

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES DIFERENTES ADITIVOS SOBRE PARÁMETROS DE VALOR NUTRICIONAL DEL ENSILAJE DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN CONDICIONES TROPICALES

LUIS STEVEN ARREDONDO PÉREZ

Trabajo final de graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

2011

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES DIFERENTES ADITIVOS
SOBRE PARÁMETROS DE VALOR NUTRICIONAL DEL ENSILAJE
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN CONDICIONES
TROPICALES**

LUIS STEVEN ARREDONDO PÉREZ

Trabajo final de graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

2011

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES DIFERENTES ADITIVOS
SOBRE PARÁMETROS DE VALOR NUTRICIONAL DEL ENSILAJE
DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) EN CONDICIONES
TROPICALES**

LUIS STEVEN ARREDONDO PÉREZ

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador

Ing. Agr. L. Alberto Camero Rey, M.Sc.

Asesor

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, Ph.D.

Jurado

Ing. Agr. Juan Carlos Cardona Álvarez.

Jurado

Ing. Agr. Fernando Gómez Sánchez, MAE.

Coordinador
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M.Sc.

Director
Escuela de Agronomía

2011

DEDICATORIA

A mi mamá por su apoyo durante todo este tiempo, a mis hermanos, a mi padre que desde del cielo me ayudo en todo momento y a mi familia que estuvo al pendiente de mi carrera.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso que me dejó llegar hasta este momento, mi familia, mi novia y todos mis compañeros que me ayudaron.

A mi profesor asesor Alberto Camero Rey y a los profesores del jurado Milton Villarreal Castro y Juan Carlos Cardona Álvarez.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2 Hipótesis.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Definición de ensilaje	3
2.2 Uso de la caña de azúcar en la alimentación animal	3
2.3 Características de la caña de azúcar	4
2.4 Ensilaje de Caña de Azúcar.....	5
2.4.1 Proceso de Ensilaje.....	5
2.4.2 Características organolépticas de un ensilaje.....	7
2.5 Uso de aditivos en el ensilaje de Caña de Azúcar.....	9
2.5.1 Cloruro de Sodio	9
2.5.2 Fuentes de nitrógeno no proteico (NNP)	10
3. MATERIALES Y METODOS	13
3.1 Localización del Estudio	13
3.2 Manejo del ensayo	13
3.2.1 Manejo del material vegetativo ensilado.....	13
3.2.2 Tratamientos y diseño experimental.....	14
3.2.3 Elaboración de los microsilos	16
3.2.4 Toma de las muestras para análisis	18
3.2.5 Variables evaluadas	18
4. RESULTADOS Y DISCUSION	21
4.1 Efecto de los diferentes aditivos sobre la pérdida de líquidos o efluentes durante el proceso del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.....	21

4.2	Efecto de los diferentes aditivos sobre la temperatura dentro de los microsilos durante el proceso del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.	22
4.3	Efecto de los diferentes aditivos sobre el valor de pH del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.	24
4.4	Efecto de los diferentes aditivos sobre las propiedades organolépticas (olor y color) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.	25
4.5	Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de materia seca (% MS) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.	26
4.6	Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de fibra ácido detergente (% FAD) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.....	28
4.7	Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de fibra neutro detergente (% FND) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.....	30
4.8	Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de proteína cruda (% PC) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.....	31
4.9	Efecto de los diferentes aditivos sobre el consumo del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.	33
5.	CONCLUSIONES	35
6.	RECOMENDACIONES	36
7.	BIBLIOGRAFIA CITADA	37
8.	ANEXOS	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1.	Nomenclatura y formulación de los tratamientos.	15
2.	Fuentes de variación y grados de libertad para el establecimiento del ensayo.	15
3.	Comportamiento de la variable efluentes acumulados (gr) según el tratamiento.	21
4.	Comportamiento de la variable temperatura (C°) durante los tres primeros días de ensilaje, según el tratamiento.	23
5.	Comportamiento de la variable nivel de pH según el tratamiento.	24
6.	Comportamiento de la variable Materia Seca (%MS 105°C) según el tratamiento.	27
7.	Comportamiento de la variable Fibra Ácido Detergente (%FAD) según el tratamiento.	28
8.	Comportamiento de la variable Fibra Neutro Detergente (%FND) según el tratamiento.	30
9.	Comportamiento de la variable Proteína Cruda (%PC) según el tratamiento.	32
10.	Comportamiento del consumo animal según cada tratamiento.	33

LISTA DE CUADROS DE ANEXOS

Cuadro	Título	Página
A1.	Variable Efluentes.	44
A2.	Variable pH.	45
A3.	Variable Materia Seca.	46
A4.	Variable Fibra Ácido Detergente.	47
A5.	Variable Fibra Neutro Detergente.	48
A6.	Variable Proteína Cruda.	49
A7.	Datos para análisis estadísticos.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.	Proceso de picado de la caña para ensilar.	14
2.	Microsilos en tubos para análisis bromatológico y características organolépticas.	17
3.	Microsilos en baldes para pruebas de consumo.	17

RESUMEN

Mediante el uso de microsilos, se evaluó el efecto de diferentes aditivos sobre el valor nutricional del ensilaje de caña de azúcar. Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Agrostología del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Sede San Carlos). Se utilizó caña de azúcar entera (tallos, hojas y cogollo), de la variedad Pindar (14 meses de edad aprox.). Se usaron microsilos de tubos de PVC de 4" con capacidad para 2 kg de mezcla de caña picada y el aditivo correspondiente a cada tratamiento (urea, sulfato y cloruro de sodio). Los porcentajes de aditivo utilizado en cada tratamiento están expresados en base fresca de la caña utilizada para ensilar (2.5% de urea, 2.5% de sulfato de amonio y 1.5% de cloruro de sodio). El período de fermentación fue de 30 días y durante este proceso se evaluaron los parámetros de pérdidas de líquidos y temperatura interna. Al final del período se tomaron muestras para evaluar el valor nutricional del material ensilado. De acuerdo a los resultados, se logró obtener un material de buena calidad fermentativa, en base a que la valoración de las propiedades organolépticas, arrojó como resultado un material de buena calidad en todos los tratamientos, además de que la temperatura en los microsilos aumentó y luego disminuyó rápidamente hasta estabilizarse, lo cual es buen indicador de la calidad final del material. Además, lo anterior se ve reforzado con los niveles de pH encontrados en los diferentes tratamientos, los cuales se encuentran entre el rango de 3.3 a 4.5, considerados como niveles óptimos. El uso de la urea como aditivo, incrementó el contenido final de PC, disminuyó los valores de FND, FAD y no afectó el nivel de MS del ensilaje. La adición de sulfato de amonio aumentó el contenido final de PC, FND y FAD, mientras que no afectó el valor final de MS del ensilaje. Los resultados obtenidos con la adición de cloruro de sodio muestran que este aditivo no tuvo efectos positivos en los valores de PC y MS, mientras que en los niveles de FND y FAD tuvo un efecto negativo al incrementar el valor de los mismos.

Palabras clave: Microsilos, ensilaje, caña de azúcar, aditivos, *Saccharum officinarum*, urea, sulfato de amonio y cloruro de sodio.

ABSTRACT

A study was conducted to evaluate the effect of different additives on the value nutritional of sugarcane silage through the use of microsilos. This research was performed at the Laboratory of Agrostology School of Agricultural Technological Institute of Costa Rica. The entire cane of the sugarcane was used (stem, leaves and bud) .Pindar variety, with approximately 14 months old. The microsilos were made with PVC pipes 4" with capacity to contain 2 kg of a mixture of chopped cane and the additive (urea, sulfate and sodium chloride), according to each treatment. The percentage of additive used in each treatment was expressed on wet basis of the cane used for silage (2.5% urea, 2.5% sulfate amonio and 1.5% sodium chloride). The fermentation period on the microsilos was 30 days. During this process the parameters of fluid loss and internal temperature were evaluated. At the end of the experiment, the microsilos were opened and samples were taken to evaluate the value nutritional of the ensilaged material. The results obtained show that, in general terms, it was possible to obtain good fermentative quality material, this, based on the fact that the organoleptic properties' evaluation showed as result a good quality material in all the treatments, besides that, the microsilos' temperature increased and then quickly decreased until get stable, which is a good indicator of the material's final quality. Also, it was said before, become reinforced with the pH levels founds on the different treatments, which were in a range between 3.3 and 4.5, considered as optimums levels. The urea usage as an additive, increased the final content of PC, decreased the FND and FAD values, and did not affected the ensilage MS level. The addition of ammonium sulfate increased the final content of PC, FND and FAD, while did not affected the ensilage MS final values. The results obtained with the addition of sodium chloride showed that this additive didn't have effects on the PC and MS values, while in the FND and FAD levels, it had and negative effect by increasing their value.

Keywords: Microsilos, silage, sugar cane, *Saccharum officinarum*, additives, sulfate amonio, sodium chloride, urea.

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la ganadería se ha caracterizado en algún grado por su forma extensiva y poco tecnificada, sin embargo, en los últimos años se han buscado alternativas para generar sistemas de producción más intensivos; de ahí que se ha recurrido a la siembra de forrajes mejorados, desarrollo de sistemas silvopastoriles, así como el uso de complementos alimenticios como la melaza, urea, subproductos agrícolas y conservación de forrajes, entre otros (Torres 2006).

Sumado a lo anterior, se conoce que en Costa Rica se presentan dos épocas climáticas bien definidas: estación seca y lluviosa; de forma tal que en la época de mayor precipitación se da una abundante producción de forraje fresco; sin embargo, en la época seca sucede lo contrario, por lo que es necesario la implementación de alternativas para el almacenamiento y conservación de forraje, como es el caso de los ensilajes (Saborío 2008). El ensilaje es una práctica de conservación de forrajes, residuos de cosecha o bien, subproductos agrícolas e industriales. Los productos del ensilaje son preservados gracias a la acción de ácidos, ya sea adicionados artificialmente o producidos de forma natural en la etapa de fermentación. El proceso se da en un ambiente sin aire, que favorece el desarrollo de bacterias anaeróbicas presentes en el forraje. La calidad de un ensilaje depende principalmente del valor nutricional de la materia prima usada, por lo que en ocasiones, es necesario el uso de aditivos para mejorar el producto final (t Mannelje 2001). La utilización de caña de azúcar como forraje fresco o en ensilaje, presenta ventajas como la alta producción por área, disponibilidad durante todo el año, adaptabilidad a la zona y elevado valor energético. Sin embargo, presenta importantes limitaciones en su uso como el bajo valor proteico, problemas de fermentación alcohólica y baja digestibilidad (Camargo *et al* 2009, Torres 2006, Montañéz 2007).

