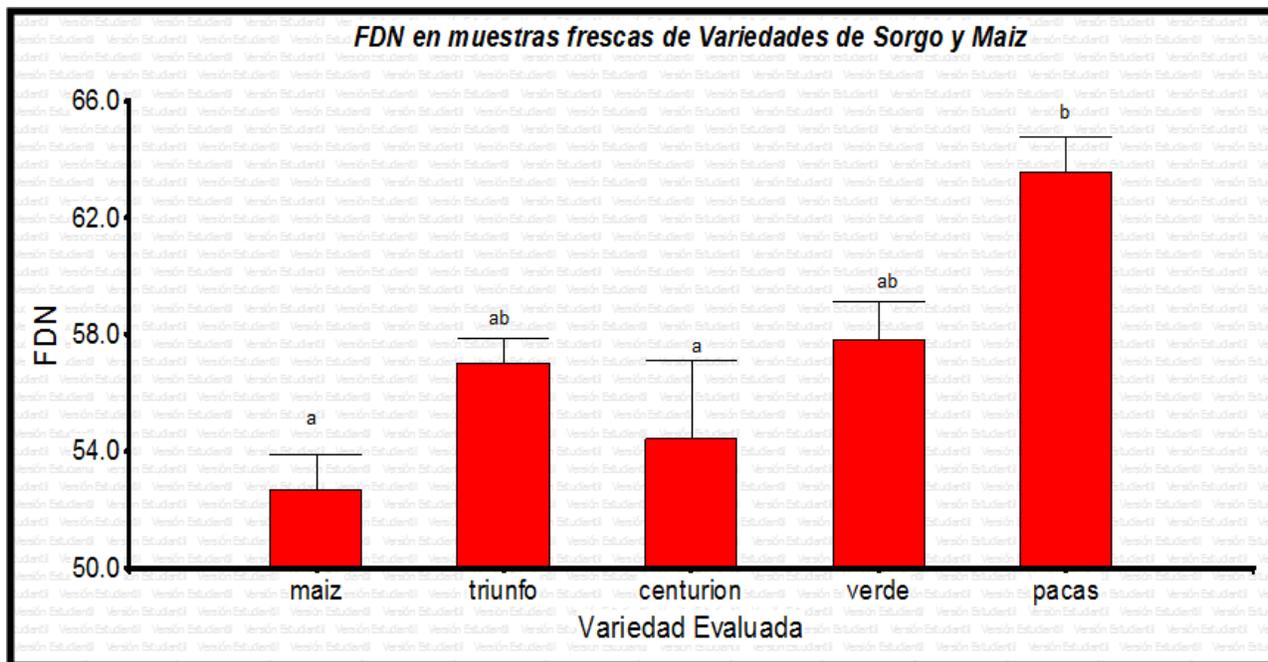


Figura 7. Contenido (%) de FDN de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.

No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de FDA entre las variedades de sorgo, que promediaron 36.21 %. Sin embargo, el contenido de FDA del ensilaje de maíz (29.18 %) fue significativamente ($P < 0.05$) menor que el de los sorgos (Cuadro10). Se esperaba que las variedades de sorgo que poseían el gen BMR tuvieran un menor contenido de FDA, pero esto no fue así (Figura 8).

