



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**EFFECTO DEL HIDROXIDO DE CALCIO EN EL MEJORAMIENTO DEL
VALOR NUTRITIVO DE ALIMENTOS A BASE DE RESIDUOS DE LA
COSECHA MECANIZADA DE LA CAÑA DE AZUCAR**

CRYSTHIAN DE JESUS LAZARO QUE

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO

2012

La presente tesis, titulada: **efecto del hidróxido de calcio en el mejoramiento del valor nutritivo de alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar**, realizada por el alumno: **Crysthian de Jesus Lázaro Que**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TROPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



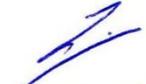
DR. JESUS ALBERTO RAMOS JUAREZ

ASESOR:



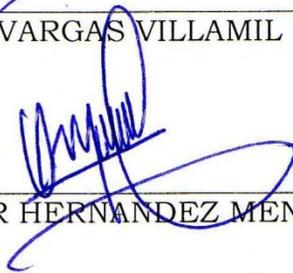
DR. EMILIO MANUEL ARANDA IBAÑEZ

ASESOR:



DR. LUIS VARGAS VILLAMIL

ASESOR:



DR. OMAR HERNANDEZ MENDO

H. Cárdenas, Tabasco, México, 29 de Junio de 2012

EFFECTO DEL HIDROXIDO DE CALCIO EN EL MEJORAMIENTO DEL VALOR NUTRITIVO DE ALIMENTOS A BASE RESIDUOS DE LA COSECHA MECANIZADA DE LA CAÑA DE AZUCAR

Crysthian de Jesús Lázaro Que, MC.

Colegio de Postgraduados, 2012

Con el objetivo de mejorar el valor nutritivo de alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar se estudió cuatro niveles de hidróxido de calcio (0, 3, 6 y 9%) y cuatro días de conservación (0, 20, 40 y 60 días) en un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Se encontró interacción en todas las variables estudiadas. El pH fue mayor a medida que se incrementó los niveles de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), independiente de los días de conservación. La materia seca (MS) disminuyó conforme transcurrieron los días de conservación, independientemente de los niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El contenido de FDN y FDA disminuyeron con la adición de los niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y los días de conservación estudiados. La degradación *in situ* de la materia seca (DIMS) fue mayor con la adición del 9% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los 40 días de conservación en los horarios de incubación ruminal: 3:15, 7:15, 12:30 y 19:45 h y en los horarios 31:45 y 78:45 h fue mayor a partir del día 20. La degradación *in situ* de la fibra detergente neutro (DIFDN), la degradación *in situ* de la fibra detergente acida (DIFDA), la fracción soluble y la tasa de degradación fue mayor con la adición del 9% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los 40 días de conservación. Se concluye que los niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ incrementan el pH independientemente de los días de conservación, y que el pH disminuye conforme transcurren los días de conservación, además, la adición de 9% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los 40 días de conservación disminuyen la concentración de FDN, FDA e incrementa la DIMS, la tasa de pasaje, así, como la DIFDN y DIFDA.

Palabras claves: hidróxido de calcio; residuos mecanizados de caña de azúcar; incubación ruminal

EFFECT OF THE CALCIUM HYDROXIDE IN IMPROVING THE
NUTRITIONAL VALUE OF FOOD-BASED WASTE OF MECHANICAL
HARVESTING SUGAR CANE.

Crysthian de Jesús Lázaro Que, MC.