Con estos antecedentes, nace la necesidad de probar la adición de sustancias que nos ayuden a mejorar el valor nutricional del ensilaje producido con este forraje (% proteína, pH, fibra, olor, color y palatabilidad).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de tres diferentes aditivos, sobre el valor nutricional del ensilaje de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en condiciones tropicales.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el efecto de tres diferentes aditivos sobre la pérdida de líquidos en el proceso del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.
- Medir el efecto de tres diferentes aditivos sobre la temperatura de los microsilos durante el proceso del ensilaje de la caña de azúcar en condiciones tropicales.
- Evaluar el efecto de tres diferentes aditivos sobre el pH del ensilaje de la caña de azúcar en condiciones tropicales.
- Evaluar el efecto de tres diferentes aditivos sobre el valor nutricional del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

1.2 Hipótesis

- Hipótesis nula: No hay relación entre el adicionar aditivos al ensilaje de caña de azúcar y la mejora en las características nutricionales mismo.
- Hipótesis alternativa: Al adicionar aditivos al ensilaje de caña de azúcar, se mejoran las características nutricionales del mismo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición de ensilaje

Esta práctica de conservación de forrajes, se refiere básicamente al almacenamiento de forrajes verdes en ausencia de aire o condiciones anaerobias, en un depósito determinado llamado silo. En el proceso se producen diferentes cambios en el material verde, principalmente de fermentación, que conducen a un producto final llamado silaje (Peñagaricano *et al.* 1977). Durante el proceso de almacenamiento, la fermentación anaeróbica se produce principalmente por la actividad de bacterias lácticas, dentro de las cuales se pueden mencionar estreptococos y lactobacillus. Éstas intervienen sobre los carbohidratos del material vegetal y de esta manera se produce ácido láctico, el cual previene el deterioro del forraje y conserva su valor nutritivo (Lobo y Díaz 2001).

El objetivo final de un proceso de ensilaje es la conservación de forrajes, con la mayor calidad posible y en un periodo de tiempo determinado, con el fin de suplir las necesidades de alimentación de los animales en un momento dado (Peñagaricano *et al.* 1977).

2.2 Uso de la caña de azúcar en la alimentación animal

La caña de azúcar tiene la ventaja de que puede ser utilizada de muchas formas en la alimentación de ganado bovino. Se puede utilizar como forraje fresco, usar el jugo en forma de melaza invertida, el bagazo como forraje o portador de melaza. Además, la caña de azúcar puede ser utilizada en forma de ensilaje, el cual es una alternativa de gran importancia para el almacenamiento y conservación del mismo, sin embargo, esta es una práctica que resulta difícil, ya que la caña al tener gran cantidad de azúcares, puede provocar fermentaciones indeseables de tipo alcohólicas, lo que requiere la utilización de aditivos que ayuden a mejorar estas condiciones (INTA 2009). En el caso del bagazo, el cual es el resultante de la

extracción del jugo de la caña, este puede ser predigerido con la adición de hidróxido de sodio, con el fin de mejorar la digestibilidad del mismo (Preston 1989).

El suministro de caña de azúcar a los animales se ha realizado tradicionalmente en forma entera o picada directamente en los potreros o sitios de alimentación. Esta se puede suplir en los potreros o corrales, colocando la caña en comederos suficientemente grandes y, en lo posible, en un mismo horario, recordando que la suplementación con caña de azúcar requiere incluir fuentes proteicas y minerales (INTA 2009).

2.3 Características de la caña de azúcar

La caña de azúcar es uno de los cultivos más productivos del mundo, llegando a producir hasta 50 t MS ha⁻¹ dependiendo de la fertilización y la disponibilidad de agua. Además de ser una planta altamente productora de biomasa, mantiene su valor nutricional durante la estación seca. Se caracteriza, principalmente, por una alta concentración de azúcares solubles, fibra y bajos contenidos de proteína, minerales y vitaminas. La digestibilidad de la fibra presente disminuye a medida que la planta madura, pero al mismo tiempo la acumulación de azúcares en el tallo aumenta, lo que le da una ventaja sobre otros forrajes, resultando en un valor energético de 2.2 a 2.8 Mcal kg⁻¹ (Combellas 1998).

En cuanto a la cantidad de MS de la caña de azúcar en estado maduro, se encuentra alrededor del 30%, conservando este valor a lo largo del tiempo. Esto se debe, básicamente, a la acumulación de azúcares de fácil fermentación, que compensan la disminución de la digestibilidad generada por la lignificación, incluso, este incremento de azúcares puede aumentar la digestibilidad total de la planta. El alto contenido de hidratos de carbono estructurales (celulosa, hemicelulosa) y lignina que presenta esta planta, la convierte en un forraje de mediana calidad, con un valor promedio de 58,9% de nutrientes totalmente digestibles (NTD), un nivel promedio de 3,8% de PC y un valor promedio de grasas o extracto etéreo (EE), menor al 2% (INTA 2009).

2.4 Ensilaje de Caña de Azúcar

La caña de azúcar es una gramínea que por composición natural, tiene la capacidad de concentrar grandes cantidades de sacarosa en sus tallos. Esta es una característica que tiene una ventaja importante sobre otros forrajes, ya que estos carbohidratos se acumulan a medida que madura la planta sin alterar su valor digestible; además, este es un forraje de alta producción de materia seca por hectárea y su disponibilidad es durante todo el año. Por otro lado, también este forraje tiene las limitaciones de que tiene bajo contenido de proteína cruda, baja digestibilidad *in vitro* de materia seca y que se fermenta rápidamente después del corte, produciendo importantes cantidades de etanol poco apetecible por parte de los animales (INIFAP 2010).

Sin embargo, existen soluciones para muchos de estos problemas. Estas se basan en la utilización de aditivos que permitan controlar el proceso de fermentación. Una forma de manipulación, es mediante la elevación del pH con sustancias alcalinas al momento de ensilar, lo que impide el desarrollo de levaduras, que convierten los azúcares en ácidos orgánicos y etanol. Dentro de los aditivos que se pueden utilizar para mejorar el valor nutricional del ensilaje de caña de azúcar, se pueden mencionar el hidróxido de sodio, cal, urea, amonio, sal y bicarbonato de sodio (INTA 2009, INIFAP 2010).

2.4.1 Proceso de Ensilaje

Una vez que el forraje es cortado y picado, es colocado en el silo, en donde mediante la compactación de este material, se elimina al máximo la presencia de oxígeno y se da el comienzo del proceso del ensilaje. Es importante que a la hora de realizar el picado del forraje, este quede con un tamaño de partícula ideal, el cual permita una buena compactación y conservación anaerobia, además, que permita una buena rumia por parte del animal; este tamaño de partícula se encuentra entre 1,5 hasta 3 cm, siendo lo más adecuado de 1,8 cm. Uno de los puntos más importantes en la

preparación de un ensilaje, es la compactación del material una vez colocado en el silo, ya que esto influye directamente en la calidad del mismo, debido a que entre más compactado quede el forraje, menores serán las pérdidas de material al finalizar el proceso (Saborío 2008).

Una vez que comienza el proceso de ensilaje, este puede dividirse en tres etapas fundamentales: respiración, fermentación y estabilización (Peñagaricano *et al* 1977).

2.4.1.1 Etapa de respiración

En esta etapa, una vez que el forraje ha sido cortado, el mismo sigue respirando durante un tiempo determinado, por lo que se produce anhídrido carbónico, agua, y calor, debido a los carbohidratos presentes en el material. Esto se da principalmente por la presencia de bacterias en el forraje que, con ayuda del oxígeno, producen los compuestos anteriormente mencionados. Esta fase es importante ya que, de continuar por mucho tiempo, se perderá el alimento que se quiera conservar, debido al desdoblamiento de los azúcares presentes y, además, por pérdidas de coagulación en la digestibilidad de las proteínas del material, como efecto del excesivo calor. Como ya se mencionó anteriormente, esta etapa se da en presencia de oxígeno, de ahí la importancia de eliminar la mayor cantidad del mismo en un periodo de tiempo lo más corto posible, para asegurarse una mayor efectividad del proceso de ensilaje. Esto se puede realizar principalmente, por medio de la compactación del material; sin embargo, es imposible eliminar por completo la presencia de oxígeno en la masa de este, por lo que es consumido por las bacterias aeróbicas y la misma respiración. El efecto de esta fase puede ser medido por medio de uno de los productos resultantes, como lo es el calor, el cual nos permitirá manejar el proceso de ensilaje (Watson y Smith 1984).

2.4.1.2 Etapa de fermentación

Esta fase comprende una serie de cambios químicos provocados por la acción de microorganismos en los compuestos orgánicos, con el objetivo de obtener energía y alimento para el desarrollo de sí mismos. Durante este proceso de fermentación, se producen tres sustancias que son importantes en el desarrollo de un ensilaje, los cuales son el ácido láctico, butírico y acético. De acuerdo con Peñagaricano *et al.* (1977), un buen ensilaje debe tener una alta proporción de ácido láctico, menor proporción de ácido acético y muy poco o nada de ácido butírico.

2.4.1.3 Etapa de Estabilización

Esta es la última etapa del proceso de ensilaje, en el cual en un silo correctamente realizado, la producción de ácido láctico representa entre 1 y 2% de la masa del mismo, alcanzando niveles de acidez (pH) generalmente inferiores a 4,5. En un silo sellado, en el cual no se permita la entrada de aire, estas condiciones permanecen a lo largo del tiempo. Cuando no se genera una cantidad suficiente de ácido láctico, los niveles de pH son superiores a los correctos, por lo que se da la proliferación de bacterias del grupo Clostridium y se producen sustancias como ácido butírico. Debido a esto, se produce un desdoblamiento de las proteínas causando una disminución del valor nutritivo del forraje, además, se forman compuestos simples de nitrógeno, causantes de olores rancios y coloraciones parduzcas. Estas características pueden generar disturbios gástricos al ser consumidos por los animales (Peñagaricano *et al.* 1977).

2.4.2 Características organolépticas de un ensilaje

Según Bertoia (2007), de acuerdo con las características organolépticas finales de los ensilajes se pueden clasificar en lácticos, butíricos, sobreencalados, mohosos y pútridos.