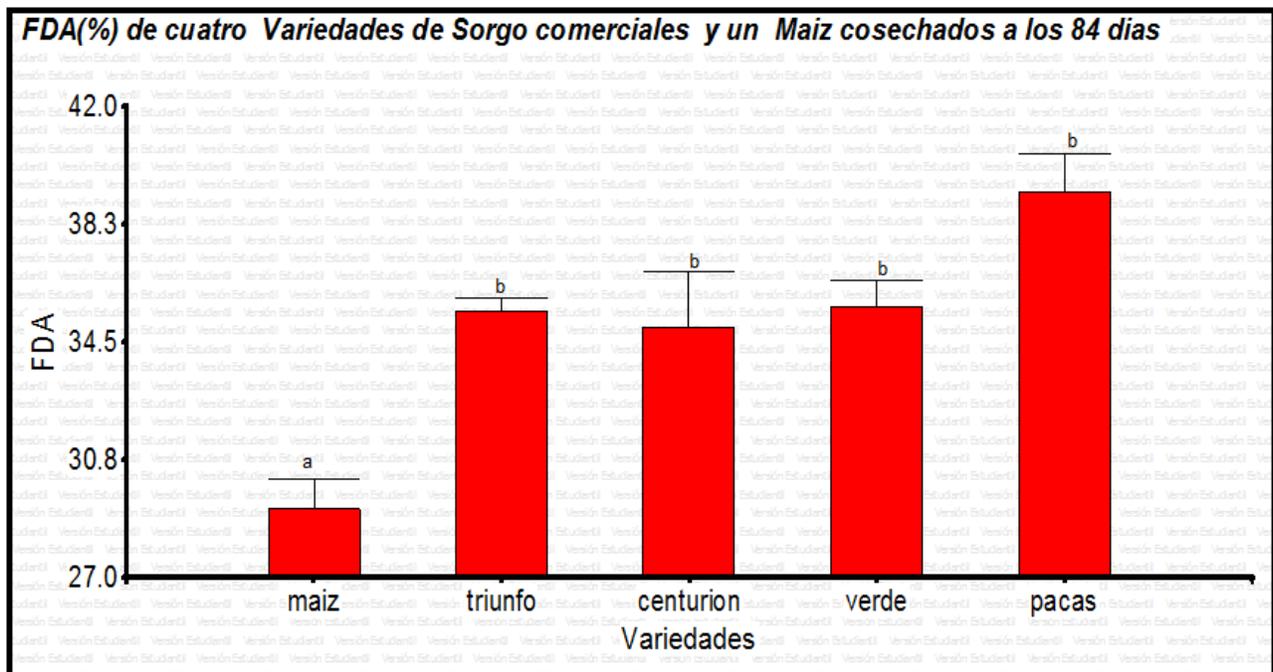


Figura 8. Contenido (%) de FDA de cuatro variedades comerciales de sorgos y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.

No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de PB de los distintos ensilajes (Figura 9). La PB promedió 7.8 %, valor que se considera típico para el forraje de sorgo o maíz de 84 días de crecimiento. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Di Marco et al. (2007) pero difieren de los obtenidos por Amador y Boschini (2000).