Colegio de Postgraduados, 2012

In order to improve the nutritional value of food waste based on mechanical harvesting of sugarcane was studied four levels of calcium hydroxide (0, 3, 6 and 9%) and four days of storage (0, 20, 40 and 60 days) in a completely randomized design with factorial arrangement. Interaction was found for all variables studied. The pH was higher as increased levels of calcium hydroxide Ca(OH)_2 , independent of retention days. Dry matter (DM) decreased as retention days elapsed, regardless of the levels of Ca(OH)_2 . The contents of NDF and ADF decreased with the addition of the levels of Ca(OH)_2 and retention days studied. The *in situ* degradation of dry matter (DIMS) was higher with the addition of 9% Ca(OH)_2 at 40 days of storage in ruminal incubation times: 3:15, 7:15, 12:30 and 19:45 h and 31:45 hours and 78:45 h was higher from day 20. The *in situ* degradation of neutral detergent fiber (DIFDN), the *in situ* degradation of acid detergent fiber (DIFDA), the soluble fraction and the degradation rate was higher with the addition of 9% Ca(OH)_2 to 40 days of storage. It is concluded that the levels of Ca(OH)_2 independently increase the pH of the days of storage, and that the pH decreases as retention days elapse further addition of 9% Ca(OH)_2 to 40 days conservation decreases the concentration of NDF, ADF and increases the DIMS, the rate of passage, as well as the DIFDN and DIFDA.

Keywords: Calcium hydroxide; mechanized waste sugarcane, ruminal incubation

*A Dios todopoderoso, que ilumino mi camino y me otorgo
las fuerzas necesarias para terminar este proyecto.*

*“Me castigo, me castigo el señor
pero no me entrego a la muerte”*

*A mi esposa e hija: Por su amor, comprensión y apoyo
incondicional.*

A mis padres: Por su paciencia, amor y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

A los millones de ciudadanos Mexicanos (as) que pagan impuestos, quienes a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados (CP), han financiado parte de mi formación.

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por la formación académica recibida.

Al Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No. 167304 para el Establecimiento y Operación de los Fondos para la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Centro Público Colegio de Postgraduados, y la Línea Prioritaria de Investigación (LIP 2) Agroecosistemas Sustentables Sublínea MASCAÑA; por el apoyo financiero otorgado en la presente investigación.

Al Dr. Jesús Alberto Ramos Juárez por la asesoría, revisión y atinados comentarios para la realización de esta tesis.

Al Dr. Emilio Manuel Aranda Ibáñez por la conducción del presente trabajo, por sus consejos, revisión y observaciones a la presente tesis.

Al Dr. Luis Manuel Vargas Villamil por sus observaciones y comentarios.

Al Dr. Omar Hernández Mendo por sus comentarios, observaciones y sugerencias.

Al Técnico del laboratorio de Ciencia Animal José Luis Jiménez de Dios por su apoyo incondicional; pero sobre todo por su amistad.

Y a todas las personas que de una u otra manera, contribuyeron a la realización y culminación de este proyecto.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
2.3 Hipótesis	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 La ganadería bovina en México	4
3.2 La ganadería bovina en el estado de Tabasco	6
3.3 Importancia de la caña de azúcar en México.....	7
3.4 Generalidades de la caña de azúcar	8
3.5 La caña de azúcar en la alimentación de rumiantes.....	9
3.6 Generalidades de la pared celular (fibra).....	10
3.7 Estructura de la pared celular	11
3.7.1 Estructura de los polisacáridos de la pared celular	12
3.7.2 Polisacáridos Pécticos	12
3.7.3 Hemicelulosas	13
3.7.4 Celulosa	13
3.8 El polímero lignina	14
3.9 Limitaciones de la digestión ruminal de la pared celular	16
3.10 Celulolisis ruminal de la fibra.....	17
3.11 Generalidades de los residuos agrícolas	18
3.12 Características de los residuos de cosecha de la caña de azúcar	19
3.13 Tratamientos para el mejoramiento nutricional de los residuos fibrosos.....	20
3.14 Efecto de los tratamientos químicos en el valor nutritivo de los residuos fibrosos	21
3.15 El proceso de la fermentación en estado sólido (ensilaje)	24
3.16 Condiciones ideales de un buen ensilaje.....	25
3.17 Las bacterias lácticas como fermentadoras de azúcares.....	26
3.18 El Vitafert.....	27
IV. MATERIALES Y METODOS	29
4.1 Localización geográfica del área de estudio	29
4.2 Material experimental.....	30