- Ensilajes lácticos o bien fermentados: se caracterizan por ser de color amarillo verdoso, de olor agradable, avinagrado y picante; además de ser de textura firme, pH de 3,3 a 4, buena aceptabilidad por parte de los animales y un valor nutritivo similar al del forraje verde.
- Ensilaje butírico: estos tipos de ensilajes tienen la característica de presentar un color pardo o verde oliva, olor desagradable y rancio, textura blanda o viscosa, pH mayor a 4,5, baja aceptabilidad por parte de los animales y un valor nutritivo regular, debido a la desnaturalización de proteínas.
- Ensilaje sobreencalado: estos ensilajes se caracterizan por ser de color marrón, tener un olor acaramelado, ser de acidez variable, de buena aceptabilidad y de valor nutritivo bajo.
- Ensilaje mohoso: este es un tipo de ensilaje que se caracteriza por las manchas algodonosas de color blanco, olor rancio, textura gelatinosa, pH mayor a 5, mala aceptabilidad por parte de los animales y de bajo valor nutritivo.
- Ensilaje pútrido: es un ensilaje que presenta un color típico de verde oscuro a negro, olor repulsivo debido a la descomposición, textura blanda, pH mayor a 5, mala aceptabilidad y de bajo valor nutritivo o puede llegar a ser tóxico para los animales.

2.5 Uso de aditivos en el ensilaje de Caña de Azúcar

2.5.1 Cloruro de Sodio

La adición de esta sustancia en la preparación de silos, manipula la fermentación del forraje, ya que se inhibe la generación del etanol, se disminuye la acidez y, además, no produce ningún efecto sobre la digestibilidad final del mismo (INIFAP 2010). Además, según Moore (1968), el cloruro de sodio ayuda a que algunos forrajes de mala calidad se vuelvan más apetecibles para el ganado.

Según Silveira y Franco (2006), esta es una sustancia que se recomienda adicionar a los ensilajes, sin embargo, parece que se obtienen los mismos resultados tanto si se incluye o no en el forraje, ya que la adición de sal no estimula la actividad bacteriana ni actúa como antiséptico. Si se obtienen buenos resultados, probablemente se deban a que el cloruro de sodio, si se añade disuelta, facilita la compresión del material a ensilar. Sin embargo, sí está comprobado que el único efecto de esta sustancia consiste en hacer más apetecible al ganado, los forrajes que se consideran como de mala calidad. Cuando se adiciona sal a los ensilajes, es importante mantener un nivel adecuado, ya que, si se administra ensilaje salado al ganado debe suprimirse la adición de mezclas minerales que contengan sal, pues se pueden generar problemas de intoxicación salina.

Zanotelli y Mühlbach (1989) reportan que la adición de 1 % de cloruro de sodio a una mezcla de pasto elefante con follaje de yuca (28 % MS, 9,5 % Carbohidratos), no demostró ser efectiva para mejorar la fermentación del ensilaje, comparado con un control fresco que no se marchitó. Además, INIFAP (2010), describe un procedimiento para realizar ensilaje de caña de azúcar, en el cual recomienda la adición de 6,6 % de cloruro de sodio en base seca. También este último autor menciona que la utilización de este aditivo en el ensilaje de caña de azúcar, permite lograr una adecuada fermentación del forraje, asimismo, inhibe la producción de etanol, disminuye la acidez y no afecta la digestibilidad del producto final.

Por otro lado Martínez *et al* (1998), indican la adición de 30 g/kg de cloruro de sodio, es decir 3%, en ensayos con ensilajes realizados en alcachofa, reportando como efecto más notable, el aumento de la capacidad tampón del material, en comparación con otros aditivos como la melaza de caña de azúcar y el ácido fórmico.

2.5.2 Fuentes de nitrógeno no proteico (NNP)

La urea, como fuente de nitrógeno no proteico, es utilizada como aditivo en los ensilajes, con el fin de aumentar los niveles de proteína cruda, alargar la vida del mismo y mejorar la estabilidad aeróbica del ensilaje al momento de la explotación de silo. De acuerdo con Mühlbach (2001), con la adición de urea, generalmente se aumentan los valores de pH y nitrógeno amoniacal.

Fernández (1999) reporta que se ha logrado elevar en unos puntos el contenido proteico de ensilajes, usando entre 15 y 25 kg de urea por tonelada de material. En aquellos casos donde se producen excesos en la cantidad de urea empleada, los animales se resisten a consumir el silaje hasta que los niveles de amonio hayan descendido por evaporación. Según resultados reportados por Mühlbach (2001), indican que el uso de aditivos de NNP, especialmente la urea, al ser agregados a forrajes con contenidos altos de MS y baja capacidad de poder tampón (granos de maíz o sorgo), aumentan el contenido de proteína bruta y se puede mejorar la estabilidad aeróbica del ensilaje. Además Lavezzo (1993), menciona el uso de urea como un aditivo para ensilaje en pasto elefante y concluye que con forrajes de bajo valor de MS y en ausencia de aditivos ricos en carbohidratos, el uso de este producto no debería recomendarse cuando se pretende mejorar la calidad de la fermentación porque, generalmente, los valores de pH, Nitrógeno amoniacal y de ácidos acético y butírico, se elevan. Singh *et al...* (1996) indicaron que valores más altos de pH y de Nitrógeno amoniacal, se asociaban con mayores poblaciones de bacterias proteolíticas anaeróbicas, en ensilajes de *Sorghum bicolor* (34 % MS) hecho con 0,5% de urea.

INTA (2009), menciona que con la adición de 6 Kg de urea/tonelada de caña picada, se puede llegar a obtener hasta 12% de proteína bruta. También Álvarez (1988), reporta la utilización de 10 gramos (1%) de urea/Kg de caña fresca, como un nivel óptimo.

Según Bolsen, citado por Mühlbach (2001), las fuentes de nitrógeno no proteico como la urea, actúan como un poder tampón o buffer en el proceso de fermentación, lo cual hace que se requiera la producción de mayores cantidades de ácido láctico para lograr bajar el pH, necesario para una buena conservación del silo, lo cual conduce al aumento en las pérdidas MS.

En el caso de sulfato de amonio, se utiliza con el fin de aumentar el contenido de PC del silo, así como la vida del mismo. El efecto del amonio en un ensilaje se basa en que este compuesto aumenta el pH. Además de la elevación del pH, el amonio tiene la característica de ser nocivo para las levaduras, hongos y bacterias responsables del calentamiento, lo que podría aumentar la vida del ensilaje, si este permanece bien sellado. La muerte de hongos y bacterias se debe a que el efecto del amonio causa, al inicio de la fermentación, un elevado pH, además de que se aumenta tanto la cantidad de ácido producido, como el contenido de ácido acético relativo al ácido láctico, por lo que estos cambios inhiben el desarrollo de estos organismos. Sin embargo, dichos cambios en el proceso de fermentación pueden causar una disminución de la materia seca (Ramírez 1999). Además, este autor menciona que la utilización de amonio en los procesos de ensilaje, mejora la digestibilidad de la materia seca y de la fibra, debido a la ruptura de la hemicelulosa y otros componentes de la pared celular de los forrajes. Según Álvarez (1988), la caña de azúcar es una planta deficiente en azufre, por lo que la suplementación con sulfato de amonio a un nivel de 1g/Kg de caña fresca resultó ser eficiente, es decir un nivel del 0,1%. Por otro lado, Galina *et al.* (2008 y 2009), mencionan la utilización de 5 Kg de sulfato de amonio por cada 1000 Kg de material a ensilar, es decir un nivel de 0,5%.

Otras fuentes de NNP, como el sulfato de amonio y "biuret", solas o en combinación con urea, carbonato de calcio o fuentes de almidón, también han sido estudiadas con relación a sus efectos sobre la fermentación, la digestibilidad y el consumo del ensilaje. Sin embargo, los resultados obtenidos por Vilela (1984), no favorecen su empleo como aditivos del ensilaje. De acuerdo con Bolsen (1999), las fuentes de NNP siempre actúan como un poder tampón dentro del proceso de fermentación, lo que requiere la producción de cantidades extras de ácido láctico para lograr bajar el valor de pH que se precisa para una buena preservación del ensilaje, lo cual aumenta las pérdidas de MS.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización de Estudio

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Agrostología de la Escuela de Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Sede San Carlos), ubicado a 10° 22" latitud norte, 84° 31" longitud oeste y a una altura de 172 msnm, en el distrito de Florencia, cantón San Carlos, provincia de Alajuela. Las variables climatológicas se caracterizan por una temperatura máxima promedio de 30 °C; mínima promedio de 21°C y una media general de 25°C; precipitación anual promedio de 3 300 mm y humedad relativa promedio de 84%, clasificándose como una zona de bosque tropical húmedo (bth).

3.2 Manejo del ensayo

3.2.1 Manejo del material vegetativo ensilado

Se utilizó caña de azúcar entera (tallos, hojas y cogollo), de la variedad Pindar con aproximadamente 14 meses de edad, proveniente de parcelas experimentales que cuenta el TEC en la finca la Balsa. La caña, inmediatamente después de cosechada, se procesó con una picadora de cuchillas a un grosor de entre uno y dos centímetros (Figura 1).

Posteriormente, se pesó la cantidad de caña a ensilar y se le agregó el correspondiente aditivo (urea, sulfato de amonio y cloruro de sodio) según la formulación de cada tratamiento. La adición de los aditivos se realizó en forma manual. Los porcentajes de cada aditivo utilizado en cada tratamiento están expresados en base fresca de la caña utilizada para ensilar (2.5% de urea, 2.5% de sulfato de amonio y 1.5% de cloruro de sodio).



Figura 1. Proceso de picado de la caña para ensilar. Foto S.Arredondo, 2011.

3.2.2 Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron diferentes ensilajes de caña de azúcar con aditivos. Para analizar los resultados del ensayo, se implementó un diseño completamente al azar, con seis tratamientos repetidos tres veces, para un total de 18 unidades experimentales. El efecto de los tratamientos se determinó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y las diferencias entre tratamientos fueron establecidas mediante la opción LSMEANS (procedimiento MIXED de SAS).

La denominación y formulación de cada tratamiento se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Nomenclatura y formulación de los tratamientos.

Tratamiento	Formulación del tratamiento
Caña ensilada	2 kg caña
Caña-urea	2 kg caña + 50 gr de urea
Caña-sulfato de amonio	2 kg caña + 50 gr sulfato de amonio
Caña-cloruro de sodio	2 kg caña + 30 gr de cloruro de sodio
Caña-urea-cloruro de sodio	2 kg caña + 50 gr urea + 30 gr cloruro de sodio
Caña-sulfato de amonio-cloruro de sodio	2 kg caña + 50 gr sulfato de amonio + 30 gr cloruro de sodio

Para este diseño se estableció el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Observación correspondiente a la j-ésima unidad experimental que recibió el i-ésimo tratamiento.

μ = Media general.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{ij} = Error experimental.

En el Cuadro 2 se presenta las fuentes de variación y grados de libertad establecidos para el ensayo.

Cuadro 2. Fuentes de variación y grados de libertad para el establecimiento del ensayo.