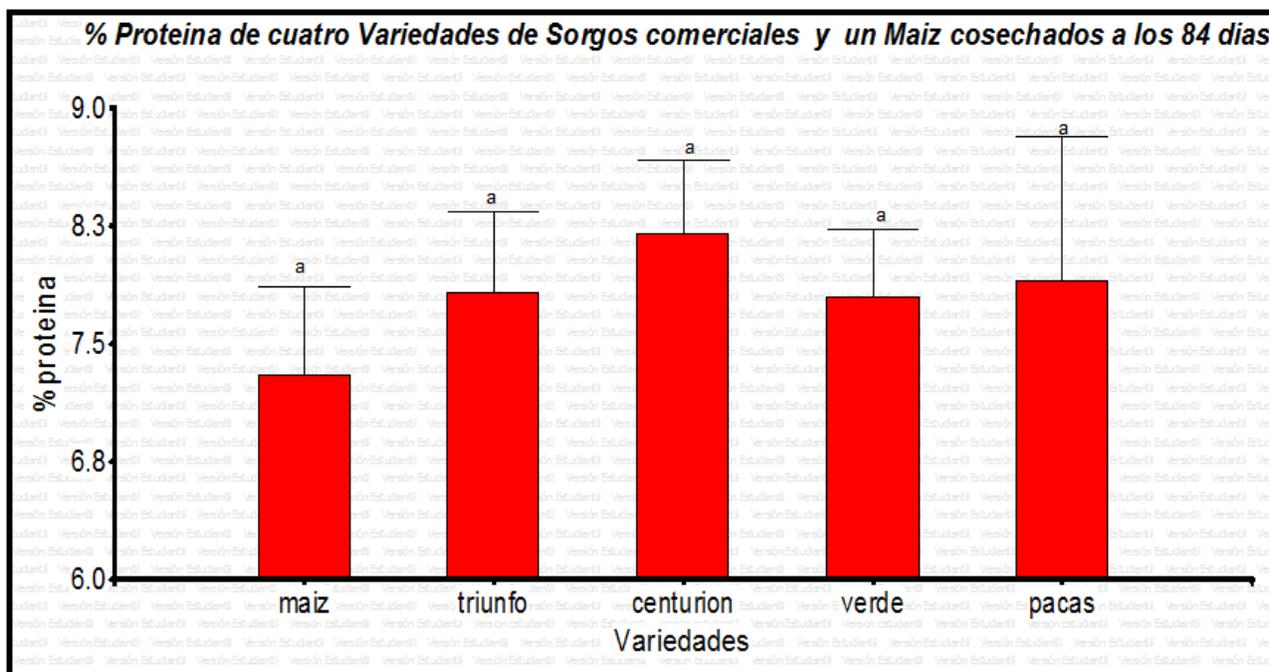


Figura 9. Contenido de PB (%) de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post- siembra.

El contenido estimado de NDT (%) de las distintas variedades se presenta en el Cuadro 10. Se puede observar que el contenido de NDT proveniente de la variedad Pacas de sorgo (55.50 %) fue inferior al del resto de las variedades, excepto el de la variedad Verde (56.75 %). No hubo diferencias en el contenido de NDT entre las variedades Triunfo, Verde y Centurión de sorgo (promedio 57.08 %) y de maíz (58.25 %) (Figura 10).

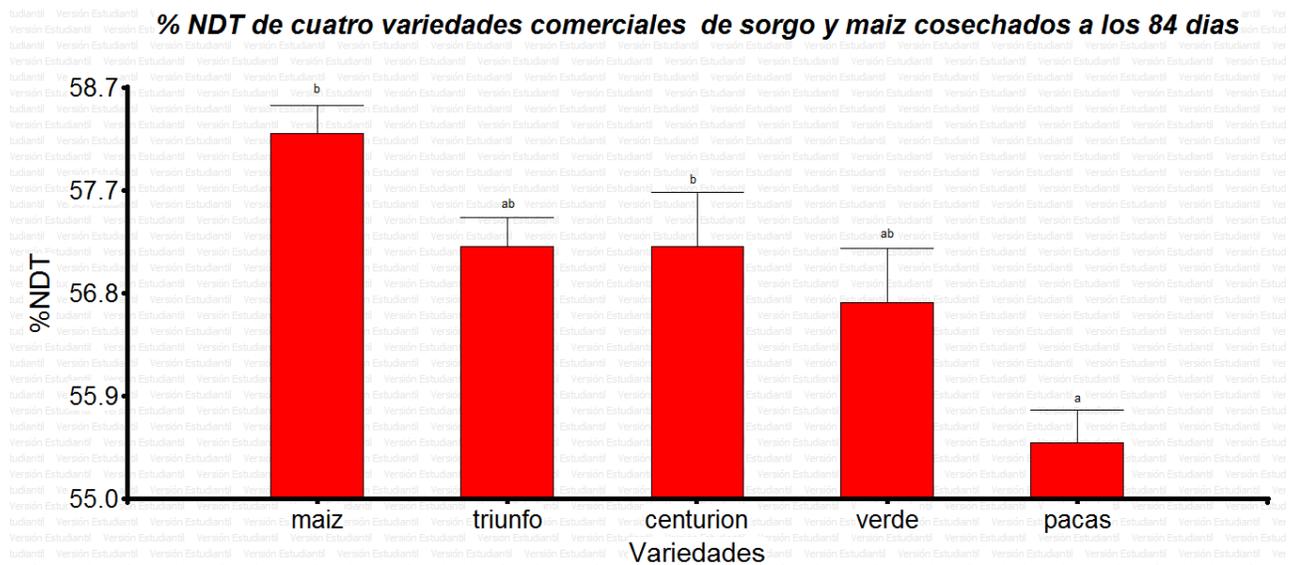


Figura 10. Contenido de NDT (%) de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.

El contenido de EN_L siguió un patrón similar y se observó que la variedad Pacas fue el que presentó el menor valor ($1.08 \text{ Mcal kg}^{-1}$), pero que no difirió significativamente del contenido de EN_L de las variedades Verde ($1.17 \text{ Mcal kg}^{-1}$) y Triunfo ($1.19 \text{ Mcal kg}^{-1}$). No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) en el contenido de EN_L entre las variedades de maíz ($1.25 \text{ Mcal kg}^{-1}$) o de sorgo de las variedades Centurión, Verde y Triunfo, que promediaron $1.19 \text{ Mcal kg}^{-1}$ (Cuadro 10, Figura 11).