4.3 Ingredientes utilizados en la elaboración de alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.....	30
4.4 Tratamientos y diseño experimental	31
4.5 Elaboración de los microsilos según los tratamientos estudiados	32
4.6 Recolección y procesamiento de las muestras	33
4.7 Determinación de parámetros fermentativos	33
4.7.1 pH	33
4.7.2 Nitrógeno amoniacal (N-NH ₃)	33
4.7.3 Ácido láctico	34
4.8 Determinación de parámetros bromatológicos.....	34
4.8.1 Materia seca (MS)	34
4.8.2 Proteína cruda (PC) y cenizas	34
4.8.3 Materia orgánica (MO).....	34
4.8.4 Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)	34
4.8.5 Contenido celular (CC)	35
4.8.6 Hemicelulosa	35
4.9 Degradación <i>in situ</i> de la materia seca (DIMS).....	35
4.10 Degradación <i>in situ</i> de la fibra detergente neutro (DIFDN).....	36
4.11 Degradación <i>in situ</i> de fibra detergente ácida (DIFDA)	37
4.12 Degradación <i>in situ</i> de la materia orgánica (DIMO).....	38
4.13 Energía metabolizable (EM).....	38
4.14 Tasa de digestión.....	39
4.15 Ajuste de los datos en base seca	39
V. RESULTADOS	40
5.1 Parámetros fermentativos	40
5.2 Parámetros químicos	42
VI. DISCUSION	58
VII. CONCLUSIONES	63
VIII. RECOMENDACIÓN	63
IX. BIBLIOGRAFÍA	64
X. ANEXO	71

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades de fibra y sus componentes (%) de tres variedades de caña de azúcar de 12 meses de edad.....	8
Cuadro 2. Digestibilidad <i>in situ</i> (%) de caña de azúcar en tres variedades	9
Cuadro 3. Indicador de un buen ensilaje según el método Wieringa.....	26
Cuadro 4. Ingredientes del Vitafert (%).....	27
Cuadro 5. Valor de pH y crecimiento de lactobacilos y levaduras (Log ufc/ml) en el Vitafert.....	28
Cuadro 6. Porcentaje base húmeda de los ingredientes utilizados para hacer los alimentos a base de RCMCA	30
Cuadro 7. Distribución de los tratamientos en los factores estudiados.....	31
Cuadro 8. Kilogramos de ingredientes base húmeda utilizado para hacer los microsilos, según tratamientos	32
Cuadro 9. Degradación <i>in situ</i> de la MS (%) de los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar tratados con Ca(OH) ₂	52
Cuadro 10. Efecto de los niveles de Ca(OH) ₂ y días de conservación sobre la fracción soluble e insoluble potencialmente degradable y tasas de degradación de los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lignina/fenólicos-carbohidratos complejos en paja de trigo	15
Figura 2. Macro y micro localización del área de estudio	29
Figura 3. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el valor de pH.....	41
Figura 4. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de ácido láctico	41
Figura 5. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de N-NH_3	42
Figura 6. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de MS	43
Figura 7. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de PC	44
Figura 8. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de cenizas	46
Figura 9. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de MO	46
Figura 10. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de FDN	47
Figura 11. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido CC	48
Figura 12 Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de CC.....	48
Figura 13. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de FDA.....	50
Figura 14. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en contenido de hemicelulosa	50

Figura 15. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIMS.....	53
Figura 16. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIFDN.....	55
Figura 17. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIFDA.....	56
Figura 18. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIMO	57
Figura 19. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en valor de EM.....	57

LISTA DE ANEXO

Cuadro A- 1. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el pH, contenido de ácido láctico y N-NH_3	71
Cuadro A- 2. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada en el contenido de MS y PC	72
Cuadro A- 3. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el contenido de cenizas y MO ..	73
Cuadro A- 4. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el contenido de FDN y CC.....	74
Cuadro A- 5. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el contenido de FDA y hemicelulosa.....	75
Cuadro A- 6. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIFDN y DIFDA a las 31:45 h de incubación ruminal	76
Cuadro A- 7. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIMO y EM a las 31:45 h de incubación ruminal.....	77