Fuente de Variación	Grados de libertad
Tratamientos	5
Error	12
Total	17

3.2.3 Elaboración de los microsilos

Los microsilos utilizados fueron elaborados con tubos y tapas de polivinilo (PVC) de 4" de diámetro y 16" de alto. Los mismos fueron lavados y desinfectados para evitar posibles problemas de contaminación.

Se utilizó caña de azúcar entera (tallos, hojas y cogollo) picada con una máquina picadora, de cuchillas. Para estos microsilos, se utilizó la metodología usada por Mora (2006) que provee un escape superior, consistente de una manguera de polivinilo flexible de ½" sumergida en un tubo de ensayo con agua a manera de "sello de agua" que permite la salida de gases, producto de la fermentación, pero no la entrada. Esta misma metodología integra una salida ó escape inferior, que consiste de una manguera plástica de ¼" bajo la cual se colocará un depósito para la recolección y medición diaria de los efluentes. El volumen de cada microsilo es de 0,0032 m³, lo cual permitió ensilar 2 kg de material fresco, lo que equivale a una densidad de 625 kg/m³. El material colocado en cada microsilo fue pesado y mezclado en un recipiente distinto, con el fin de obtener la mayor uniformidad posible en la mezcla. Una vez que se mezcló el material, fue introducido y compactado en los microsilos, hasta su llenado total y luego se procedió a colocar la tapa de los mismos, las cuales fueron selladas con cinta adhesiva (Figura 2).

El mismo procedimiento se siguió para elaborar microsilos más grandes, con el objetivo de contar con mayor cantidad de ensilaje y realizar la prueba de consumo. Para ello se utilizaron baldes con capacidad de 18 kg (Figura 3).



Figura 2. Microsilos en tubos para análisis bromatológico y características organolépticas. Foto S.Arredondo 2011.



Figura 3. Microsilos en baldes para pruebas de consumo. Foto S.Arredondo 2011.

3.2.4 Toma de las muestras para análisis

La apertura de los microsilos y la toma de muestras se llevó a cabo a los 30 días de fermentación de los materiales ensilados. Se extrajo el contenido total del material ensilado, descartando los primeros 5 cm de los extremos, para eliminar cualquier material contaminado. Inmediatamente se hicieron pruebas organolépticas y medición del pH para determinar la calidad del proceso fermentativo. El contenido total del material ensilado (menos los 5 cm de cada extremo) fueron secados y molidos para determinar el valor nutricional (PC y fibra).

3.2.5 Variables evaluadas

Durante el desarrollo del ensilaje en los microsilos, se evaluaron las siguientes variables:

- Temperatura interna del material ensilado mediante la instalación de un termómetro en los microsilos. Para ello se hizo un agujero en la parte media del tubo, se introdujo el termómetro y se selló el agujero con silicón para evitar entrada de aire. En este caso no fue posible contar con los 18 termómetros para todas las repeticiones, por lo que sólo se colocó un termómetro en uno de los tubos por cada tratamiento.
- Recolección diaria y pesaje de los líquidos efluentes del proceso del ensilaje durante los primeros 21 días o hasta que se detectó que no hubo pérdidas.

Al término del proceso de ensilaje (30 días) en los microsilos, se tomaron muestras para evaluar las siguientes variables:

- Nivel de acidez (pH) del producto del ensilaje: Se utilizó la metodología recomendada por Gutiérrez *et al* (2003) citada por Mora (2006) que consiste en medir el pH en una muestra compuesta de 20 gramos de ensilaje fresco y 80 ml de agua destilada, las cuales se agitan durante 15 minutos y se realiza la medición mediante un pH-metro de electrodos.
- Determinación del contenido de materia parcialmente seca: La materia parcialmente seca se determinó por secado de una muestra en un horno de circulación de aire caliente forzado, a una temperatura de 50°C durante 76 horas. El peso de la muestra se determinó una vez que el material estuvo en equilibrio con la humedad ambiente, luego de retirado del horno. Las muestras secas fueron molidas en un molino tipo Wiley, usando una criba de 1 mm. Estas muestras fueron utilizadas para determinar los parámetros de materia seca total y valor nutricional.
- Determinación del contenido de PC: La proteína cruda se determinó con el equipo de laboratorio “Nitrogen Analyzer Rapid N Cube”. El procedimiento utilizado por este equipo se basa en la combustión total de las muestras.
- El contenido de FDA y FDN: Se determinaron mediante la adaptación de la metodología de Van Soest *et al* (1991) para el equipo de laboratorio “Fiber Analyzer” (ANKOM TECHNOLOGY New York, USA). Este equipo utiliza para la FAD el residuo que quede después de digerir con una solución detergente ácido. En este caso, los residuos de fibra son predominantemente celulosa y lignina. Para la FND se utiliza el residuo que queda después de digerir en una solución de detergente neutro. Los residuos de fibra son predominantemente de hemicelulosa, celulosa y lignina.

- Pruebas organolépticas del material ensilado. Se realizaron pruebas de olor (4 panelistas o catadores de olor del ensilaje) para calificar con criterios de bueno o malo el olor emitido por el material ensilado. Para la prueba de consumo se utilizó la metodología propuesta por Hazard *et al* (2004), en donde se utilizaron 3 animales por tratamiento, para un total de 18 animales. Se suministró 5 kg/animal, durante un tiempo de 60 minutos. Por diferencia de lo ofrecido y lo rechazado, se determinó la cantidad consumida por cada animal. Para esta evaluación no se realizó un periodo de acostumbramiento ya que los animales estaban acostumbrados a consumir ensilaje.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Efecto de los diferentes aditivos sobre la pérdida de líquidos o efluentes durante el proceso del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

Estadísticamente la cantidad de efluentes resultantes del proceso del ensilado no se vio afectado por los tratamientos ($P = 0,0565$; Cuadro A1), lo cual significa que la utilización de urea, sulfato de amonio y/o cloruro de sodio no afectan significativamente la producción de efluentes en comparación con el tratamiento testigo. Lo anterior se ve reforzado con lo encontrado por Pichard y Cussen (1995), los cuales mencionan que los efluentes producidos en un ensilaje, son generados, principalmente, por efecto del daño mecánico provocado al tejido y la presión o compactación ejercida sobre el material durante el proceso mecánico de elaboración del ensilaje. Además, este autor menciona que materiales con un nivel cercano a 30% de MS, no producen efluentes, lo cual se asemeja bastante al material utilizado, el cual alcanzó un nivel de 28,7% de MS; lo que pudo haber contribuido a las bajas pérdidas por efluentes.

Cuadro 3. Comportamiento de la variable Efluentes acumulados (gr), según el tratamiento.

Tratamiento	Efluentes(gr)
Caña	177,00b
Caña-Urea	171,33b
Caña-S.Amonio	167,67b
Caña-Cloruro de sodio	205,00b
Caña-Urea-Cloruro de sodio	202,33b
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	283,33a

Medias con diferente letra difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$), según LSMEANS (procedimiento MIXED de SAS).

No obstante, la prueba de diferencia de mínimos cuadrados de SAS encontró diferencias en uno de los tratamientos. En este caso, el tratamiento que presentó diferencias con respecto a los demás fue el de caña-sulfato de amonio-cloruro de sodio, que así mismo, resultó ser el de mayor cantidad de pérdidas por efluentes (Cuadro 3), lo cual representa un 14% de pérdida con respecto al peso inicial del ensilaje. Además de lo anterior, se puede observar que en los tratamientos con presencia de cloruro de sodio se tiende a aumentar las cantidades de efluentes en comparación con los otros tratamientos.

La evaluación de las pérdidas por efluentes en un proceso de ensilaje, son importantes debido a que estos efluentes están constituidos, principalmente, por la fase líquida contenida en el interior de las células vegetales, por lo que contienen nutrientes solubles que están presentes en el citoplasma, en su mayoría azúcares, compuestos nitrogenados solubles, minerales y también productos iniciales de la fermentación, como ácidos orgánicos; además de ocasionar pérdidas importantes de materia seca.

4.2 Efecto de los diferentes aditivos sobre la temperatura dentro de los microsilos durante el proceso del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

La variable temperatura fue evaluada únicamente durante los cinco primeros días de fermentación, que es cuando se espera que ocurran aumentos debido al proceso fermentativo. Con base en los resultados obtenidos (Cuadro 4), se puede observar que la temperatura aumentó al primer día de fermentación, y luego se estabilizó al segundo y tercer día del proceso de ensilaje, arrojando valores muy similares entre sí, con pequeñas variaciones entre tratamientos. Lo anterior se ve reforzado con Saborío (2008), el cual menciona que en un proceso normal de ensilaje, la temperatura interna del forraje sube y luego, durante los próximos días se estabiliza hasta llegar a la temperatura ambiente, lo que indica que la acción bacteriana ha disminuido y que se han formado condiciones ácidas para la conservación del forraje.

Cuadro 4. Comportamiento de la variable Temperatura (C°) durante los tres primeros días de ensilaje, según el tratamiento.

Tratamiento	Día 1	Día 2	Día 3
Caña	29°	22°	22°
Caña-Urea	29°	22°	22°
Caña-S.Amonio	31°	22°	22°
Caña-Cloruro de sodio	29°	23°	22°
Caña-Urea-Cloruro de sodio	30°	22°	23°
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	32°	22°	23°

El control de la temperatura en un proceso de ensilaje es de gran importancia ya que esta variable nos puede permitir tener una idea de la calidad del producto final. Como se puede observar en cuadro 4, los resultados obtenidos muestran que la temperatura de los diferentes tratamientos se redujo rápidamente, lo cual hace pensar que se dio una adecuada compactación y sello de los silos.

El incremento de la temperatura en un ensilaje se da principalmente por la presencia de oxígeno en el interior del silo, de ahí la importancia de eliminar la mayor cantidad del mismo en un periodo de tiempo lo más corto posible. Esto se puede conseguir principalmente con una buena compactación del forraje (Watson y Smith 1984). Además Argamentería *et al* citado por Mier (2009), afirma que aunque no se conocen las causas exactas que determinan la velocidad del deterioro del material ensilado e incremento de temperaturas internas del silo, al tratarse de un proceso biológico, está relacionado con la temperatura ambiente y el calor generado en dicho proceso. Asimismo, es sabido que la temperatura afecta de forma significativa el crecimiento y actividad de los microorganismos que actúan en los ensilajes.

4.3 Efecto de los diferentes aditivos sobre el valor de pH del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

El nivel de pH presentó diferencias significativas ($P = 0,0001$) entre tratamientos (Cuadro 5 y A2), siendo el tratamiento Caña-Urea el que presentó mayor nivel de pH con un valor de 4,19; por el contrario el tratamiento Caña-Cloruro de sodio fue el que presentó menor nivel de pH. En el cuadro 5 se puede observar que el rango de pH obtenido en los diferentes tratamientos se encuentra entre 3,46 a 4,19. Lo anterior concuerda con Peñagaricano *et al* (1977) el cual señala que un ensilaje de buena calidad debe alcanzar niveles de pH inferiores a 4,5. Sin embargo, Vilela citado por Castro *et al* (2006) recomienda para caña de azúcar un rango ideal de conservación del ensilaje de 3,8 a 4,2.