ENL (Mcal kg⁻¹) de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84

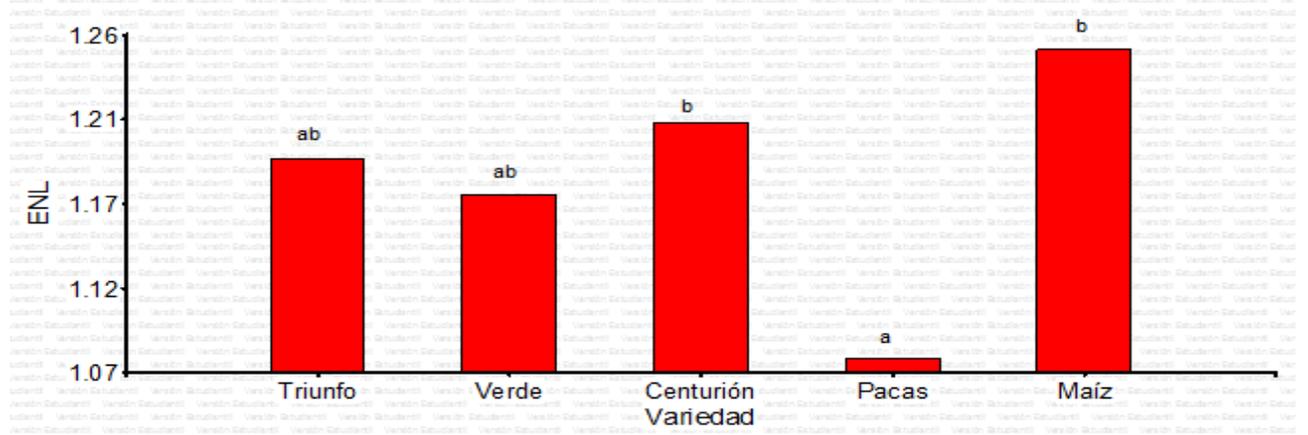


Figura 11. Contenido de EN_L (Mcal kg⁻¹) de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días post-siembra.

5.2. Estabilidad Aeróbica y pH

No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) en el pH de los ensilajes entre las distintas variedades de sorgos y de maíz evaluadas. Las medias de las variedades de sorgos fueron: Triunfo 3.8; Centurión 3.9; Pacas 3.9; y Verde 4.0. El pH del ensilaje de maíz fue 3.9. En términos de calidad pH menores de 4.2 son característicos de fermentaciones buenas del ensilado, pH óptimos para la proliferación de BPAL.

Las temperaturas alcanzadas por los ensilajes al ser expuestos al aire durante un periodo de 72 horas se muestran en el Cuadro 11. Se puede observar que durante las primeras tres horas de exposición a condiciones aeróbicas, las temperaturas no difirieron significativamente ($P > 0.05$) y fueron similares a la del ambiente.

Cuadro 11. Temperaturas alcanzadas por ensilajes de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días de crecimiento tras 72 horas de exposición al aire.

	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr	9hr	12hr	24hr	36hr	48 hr	60 hr	72 hr
Triunfo	25.18 ^a	25.28 ^a	26.38 ^a	26.33ab	26.20a	25.68a	25.55a	22.95a	25.23a	27.90ab	29.75ab	29.00b	31.50b
Verde	25.67 ^a	25.50 ^a	25.70 ^a	26.00a	25.57a	25.20a	25.27a	22.93a	27.03a	31.57b	32.00b	28.90b	31.00b
Centurión	25.05 ^a	25.55 ^a	26.63 ^a	27.00b	26.03a	25.73a	25.65a	23.10a	28.45a	28.83ab	31.58ab	30.25b	31.65b
Pacas	24.93 ^a	25.45 ^a	26.45 ^a	26.33ab	25.80a	25.03a	25.03a	22.63a	25.85a	29.20b	29.63ab	28.33b	30.15b
Maíz	25.33 ^a	25.68 ^a	26.40 ^a	26.55ab	26.15a	25.30a	25.23a	23.15a	27.08a	31.90b	31.23ab	27.68b	30.50b
Temperatura ambiente	26.20 ^a	27.30b	25.90 ^a	25.80 ^a	25.60a	25.10a	25.00a	22.90a	25.40a	22.90a	26.30a	22.50a	26.00a