Cuadro 5. Comportamiento de la variable Nivel de pH según el tratamiento.

Tratamiento	Nivel de pH
Caña	3,56b
Caña-Urea	4,19a
Caña-S.Amonio	3,59b
Caña-Cloruro de sodio	3,46b
Caña-Urea-Cloruro de sodio	3,66b
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	3,63b

Medias con diferente letra difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$), según LSMEANS (procedimiento MIXED de SAS).

Como se puede observar el cuadro 5, los resultados muestran que el tratamiento de Caña-Urea fue el único que presentó diferencias significativas en comparación con los demás tratamientos, incluyendo el testigo. Este tratamiento alcanzó un nivel de pH de 4,19, mientras que el testigo obtuvo un nivel de 3,56; lo cual concuerda con Mühlbach (2001), donde menciona que la utilización de urea como aditivo en ensilajes conduce a un aumento del pH en el producto final. Lo anterior se ve

reforzado con los resultados obtenidos por Lara (1977), el cual reporta el aumento del pH en ensilaje de caña de azúcar desde 3,6 hasta 8,5, a medida que se aumentó el nivel de urea utilizado, desde 0 % hasta 3% en base verde.

El aumento del pH en el tratamiento con urea puede deberse no a la urea en sí misma, ya que esta se considera como una base débil, sino mas bien, a los productos generados de su degradación, como el amoníaco entre otros, el cual tiene una acción tampón sobre el medio del ensilaje (Shirley *et al*, citado por Lara 1977).

De acuerdo con los resultados obtenidos no se evidencian diferencias significativas entre los demás tratamientos, según la prueba de diferencia de mínimos cuadrados de SAS, sin embargo, se puede observar que el tratamiento de Caña-Urea-Cloruro de sodio, presenta un nivel de pH (3,66), el cual es menor en comparación con el tratamiento Caña-Urea (4,19), lo que puede significar que la adición de cloruro de sodio ayudó a mejorar el nivel de acidez cuando se utilizó conjuntamente con la urea. No obstante, Silveira y Franco (2006), mencionan que la utilización de la sal común como aditivo para ensilajes no produce ningún efecto positivo ni negativo en la calidad del producto final.

En este caso lo mas importante de resaltar es que independientemente de las diferencias estadísticas encontradas, los valores de pH fueron muy buenos para todos los tratamientos.

4.4 Efecto de los diferentes aditivos sobre las propiedades organolépticas (olor y color) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

La valoración de las características organolépticas del ensilaje fueron el resultado de un panel de catadores. Según las características organolépticas del material ensilado obtenido luego de los 30 días, se puede concluir que la calidad del proceso fermentativo fue buena tomando en cuenta la escala de evaluación utilizada

(agradable y desagradable), presentándose en todos los tratamientos un ensilaje de tipo láctico o normal, los cuales se caracterizaron, principalmente, por ser de color amarillo verdoso, de olor agradable, avinagrado y picante; además, de ser de textura firme. Esta valoración organoléptica se ve reforzada con el valor de pH obtenido en los diferentes tratamientos (Cuadro 5), cuyo valor debe oscilar entre 3,3 a 4,5, lo que confirma un buen proceso fermentativo y por consiguiente, un ensilaje de buena calidad (Bertoia 2007).

4.5 Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de materia seca (% MS) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

En general, los contenidos de MS de los ensilajes fueron muy similares entre sí y menores a los valores de la caña de azúcar fresca. El análisis estadístico dio como resultado que no existen diferencias significativas ($P=0,0723$; Cuadro A3) entre los tratamientos, lo cual significa que ninguno de los aditivos aumentó el contenido de materia en comparación con el tratamiento testigo. Sin embargo, como se puede observar en el cuadro 6, la prueba de diferencia de mínimos cuadrados de SAS encontró diferencias en algunos de los tratamientos. En general, la reducción en los contenidos de materia seca se puede deber a las pérdidas por efluentes o por gases producidos en el proceso de fermentación.

Un estudio realizado por Lara (1977), muestra que la materia seca en un ensilaje de caña sin aditivos disminuyó de 29% a 21%, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este ensayo, en donde el contenido de MS disminuyó de 26,95 a 22,55%. Este autor menciona que la disminución de la MS ocurrió a pesar del drenaje de los efluentes lo cual ha debido reflejarse, por el contrario, en un aumento de ésta, lo que hace suponer que la reducción de la MS se atribuye, principalmente, a gases y calor generados en el proceso de fermentación.

El tratamiento con urea no tuvo diferencias significativas con el testigo, por lo que se puede concluir que no aumentó ni disminuyó el contenido de MS. Lo anterior se ve reforzado con resultados obtenidos por Castro *et al* (2006), lo cuales muestran que la utilización de urea al 1% (peso fresco) en ensilaje de caña de azúcar, no mostró diferencias significativas en el contenido de MS, en comparación con ensilaje sin aditivos (20,56% y 19,96% de MS respectivamente).

Sin embargo, Lara (1977), menciona que la utilización de urea (3% peso fresco), resultó ser beneficiosa en el contenido de materia seca, ya que mantuvo un nivel del 29% de MS en el ensilaje con este aditivo. Resultados que coinciden con lo reportado por Roth *et al* citado por Leite (2006), en donde observó mayores niveles de MS en un ensilaje de caña de azúcar enriquecido con 1% de urea (materia verde), en relación con el tratamiento testigo (30,4% y 27,4% respectivamente).

Cuadro 6. Comportamiento de la variable Materia Seca (%MS 105°C) según el tratamiento.

Tratamiento	% Materia Seca
Caña	22,55a
Caña-Urea	22,57a
Caña-S.Amonio	22,02a
Caña-Cloruro de sodio	20,98b
Caña-Urea-Cloruro de sodio	21,09b
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	22,57a

Medias con diferente letra difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$), según LSMEANS (procedimiento MIXED de SAS).

Los resultados obtenidos en el tratamiento con sulfato de amonio, muestran que este aditivo no contribuyó a mejorar el contenido de MS del ensilaje, lo cual contrasta con lo observado por Castro *et al* (2006) el cual menciona que la utilización de sulfato de amonio al 1% (peso fresco), aumentó el contenido de MS de 20.56 a 21.78 %.

En caso de los tratamientos con sal común, no muestran un efecto significativo en el contenido final de MS, por lo que no se puede concluir algún tipo de efecto concreto en el ensilaje de caña de azúcar, inclusive, mezclado con los otros aditivos. Sin embargo, INIFAP (2010), menciona que la utilización de este aditivo en el ensilaje de caña de azúcar, permite lograr una adecuada fermentación del forraje, asimismo, inhibe la producción de etanol, aumenta el pH y no afecta la digestibilidad del producto final.

4.6 Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de fibra ácido detergente (% FAD) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

La fibra ácido detergente fue afectada por los tratamientos de manera que se obtuvieron diferencias significativas ($P= 0,0001$) (Cuadro A4 y Cuadro 7). Los resultados obtenidos muestran que los ensilajes con urea presentaron menores concentraciones de FAD, mientras que los ensilajes con sulfato de amonio y cloruro de sodio tienden a incrementar el contenido de FAD; en comparación con el tratamiento testigo. La FAD está inversamente correlacionada con la digestibilidad.

Cuadro 7. Comportamiento de la variable Fibra Ácido Detergente (%FAD) según el tratamiento.

Tratamiento	% FAD
Caña	35,69c
Caña-Urea	34,19d
Caña-S.Amonio	36,92b
Caña-Cloruro de sodio	40,64a
Caña-Urea-Cloruro de sodio	33,68d
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	36,97b

(Medias con diferente letra difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$), según LSMEANS (procedimiento MIXED de SAS).

Como se puede observar en el cuadro 7, los resultados obtenidos muestran que en los tratamientos con urea se produjo una disminución de la FAD, mientras que en los tratamientos con sulfato de amonio se aumentó este valor, al igual que en los tratamientos con cloruro de sodio. Sin embargo, resultados obtenidos por Castro *et al* (2006) en ensilaje de caña de azúcar, muestran que la utilización de urea al 1% (base verde), aumentó el contenido de la FAD de 39,04% a 40,29%, mientras que el uso de sulfato de amonio al 1% (base verde), disminuyó la FAD de 39,04% a 37,44%.

El hecho de que la urea disminuyera el contenido de la FAD puede deberse a que, según Lopes *et al* (2007), la adición de urea al forraje ensilado disminuye poblaciones de levaduras, reduciendo la producción de etanol, las pérdidas de MS y de carbohidratos solubles, lo que mejora la composición bromatológica del producto final. Según Cheeke citado por Castro *et al* (2006), la urea puede ser utilizada como fuente de amoníaco, ya que la superficie del forraje contiene suficiente ureasa para convertir la urea en amoníaco, por lo que éste compuesto puede disolver parte de la lignina, hacer más soluble la hemicelulosa y permitir expandir la celulosa, mejorando la accesibilidad a los microorganismos y aumentando la digestibilidad de la fibra.

En general, el contenido de FAD del ensilaje de caña sin aditivos, aumentó de 27,19% a 35,69 %, con respecto a la caña sin ensilar. En el resto de los tratamientos también se incrementaron los valores de FAD con respecto a la caña fresca sin ensilar. De acuerdo con Da Silva *et al* (2008), en ensilajes de caña de azúcar el aumento de la fracción fibrosa con respecto al material sin ensilar, se puede provocar como resultado de las pérdidas de MS en forma de gases y por la fermentación alcohólica generada por las levaduras. Además, se menciona que las modificaciones en los contenidos de MS, FAD y FND derivan de las pérdidas de carbohidratos solubles en forma de gases y de la producción de agua por medio del metabolismo del material ensilado. Diversos autores concuerdan en que en los ensilajes de caña de azúcar se tiende a dar un aumento en los contenidos de FAD y FND en el producto final (Rezende 2005; Da Silva *et al* 2008).

4.7 Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de fibra neutro detergente (% FND) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

La fibra neutro detergente fue afectada por los diferentes tratamientos ($P= 0,0001$) (Cuadro A5 y Cuadro 8). Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos con urea presentaron menores concentraciones de FND, mientras que los ensilajes con sulfato de amonio y cloruro de sodio tienden a incrementar el contenido de FND, en comparación con el tratamiento testigo. No obstante, estadísticamente no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 8) entre los tratamientos con sulfato de amonio y sulfato de amonio-cloruro de sodio, en comparación con el testigo. También se puede observar que en los tratamientos con cloruro de sodio, el contenido de FND tiende a incrementar, siendo el de mayor valor (66,34%), el tratamiento en el que se encuentra sólo.

Cuadro 8. Comportamiento de la variable Fibra Neutro Detergente (%FND) según el tratamiento.

Tratamiento	% FND
Caña	59,8bc
Caña-Urea	56,55d
Caña-S.Amonio	61,72b
Caña-Cloruro de sodio	66,34a
Caña-Urea-Cloruro de sodio	57,96dc
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	60,31bc

Medias con diferente letra difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$), según LSMEANS (procedimiento MIXED de SAS).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Castro *et al* (2006), el cual menciona que en un ensayo realizado con ensilaje de caña de azúcar, la utilización de urea al 1% (base verde), disminuyó el contenido de FND de 70,73% a 67,19%; sin embargo, en el caso de los tratamientos con sulfato de amonio no concuerdan, ya que este autor menciona que el uso de este aditivo al 1% (base verde) disminuyó la FAD de 70,73% a 66,12%.

Según Lopes *et al* (2007), la urea dentro del silo es convertida en amoníaco debido a la presencia de la enzima ureasa. Este compuesto se puede ligar con el agua formando hidróxido de amonio, el cual es capaz de solubilizar componentes de la pared celular, principalmente hemicelulosa; reduciendo la FND del material.

En general, el contenido de FND del ensilaje de caña sin aditivos aumentó de 45,91% a 59,8 %, con respecto a la caña sin ensilar. En los demás tratamientos también se incrementaron los valores de FND con respecto a la caña fresca sin ensilar. Lo anterior es importante ya que los altos valores de FND afectan negativamente el consumo de alimento por parte del animal y disminuyen la tasa de pasaje, provocando una reducción de la calidad nutritiva. Los valores obtenidos en los ensilajes se encuentran dentro de un nivel aceptable.

4.8 Efecto de los diferentes aditivos sobre el contenido de proteína cruda (% PC) del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

El contenido de proteína cruda fue afectado por los tratamientos de manera significativa ($P= 0,0001$) (Cuadro A6 y Cuadro 9). En general, el contenido de PC fue afectado principalmente por los tratamientos con los aditivos de nitrógeno no proteico. En este caso se obtuvieron los resultados esperados, ya que tanto la urea como el sulfato de amonio incrementaron el valor de PC en los ensilajes realizados. Como se puede observar el cuadro 9, existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, sin embargo, no se presentan estas diferencias entre el tratamiento con cloruro de sodio y el testigo.

Además de lo anterior, se observa que los ensilajes con urea fueron los que presentaron el mayor contenido de PC, lo cual era de esperarse ya que el contenido de nitrógeno total de ésta es mayor que el contenido de N del sulfato de amonio.

Cuadro 9. Comportamiento de la variable Proteína Cruda (%PC Base seca) según el tratamiento.

Tratamiento	% Proteína Cruda
Caña	5,04a
Caña-Urea	33,53c
Caña-S.Amonio	17,5b
Caña-Cloruro de sodio	5,74a
Caña-Urea-Cloruro de sodio	31,46c
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	18,34b

Medias con diferente letra difieren estadísticamente ($p \leq 0,05$), según LSMEANS (procedimiento MIXED de SAS).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Castro *et al* (2006), el cual menciona que en un ensayo realizado con ensilaje de caña de azúcar, la utilización de urea al 1% (base verde) aumentó el contenido de PC de 4,07% a 15,18%, mientras que la adición de sulfato de amonio al 1% (base verde), elevó el valor de PC de 4,07% a 8,63%. INTA (2009), reporta que es posible aumentar el contenido de PC hasta 12%, con la adición 6 Kg de urea por cada 1000 Kg de caña de azúcar.

Para Rezende *et al* (2007), la adición de urea en ensilados de caña de azúcar, aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal, siendo una ventaja para este tipo de ensilado, ya que la producción de amonio controla la aparición de levaduras.

El agregar fuentes de nitrógeno no proteico a los forrajes en el momento de ensilar, ha generado resultados muy satisfactorios. Según Lara (1977), el aumento en el contenido de PC en los ensilajes tratados con fuentes de nitrógeno no proteico, se atribuye principalmente a fenómenos de adsorción y, en gran parte, por absorción por parte de la planta, ya que la permeabilidad cuticular se aumenta con los presencia de estos aditivos.

4.9 Efecto de los diferentes aditivos sobre el consumo del ensilaje de caña de azúcar en condiciones tropicales.

Se realizó una prueba para determinar el porcentaje de consumo del ensilaje proveniente de cada tratamiento evaluado. En esta prueba se utilizaron las vacas lactantes de la lechería del ITCR y se ofrecieron 5 kg del material ensilado a cada animal durante un periodo de 60 minutos. Se utilizaron tres animales por cada tratamiento, lo cual equivale a un animal por cada repetición. Es importante mencionar que los animales estaban acostumbrados a consumir ensilaje de maíz pero no de caña. Los resultados se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Comportamiento del consumo animal según cada tratamiento.

Tratamiento	% Consumo
Caña	86,93
Caña-Urea	61,33
Caña-S.Amonio	100,00
Caña-Cloruro de sodio	89,20
Caña-Urea-Cloruro de sodio	65,33
Caña-S.Amonio-Cloruro de sodio	48,13

Como se puede observar, los resultados obtenidos muestran que el tratamiento con sulfato de amonio presentó el mayor consumo con un 100%, mientras que los

tratamientos con sulfato de amonio-cloruro de sodio presentaron el menor consumo con un 48%. Además, se puede observar que el tratamiento con cloruro de sodio presentó mayor nivel de consumo que el tratamiento testigo, lo cual concuerda con Silveira y Franco (2006), los cuales mencionan que el principal efecto de la sal es hacer más apetecible para los animales el material ensilado. Sin embargo, la prueba realizada fue de forma tal que los animales no recibieron ningún tipo de acostumbramiento, además, de que no se constató si algún animal presentaba algún tipo de enfermedad o problema que hubiera podido afectar el consumo del material. Con los resultados observados es posible inferir que si se utiliza un periodo de acostumbramiento y buen manejo de los animales, se puede llegar a obtener un consumo del 100% en todos los tratamientos, por lo que sería factible la utilización de estos aditivos.

Es importante tomar en cuenta que en el tratamiento con urea se alcanzó un nivel de PC de 33,53%, por lo que se debe tener precaución a la hora de suministrar este material a los animales, ya que se pueden generar problemas de toxicidad. Sin embargo, Lara (1977), señala que la urea agregada al ensilado disminuye los peligros de toxicidad, facilitándose su absorción sin peligro por parte del rumiante, ya que en el ensilado, la urea se combina con los ácidos orgánicos producidos en la fermentación, formando lactato de amonio. Además de lo anterior, no se recomienda sobrepasar un 33% del nitrógeno total de la dieta con nitrógeno proveniente de la urea. Tampoco es recomendable que el ensilaje de caña de azúcar sobrepase el 40 a 50% de la dieta total, ya que su alto contenido de carbohidratos fácilmente fermentables en el rumen y una fracción fibrosa de lenta digestibilidad, resultan como factores limitantes de consumo.

5. CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se realizó la investigación, se concluye que:

- El uso de estos aditivos en el ensilaje de caña de azúcar no afectó significativamente la pérdida de líquidos, sin embargo se observó una tendencia a aumentar en los tratamientos con presencia de cloruro de sodio.
- El comportamiento de la temperatura durante los primeros días de ensilaje fue normal y similar en todos los tratamientos evaluados.
- El nivel de pH obtenido en todos los tratamientos se pueden considerar como muy buenos valores.
- En términos generales se mejoró el valor nutricional del ensilaje con los aditivos urea y sulfato de amonio, debido al incremento en la concentración de PC y manteniendo los niveles de FAD y FND dentro de lo aceptable. El cloruro de sodio no presenta un efecto positivo en el valor nutricional del ensilaje. Además, en todos los tratamientos se obtuvo un ensilaje de buenas características organolépticas. Asimismo se obtuvo consumo por parte de los animales en todos los tratamientos.

6. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se realizó la investigación, se recomienda:

- Para próximas investigaciones se recomienda calcular las cantidades de los aditivos en base al contenido de materia seca del forraje a utilizar; ya que en esta investigación se calculó en base a la materia fresca, por lo que se toma en cuenta el contenido de agua del forraje, lo cual podría afectar los resultados en otros trabajos donde los contenidos de materia seca de la caña de azúcar varíen respecto a este trabajo.
- Para la medición de la variable temperatura, se recomienda la colocación de termómetros en todos los microsilos utilizados, además de una medición más continua durante el primer día de fermentación; ya que de esta manera sería posible realizar un análisis estadístico en esta variable.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar análisis de ácidos grasos volátiles, para valorar el desarrollo de fermentación dentro del silo.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

- Álvarez, F. 1988. Experiencia con la caña de azúcar integral en la alimentación animal en México. FAO. Animal Production and Health Paper. Consultado 26 mayo 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/s8850e/S8850E06.htm>.
- Bertoia, L. 2007. Algunos conceptos sobre ensilaje. Consultado 6 abr 2010. Disponible en www.engormix.com/algunos_conceptos_sobre_ensilaje_s_articulos_1716_AGR.htm.
- Bolsen, K. 1999. Silage management in North America in the 1990s. p. 233-244, in: T.P. Lyons and K.A. Jacques (eds) Biotechnology in the Feed Industry. Proc. of the 15th. Annual Symposium. Nottingham, UK: Nottingham Univ. Press. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/x8486s/x8486s0b.htm>
- Camargo, R; Vaz, A; Susin,I; Nussio, L; Quirino, C; Gastaldello, A. 2009. Cana-de-açúcar ensilada com ou sem aditivos químicos: fermentação e composição química. Revista Brasileira de Zootecnia. Volumen 38 no.10. Consultado 29 mar 2010. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v38n8/04.pdf>.
- Castro, C; Carneiro, H; Castro, R; Pereira, H; Freitas, R. 2006. Chemical and microbiological evaluation of ensiled sugar cane with different additives. Brazilian Journal of Microbiology. Vol. 38 no.4. Consultado 14 Jun 2011. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bjm/v37n4/v37n4a18.pdf>
- Combellas, J.1998. Alimentación de la vaca Doble propósito y sus crías. Venezuela. Edit. Fundación Inlaca. 196 p.

Da Silva, C; Cardoso, J; Sueli, M; Símile, M; Freitas, R. 2008. Qualidade da silagem de cana-de-açúcar inoculada com uma cepa de *Lactobacillus buchneri*. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. Maringá, Vol. 30. N° 3.