Entre las cuatro y doce horas de exposición al aire, la temperatura de los ensilajes tendió a disminuir, aunque no significativamente. Esta disminución en la temperatura de los ensilajes fue paralela a la fluctuación de la temperatura ambiente. Entre las 12 y 36 horas de exposición al aire, se observó un aumento paulatino en la temperatura de los ensilajes (Figura.12) que alcanzaron temperaturas superiores ($P < 0.05$) a las del ambiente. Entre las 36 y 72 horas de exposición al aire, la temperaturas de los ensilajes mostraron fluctuaciones similares a las observadas en la temperatura ambiental.

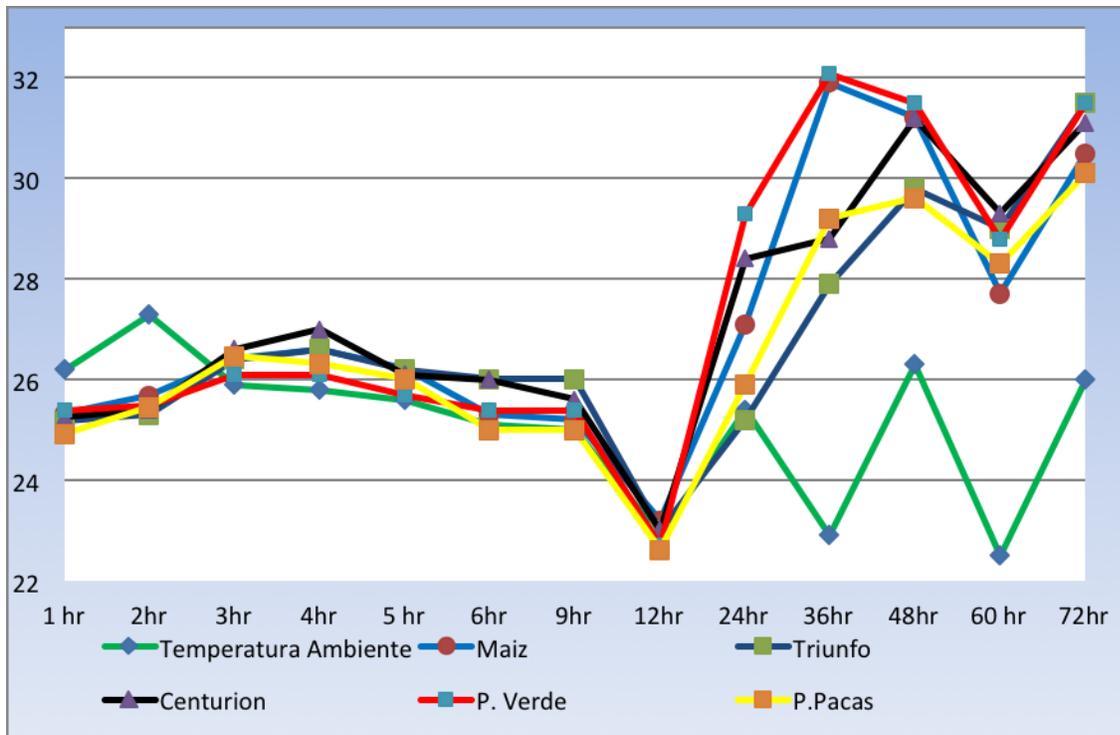


Figura 12. Temperatura (°C) de ensilajes de cuatro variedades comerciales de sorgo y de una de maíz cosechados a los 84 días de crecimiento durante 72 horas de exposición al aire.

Tanto los ensilajes de las variedades de sorgo que poseen el gen BMR (Triunfo, Verde y Centurión) como la que no lo posee (Pacas) y el de maíz fueron estables durante las primeras 24 horas de exposición aeróbica. Esto indica que los ensilajes de las variedades de sorgos estudiadas, así como el de maíz, pueden ser utilizados rutinariamente como una fuente de forraje, o como parte de una dieta mixta completa, sin signos aparentes de deterioro.