Fernández, A. 1999. Aditivos para los silajes. Silaje de planta entera, Cap. II. 12-13.EEA INTA Bordenave. Consultado 30 agos 2011. Disponible en: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/22-aditivos_para_los_silajes.htm

Galina, A; Ortiz, M; Mondragon, F; Delgado, M; Elias, A. 2008. Efecto de un ensilado de maíz sólo o inoculado con un probiótico láctico y adicionado con un suplemento nitrogenado de lento consumo en ovinos. Avances en Investigación Agropecuaria. Universidad de Colima. Vol. 12. N° 2. Consultado 25 mayo 2010. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=83712203&iCveNum=10493>

Galina, A; Ortiz, M; Mondragon, F; Delgado, M; Elias, A .2009. Rendimiento de terneros alimentados con silo de maíz o láctico con un promotor de la fermentación ruminal. Archivos de zootecnia vol. 58, núm. 223. Consultado 25 mayo 2010. Disponible en: http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/12_12_43_07EngordaGalina.pdf

Hazard, S; Rojas, C; Hewstone, C. 2004. Comparación entre grano de maíz y trigo brotado en raciones de vacas lecheras paridas en otoño y que consumen ensilaje de maíz. Agricultura Técnica, Vol. 64, No. 1,25-33. Consultado 26 mayo 2010. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072004000100003&script=sci_arttext

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2010. Tecnologías Llave en Mano, División Pecuaria. Unión ganadera regional de Jalisco. Consultado 26 mar 2010. Disponible en http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=589.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2009. Caña de azúcar. Proyecto lechero, Centro Regional INTA Santa Fe. Consultado 6 abr 2010. Disponible en: http://www.produccionbovina.com/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/128-cana_azucar.pdf.

Lara, P.1977. Diferentes niveles de melaza y urea en el ensilaje de Caña de Azúcar(*Saccharum officinarum*, L). Tesis sometida a la consideracion de la comision de estudios de posgrado del programa conjunto UCR – CATIE para optar al grado Magister Scientiae. Turrialba, Costa Rica. Consultado 10 Jun 2011. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2542E/A2542E.PDF>

Lavezzo, W.1993. Ensilagem do capim elefante. In: A.M Peixoto et al. (eds) Anais do 10º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. FEALQ, Piracicaba, Brasil. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/x8486s/x8486s0b.htm>

Leite, D. 2006. Perdas de materia seca em silagem de caña de azúcar tratada com aditivos químicos e microbiológicos. Programa de Pos-graduacao. Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, Brasil.

Lobo, M y Díaz, O. 2001. Agrostología. 1ª Edición. San José, Costa Rica. EUNED. 176 p.

- Lopes, J; Evangelista, A; Porto, G. 2007. Valor nutricional da silagem de cana de açúcar acrescida de uréia e aditivos absorventes de umidade. Revista Brasileira de Zootecnia. Vol. 36. N° 4.
- Martínez, A; Megias, M; Hernández M. 1998. Parámetros de contaminación en efluentes de ensilados. Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Campus de Espinardo. 30071. Murcia. Producción Ovina y Caprina. Consultado 25 mayo 2010. Disponible en: <http://www.exopol.com/seoc/docs/j534zdzu.pdf>
- Mier, M. 2009. Caracterización del valor nutritivo y Estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz Forrajero. Trabajo de fin de master. Universidad de Córdoba, Departamento de producción animal. Córdoba, España. Consultado 25 Mayo 2011. Disponible en: http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/22_11_37_maritza.pdf
- Montañez, O. 2007. Efecto del ensilado de caña de azúcar sobre la digestibilidad in vitro de los nutrientes y variables ruminales en vacas Holstein. Jalisco, México. Consultado 27 mar 2010. Disponible en <http://coplade.jalisco.gob.mx/files/talleres/UdeG/CUCSUR/Estudios%20y%20Proyectos/EFEECTO%20DEL%20ENLISADO%20DE%20CA%C3%91A%20DE%20AZUCAR.PDF>.
- Mora, G. 2006. Evaluación a nivel de microsilos del comportamiento de parámetros asociados a la calidad del proceso fermentativo y el valor nutricional de ensilaje de maíz-soya y sorgo-soya con y sin uso de aditivos. Tesis Lic. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede San Carlos. 55 p.
- Moore, I. 1968. Ensilado y Henificación. Trad. A, Marcos. Zaragoza, España. Edit. Acribia. 114 p.

- Mühlbach, P. 2001. Estudio 9.0 - Uso de aditivos para mejorar el ensilaje de los forrajes tropicales. Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Federal de Rio Grande del Sur. Porto Alegre, Brasil. Consultado 17 abr 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/X8486S/x8486s0b.htm>
- Peñagaricano, J; Arias, W; Llanea, N. 1977. Ensilaje. Manejo y Utilización de las reservas forrajeras. 1ª edición. Montevideo, Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 344 p.
- Pichard, G; Cussen, R. 1995. Evaluación de las pérdidas en el proceso de ensilaje y manejo de efluentes. Departamento de Zootecnia - Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Preston, T. 1989. La caña de azúcar como base de la producción pecuaria en el trópico. Sistemas de alimentación animal en el trópico basados en la caña de azúcar. Grupo de países Latinoamericanos y del Caribe (GEPLACEA). 1a Edición. D.F, México.
- Ramírez, E. 1999. Aditivos en la confección de silaje. Producción Animal. Universidad Nacional de Rio Cuarto. Cordoba, Argentina. Consultado 15 abr 2010. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/21-aditivos_en_la_confeccion_del_silaje.htm.
- Rezende, G. 2005. CANA-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) Ensilada com aditivos químicos e bacterianos. Universidade estadual Paulista “Júlio de mesquita filho” faculdade de ciências agrárias e veterinárias câmpus de jaboticabal. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia. JABOTICABAL – SÃO PAULO, BRASIL.

- Saborío, M. 2008. Ensilajes en la alimentación de rumiantes. Universidad de Costa Rica facultad de ciencias alimentarias. Consultado 29 mar 2010. Disponible en <http://www.ecag.ac.cr/revista/ecag46/nota16.html>
- Silveira, E; Franco, R. 2006. Conservación de forrajes: segunda parte. Revista Electrónica Veterinaria. Vol.2. Nº 11. Consultado 25 mayo 2010. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111106.html>
- Singh, A; Edward, J; Mor, S; Singh, K. 1996. Effect of inoculation of lactic acid and additives on ensiling M.P chari (Sorgum bicolor). Ind. J. An. Sc. 66(11): 1169-1165.
- 't Mannelje, L. 2001. Estudio 1.0. Introducción a la conferencia sobre el uso del ensilaje en el trópico. Department of Plant Sciences, Wageningen University. Consultado 28 mar 2010. Disponible en <http://www.fao.org/DOCREP/005/X8486S/x8486s03.htm>
- Torres, J. 2006. Uso de caña de azúcar como parte de la ración para engorde de ganado bovino, estabulado y semiestabulado. Presentado en: Congreso de la Asociación del Técnicos Azucareros de Costa Rica. Consultado 1 abr. 2010. Disponible en http://www.corfoga.org/images/public/documentos/pdf/uso_de_cana_de_azucar_para_engorde_de_ganado.pdf.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B; Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Cornell University. Department of Animal Science and Division of Nutritional Sciences. Journal of Dairy Science. Vol.74. Nº 10. Consultado 29 agosto 2011. Disponible en: <http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/098487/2008/Van%20Soest,%201991.pdf>

Vilela, D. 1984. Aditivos na ensilagem. Coronel Pacheco, MG: EMBRAPA-CNPGL, Circular Técnica 21, 32p. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/FAO/005/x8486s/x8486s09.pdf>

Watson, S; Smith, A. 1984. El Ensilaje. Trad. R. Vera; Q. Zapata. 2a Edición. D.F, Mexico. Editorial Continental S.A.

Zanotelli, F.O., & Mühlbach, P.R.F. 1989. Efeitos de diferentes tratamentos nas características fermentativas de silagens da mistura de capim-elefante e parte aérea da mandioca. Rev. Soc. Bras. Zoot., 18(6): 491-499. Disponible en: www.fao.org/docrep/005/x8486s/x8486s0b.htm.

8. ANEXOS

Cuadro A1. Variable efluentes

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	5	12	2.98	0.0565

Least Squares Means

Effect	TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	177.00	25.0858	12	7.06	<.0001
TRT	T_2	171.33	25.0858	12	6.83	<.0001
TRT	T_3	167.67	25.0858	12	6.68	<.0001
TRT	T_4	205.00	25.0858	12	8.17	<.0001
TRT	T_5	202.33	25.0858	12	8.07	<.0001
TRT	T_6	283.33	25.0858	12	11.29	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	T_2	5.6667	35.4766	12	0.16	0.8758
TRT	T_1	T_3	9.3333	35.4766	12	0.26	0.7969
TRT	T_1	T_4	-28.0000	35.4766	12	-0.79	0.4453
TRT	T_1	T_5	-25.3333	35.4766	12	-0.71	0.4888
TRT	T_1	T_6	-106.33	35.4766	12	-3.00	0.0111
TRT	T_2	T_3	3.6667	35.4766	12	0.10	0.9194
TRT	T_2	T_4	-33.6667	35.4766	12	-0.95	0.3614
TRT	T_2	T_5	-31.0000	35.4766	12	-0.87	0.3994
TRT	T_2	T_6	-112.00	35.4766	12	-3.16	0.0083
TRT	T_3	T_4	-37.3333	35.4766	12	-1.05	0.3134
TRT	T_3	T_5	-34.6667	35.4766	12	-0.98	0.3478
TRT	T_3	T_6	-115.67	35.4766	12	-3.26	0.0068
TRT	T_4	T_5	2.6667	35.4766	12	0.08	0.9413
TRT	T_4	T_6	-78.3333	35.4766	12	-2.21	0.0474

Cuadro A2. Variable pH

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	5	12	18.98	<.0001

Least Squares Means

Effect	TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	3.5567	0.05964	12	59.63	<.0001
TRT	T_2	4.1933	0.05964	12	70.31	<.0001
TRT	T_3	3.5933	0.05964	12	60.25	<.0001
TRT	T_4	3.4600	0.05964	12	58.01	<.0001
TRT	T_5	3.6567	0.05964	12	61.31	<.0001
TRT	T_6	3.6300	0.05964	12	60.86	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	T_2	-0.6367	0.08435	12	-7.55	<.0001
TRT	T_1	T_3	-0.03667	0.08435	12	-0.43	0.6715
TRT	T_1	T_4	0.09667	0.08435	12	1.15	0.2741
TRT	T_1	T_5	-0.1000	0.08435	12	-1.19	0.2587
TRT	T_1	T_6	-0.07333	0.08435	12	-0.87	0.4017
TRT	T_2	T_3	0.6000	0.08435	12	7.11	<.0001
TRT	T_2	T_4	0.7333	0.08435	12	8.69	<.0001
TRT	T_2	T_5	0.5367	0.08435	12	6.36	<.0001
TRT	T_2	T_6	0.5633	0.08435	12	6.68	<.0001
TRT	T_3	T_4	0.1333	0.08435	12	1.58	0.1399
TRT	T_3	T_5	-0.06333	0.08435	12	-0.75	0.4672
TRT	T_3	T_6	-0.03667	0.08435	12	-0.43	0.6715
TRT	T_4	T_5	-0.1967	0.08435	12	-2.33	0.0380
TRT	T_4	T_6	-0.1700	0.08435	12	-2.02	0.0668
TRT	T_5	T_6	0.02667	0.08435	12	0.32	0.7573

Cuadro A3. Variable MS

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num	Den	F Value	Pr > F
	DF	DF		
TRT	5	12	2.72	0.0723

Least Squares Means

Effect	TRT	Standard		DF	t Value	Pr > t
		Estimate	Error			
TRT	T_1	22.5533	0.4547	12	49.60	<.0001
TRT	T_2	22.5733	0.4547	12	49.65	<.0001
TRT	T_3	22.0233	0.4547	12	48.44	<.0001
TRT	T_4	20.9833	0.4547	12	46.15	<.0001
TRT	T_5	21.0900	0.4547	12	46.38	<.0001
TRT	T_6	22.5667	0.4547	12	49.63	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Standard		DF	t Value	Pr > t
			Estimate	Error			
TRT	T_1	T_2	-0.02000	0.6430	12	-0.03	0.9757
TRT	T_1	T_3	0.5300	0.6430	12	0.82	0.4259
TRT	T_1	T_4	1.5700	0.6430	12	2.44	0.0311
TRT	T_1	T_5	1.4633	0.6430	12	2.28	0.0420
TRT	T_1	T_6	-0.01333	0.6430	12	-0.02	0.9838
TRT	T_2	T_3	0.5500	0.6430	12	0.86	0.4091
TRT	T_2	T_4	1.5900	0.6430	12	2.47	0.0293
TRT	T_2	T_5	1.4833	0.6430	12	2.31	0.0397
TRT	T_2	T_6	0.006667	0.6430	12	0.01	0.9919
TRT	T_3	T_4	1.0400	0.6430	12	1.62	0.1318
TRT	T_3	T_5	0.9333	0.6430	12	1.45	0.1723
TRT	T_3	T_6	-0.5433	0.6430	12	-0.84	0.4147
TRT	T_4	T_5	-0.1067	0.6430	12	-0.17	0.8710
TRT	T_4	T_6	-1.5833	0.6430	12	-2.46	0.0299
TRT	T_5	T_6	-1.4767	0.6430	12	-2.30	0.0405

Cuadro A4. Variable FAD

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	5	12	43.10	<.0001

Least Squares Means

Effect	TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	35.6867	0.3817	12	93.51	<.0001
TRT	T_2	34.1867	0.3817	12	89.58	<.0001
TRT	T_3	36.9167	0.3817	12	96.73	<.0001
TRT	T_4	40.6433	0.3817	12	106.49	<.0001
TRT	T_5	33.6800	0.3817	12	88.25	<.0001
TRT	T_6	36.9733	0.3817	12	96.88	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	T_2	1.5000	0.5397	12	2.78	0.0167
TRT	T_1	T_3	-1.2300	0.5397	12	-2.28	0.0418
TRT	T_1	T_4	-4.9567	0.5397	12	-9.18	<.0001
TRT	T_1	T_5	2.0067	0.5397	12	3.72	0.0029
TRT	T_1	T_6	-1.2867	0.5397	12	-2.38	0.0345
TRT	T_2	T_3	-2.7300	0.5397	12	-5.06	0.0003
TRT	T_2	T_4	-6.4567	0.5397	12	-11.96	<.0001
TRT	T_2	T_5	0.5067	0.5397	12	0.94	0.3664
TRT	T_2	T_6	-2.7867	0.5397	12	-5.16	0.0002
TRT	T_3	T_4	-3.7267	0.5397	12	-6.90	<.0001
TRT	T_3	T_5	3.2367	0.5397	12	6.00	<.0001
TRT	T_3	T_6	-0.05667	0.5397	12	-0.10	0.9181
TRT	T_4	T_5	6.9633	0.5397	12	12.90	<.0001
TRT	T_4	T_6	3.6700	0.5397	12	6.80	<.0001
TRT	T_5	T_6	-3.2933	0.5397	12	-6.10	<.0001

Cuadro A5. Variable FND

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	5	12	29.45	<.0001

Least Squares Means

Effect	TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	59.8133	0.6281	12	95.23	<.0001
TRT	T_2	56.5500	0.6281	12	90.03	<.0001
TRT	T_3	61.7233	0.6281	12	98.27	<.0001
TRT	T_4	66.3367	0.6281	12	105.62	<.0001
TRT	T_5	57.9633	0.6281	12	92.28	<.0001
TRT	T_6	60.3100	0.6281	12	96.02	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	T_2	3.2633	0.8883	12	3.67	0.0032
TRT	T_1	T_3	-1.9100	0.8883	12	-2.15	0.0526
TRT	T_1	T_4	-6.5233	0.8883	12	-7.34	<.0001
TRT	T_1	T_5	1.8500	0.8883	12	2.08	0.0593
TRT	T_1	T_6	-0.4967	0.8883	12	-0.56	0.5863
TRT	T_2	T_3	-5.1733	0.8883	12	-5.82	<.0001
TRT	T_2	T_4	-9.7867	0.8883	12	-11.02	<.0001
TRT	T_2	T_5	-1.4133	0.8883	12	-1.59	0.1376
TRT	T_2	T_6	-3.7600	0.8883	12	-4.23	0.0012
TRT	T_3	T_4	-4.6133	0.8883	12	-5.19	0.0002
TRT	T_3	T_5	3.7600	0.8883	12	4.23	0.0012
TRT	T_3	T_6	1.4133	0.8883	12	1.59	0.1376
TRT	T_4	T_5	8.3733	0.8883	12	9.43	<.0001
TRT	T_4	T_6	6.0267	0.8883	12	6.78	<.0001
TRT	T_5	T_6	-2.3467	0.8883	12	-2.64	0.0215

Cuadro A6. Variable PC

Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
TRT	5	12	365.34	<.0001

Least Squares Means

Effect	TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	5.0433	0.6359	12	7.93	<.0001
TRT	T_2	33.5267	0.6359	12	52.72	<.0001
TRT	T_3	17.4967	0.6359	12	27.52	<.0001
TRT	T_4	5.7433	0.6359	12	9.03	<.0001
TRT	T_5	31.4633	0.6359	12	49.48	<.0001
TRT	T_6	18.3400	0.6359	12	28.84	<.0001

Differences of Least Squares Means

Effect	TRT	_TRT	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
TRT	T_1	T_2	-28.4833	0.8993	12	-31.67	<.0001
TRT	T_1	T_3	-12.4533	0.8993	12	-13.85	<.0001
TRT	T_1	T_4	-0.7000	0.8993	12	-0.78	0.4514
TRT	T_1	T_5	-26.4200	0.8993	12	-29.38	<.0001
TRT	T_1	T_6	-13.2967	0.8993	12	-14.79	<.0001
TRT	T_2	T_3	16.0300	0.8993	12	17.83	<.0001
TRT	T_2	T_4	27.7833	0.8993	12	30.90	<.0001
TRT	T_2	T_5	2.0633	0.8993	12	2.29	0.0406
TRT	T_2	T_6	15.1867	0.8993	12	16.89	<.0001
TRT	T_3	T_4	11.7533	0.8993	12	13.07	<.0001
TRT	T_3	T_5	-13.9667	0.8993	12	-15.53	<.0001
TRT	T_3	T_6	-0.8433	0.8993	12	-0.94	0.3668
TRT	T_4	T_5	-25.7200	0.8993	12	-28.60	<.0001
TRT	T_4	T_6	-12.5967	0.8993	12	-14.01	<.0001
TRT	T_5	T_6	13.1233	0.8993	12	14.59	<.0001

Cuadro A7. Datos para análisis estadísticos

TRT	REP	pH	MS	EFLU	FAD	FND	PC
T_1	1	3.55	21.36	185	35.40	59.76	5.43
T_1	2	3.57	24.24	218	36.44	61.43	4.55
T_1	3	3.55	22.06	128	35.22	58.25	5.15
T_2	1	4.47	22.31	218	34.30	56.70	33.81
T_2	2	4.05	23.15	186	33.94	56.54	33.42
T_2	3	4.06	22.26	110	34.32	56.41	33.35
T_3	1	3.6	22.08	167	36.51	61.68	17.26
T_3	2	3.59	22.30	97	36.68	61.00	17.99
T_3	3	3.59	21.69	239	37.56	62.49	7.24
T_4	1	3.42	20.81	210	40.27	66.27	5.93
T_4	2	3.46	20.26	205	40.76	65.60	5.72
T_4	3	3.5	21.88	200	40.90	67.14	5.58
T_5	1	3.63	20.91	215	34.45	59.91	28.62
T_5	2	3.65	21.52	168	32.78	57.19	32.03
T_5	3	3.69	20.84	24	33.81	56.79	33.74
T_6	1	3.7	21.97	267	35.88	60.96	18.36
T_6	2	3.61	23.05	289	37.19	60.43	18.25
T_6	3	3.58	22.68	294	37.85	59.54	18.41

```

OPTIONS PS=80 LS=136 NODATE;
TITLE 'ENSILAJE DE CANA_TESIS STEVEN';
PROC MIXED;
CLASS TRT REP;
MODEL pH = TRT/DDFM=KR;
LSMEANS TRT/PDIFF;
RUN;
PROC MIXED;
CLASS TRT REP;
MODEL MS = TRT/DDFM=KR;
LSMEANS TRT/PDIFF;
RUN;
PROC MIXED;
CLASS TRT REP;
MODEL FAD = TRT/DDFM=KR;
LSMEANS TRT/PDIFF;
RUN;
PROC MIXED;
CLASS TRT REP;
MODEL FND = TRT/DDFM=KR;
LSMEANS TRT/PDIFF;
RUN;
PROC MIXED;
CLASS TRT REP;
MODEL PC = TRT/DDFM=KR;
LSMEANS TRT/PDIFF;
RUN;
PROC MIXED;
CLASS TRT REP;
MODEL EFLUENT = TRT/DDFM=KR;
LSMEANS TRT/PDIFF;
RUN;

```