6.0.CONCLUSIONES

- Los ensilados de sorgo, tanto de las variedades que poseían el gen BMR como los de las que no lo poseían, tuvieron un mayor contenido de FDN que el ensilado de maíz (Mayorbela)
- El contenido de FDA en los ensilajes de sorgo fue mayor que en el ensilaje de maíz
- El contenido de PB de los ensilajes de sorgo y de maíz fueron similares
- A excepción de una variedad de sorgo (Pacas) el contenido de NDT y de EN_L de las otras variedades de sorgo y de maíz, fueron similares
- Tanto los ensilajes de las distintas variedades de sorgo como el de maíz, fueron estables durante las primeras 12 horas de exposición aeróbica

7.0 REFERENCIAS

- AghaAlikhanu,M., Etemadi., F., Ajirlo, AF. 2012. Physiological basis of yield difference in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in a semi-arid environment. *Journal of Agricultural and Biological Science* . ISSN1990-6145
- Aydin, G., R. J. Grant, and J. O’Rear. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2127–2135.
- Alcolea, A. M. M., Leyva, R. N., García, S. T., Fagundo, D. M., & Leyva, O. 2005. Comportamiento de los índices anatómicos y fisiológicos de tolerancia a la sequía en variedades de sorgo (*Sorghum*. *Centro Agrícola*, 32(1), 77.
- Amador, A. L., & Boschini, C. 2000. Calidad nutricional de la planta de sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) para alimentación animal. *Agronomía mesoamericana*, 11(2), 79-84.
- Bolaños Aguilar, E. D., Emile, J. C., & Audebert, G. 2012. Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nervadura café. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(3), 441-449.
- Borrell, A. K., Hammer, G. L., & Henzell, R. G. 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. *Crop Science*, 40(4), 1037-1048.
- Cañete, M. V. y Sancha. J. L. 1998. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes, p. 1- 260.
- De León., M. 2005. Algunos factores que determinan la productividad de los silajes de sorgo.E.E.A. INTA Manfredi Área de producción animal
- De León, M., & Giménez, R. 2005. Evaluación del rendimiento, la calidad nutritiva y productiva animal de ensilajes de sorgos de distintos cultivares *Sorghum* silages evaluation: cultivars, yield, quality, forage intake and steers performance
- Di Marco, O. N., Ilarregui, I., Aello, M. S., Arias, S., & Gutiérrez, L. M. 2007. Calidad nutritiva de silajes de sorgo silero normal y nervadura marrón. *Revista Argentina de Producción Animal*, 27, 1-10.
- Grant, R. J., Haddad, S. G., Moore, K. J., & Pedersen, J. F. 1995. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *Journal of dairy science*, 78(9), 1970-1980.
- Kleinschmit, D.H. and L. Kung, Jr. 2006. A meta-analysis of the effects of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small grain silages. *J. Dairy Sci.* 89:4005-4013.

- Kirch, B. H., S. R. Hamma, K. K. Bolsen, J. G. Riley, and J. Hoover. 1988. Whole-plant forage and grain sorghums and corn silages for growing cattle. *Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. Prog.* 539:167-171.
- Lusk, J. W., Karau, P. K., Balogu, D. O., & Gourley, L. M. 1984. Brown midrib sorghum or corn silage for milk production. *Journal of Dairy Science*, 67(8), 1739-1744.
- Mannetje, L. T. 2000. Silage making in the tropics with particular emphasis on smallholders: proceedings of the FAO electronic conference on tropical silage, 1 September-15 December 1999. Food and Agriculture Organization.
- McDonald, P., A.R. Henderson, and S.J. Heron. 1991. *The Biochemistry of Silage*. 2nd ed. Cholcombe Publ. Cambriam Printers Ltd., Aberystwyth, U.K. pp 184-236.
- Miron, J., Zuckerman, E., Sadeh, D., Adin, G., Nikbachat, M., Yosef, E., ... & Solomon, R. 2005. Yield, composition and in vitro digestibility of new forage sorghum varieties and their ensilage characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 120(1), 17-32.
- Muck, R. 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. *J. Dairy Sci.* 71: 2992-3002.
- Muck, R. and Pitt, R.E. 1993. Ensiling and its effects on crop quality. In: *Silage Production; from seed to animal*. Proc. Nat. Silage Prod. Conf. Syracuse, NY. pp. 57.
- Noguer Massot, J. M., & Valles Cabezas, A. 1977. El ensilado y sus ventajas. *Campo (México)*. (Set, 53(1027), 3-16.
- Núñez Hernández, G., & Cantú Brito, J. E. 2012. Producción, composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudán de nervadura café en la región norte de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 38(3).
- Oude Elferink, S.J.W.H., F. Driehuis, J.C. Gottschal, and S.F. Spoelstra. 2001. Estudio 2. Los Procesos de Fermentacion del Ensilaje y su Manipulacion. Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Institute for Animal Science and Health and Dept. of Microbiology, Groningen State University, Holanda p.17-30.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H. B., Reyes, F., Oquendo, G., & Milián, I. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench). *Pastos y Forrajes*, 33(1), 1-1.
- Pitt, R.E. 1990. Silage and hay preservation. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Ithaca, NY. NRAES-5. pp 12-34.

- Rodríguez, A.A. 1996. Studies on the efficiency 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 forage ensiled in temperate and tropical environments. Ph. D. Dissertation, Michigan State University.
- Rodríguez, C. F. V. 2005. Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum* sp). *Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 215-223.
- Rodríguez, A. A., Acevedo, J. A., & Riquelme, E. O. 2005. PF 28. Aerobic stability of native tropical grass silage. Effect of propionic acid and length of aerobic exposure. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5(3).
- Romero, L.A., Aronna, M.S. y Comeron, E.A. 2003. Evaluación de silajes de sorgo de nervadura marrón para la producción de leche. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23(Supl. 1):10-11.
- Rosario, C. 2012. Efecto de la aplicación de inóculos microbianos sobre las características fermentativas, estabilidad aeróbica y consumo voluntario de ensilaje de gramíneas tropicales naturalizadas. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.
- Saucedo, O.M. 2008. Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. Taller Nacional sobre empleo del sorgo. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.
- Seglar, W.J. 1993. Dairy production management –Silage management. Pioneer Hr-Bred Int'l, Inc. 4 state Applied Nutrition Conference, La Crosse WI. June 29-30.
- Serra Gironella, J., Salvia Fuentes, J., & Solsona Pobes, M. 2005. Yield and nutritive value of commercial varieties of forage sorghum and normal and brown midrib sorghum x Sudan grass hybrids, in the Northeast of Catalonia [Spain]. In *Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 45., Gijón (España), 28 May-3 Jun 2005. SERIDA.
- Siefers, M. K., J. E. Turner, G. L. Huck, M. A. Young, S. A. Anderson, R. V. Pope, and K. K. Bolsen. 1997. Agronomic and silage quality traits of forage sorghum cultivars in 1995. *Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. Prog.* 783:75-79
- Spoelstra, S.F., Courtin, M.G. and van Beers, J.A.C. 1988. Acetic acid bacteria can initiate aerobic deterioration of whole crop maize silage. *J. Agr. Sci. Camb.*, 111: 127-132.

- Torres, G. S.; V. Bermúdez; O. Chateloin; T. Torres. 1988. Comparación de indicadores anatómicos y fisiológicos de tolerancia a la sequía en caña de azúcar. (Trabajo de Diploma). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
- Van Soest, P.J. 1994. Forage Conservation. In: Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd. Edition. Cornell University Press: Ithaca, NY pp. 141-151.
- Villa, A. F., Meléndez, A. P., Carulla, J. E., Pabón, M. L., & Cárdenas, E. A. 2010. Study of microbiological and nutritional quality of corn silage in two Colombian ecosystems. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(1), 65-77.
- Wang, B. X., J.C., Huang. 1989. The correlation of proline accumulation and drought resistance in various plants under water stress condition. *Acta Phytophysiologica Sinica*. 15(1): 46- 51, Lanzhou Univ., China
- Weinberg, Z. G., Szakacs, G., Ashbell, G., & Hen, Y. 1999. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *L. plantarum*, applied at ensiling, on the ensiling fermentation and aerobic stability of wheat and sorghum silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 23(3), 218-222.
- White, J. S. 1989. Effect of plant type on the yield, quality, and nutritive value of forage sorghum silage. Ph.D. Dissertation. Kansas State University, Manhattan.
- Woolford, M.K. 1984. The Silage Fermentation. [Microbiological Series, No.14] Marcel Dekker. New York, and Basle.