ABREVIATURAS USADAS

AGV	Ácidos Grasos Volátiles	MO	Materia orgánica
°C	Grados Celsius	MS	Materia seca
Ca(OH) ₂	Hidróxido de calcio	msnm	Metros sobre el nivel del mar
CC	Contenido celular	N	Normalidad
DIMS	Degradación de la materia seca	NaOH	Hidróxido de sodio
DIFDA	Degradación de la fibra detergente neutro	N-NH ₃	Nitrógeno amoniacal
DIFDN	Degradación de la fibra detergente acida		
DIMO	Degradación de la materia orgánica	nm	Nanómetros
EM	Energía metabolizable	PC	Proteína cruda
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	pH	Potencial de hidrogeno
FB	Fibra bruta	RCMCA	Residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar
FDA	Fibra detergente acida		
FDN	Fibra detergente neutro	SM	Sal mineral
g	Gramos	t	Toneladas
h	Horas		
ha	Hectáreas		
Hemi.	Hemicelulosa		
kg	Kilogramos		
Mcal	Megacaloria		
ml	Mililitros		
mm	Milímetros		

I. INTRODUCCIÓN

En los países tropicales la base fundamental de alimentación para los bovinos en pastoreo son los pastos; sin embargo, se reconoce que presentan variaciones temporales en producción y calidad, las que pueden ser entre épocas o años, asociadas a las condiciones edáficas, climáticas y al manejo. Debido a esta situación se reducen los niveles de producción de carne y leche (Gómez *et al.*, 2002). Por lo anterior, es necesario buscar alternativas de alimentación viables y económicamente factibles.

En este sentido la producción de caña de azúcar, genera una gran cantidad de residuos fibrosos en la cosecha (hojas, vainas, cogollos etc.), y que están disponibles en el periodo de seca. Estos constituyen una fuente potencial de alimentos para los rumiantes en gran número de países tropicales y subtropicales (Martin, 2004), ya que su compartimento retículo-rumen proporciona un ambiente óptimo para los microorganismos que digieren los polisacáridos de la pared celular. Sin embargo, la presencia del polímero de lignina en las paredes celulares inhibe la degradación efectiva de los polisacáridos presentes en ella (Sun *et al.*, 2006).

Actualmente en el Ingenio P. Benito Juárez del municipio de Cárdenas, Tabasco, se ha venido impulsando la cosecha mecanizada como alternativa a la falta de cortadores y a los problemas ambientales relacionados con la quema de la caña. Según Salgado *et al.* (2011), la cosecha mecanizada se realizó en 2500 ha aproximadamente y quedó alrededor de 18 t/ha de residuos (hojas secas, verdes, tallos etc.), dependiendo de la variedad. Sin embargo, este material al secarse sobre el terreno, es quemado deliberadamente por los productores, lo que incorpora partículas contaminantes a la atmósfera, reduciendo la capacidad respiratoria de la población y elevando el riesgo de alergias (Calderón, 2002).

Por otra parte, según Martin (2004), los residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar, se caracterizan por su alto contenido de fibra y lignina, bajo contenido de nitrógeno, minerales, vitaminas y presentar baja densidad, lo cual representa una problemática en la alimentación de los rumiantes, que se ve reflejada principalmente, en una baja productividad. Lo anterior indica que para utilizar los residuos de cosecha mecanizada en forma eficiente en la producción animal, es necesario el mejoramiento nutricional de los mismos.

En este sentido, se han estudiado numerosos métodos de tratar las pajas y/o subproductos fibrosos, con el propósito fundamental de mejorar su valor nutritivo e incrementar su digestibilidad y consumo voluntario. Uno de los agentes químicos utilizados en la década de los 70's fue el: hidróxido de sodio (sosa cáustica), que es un álcali fuerte. Esta sustancia es difícil y peligrosa de usar, se debe tener sumo cuidado para evitar su contacto con los ojos y la piel de las personas que lo manipulen. Además, produce un alimento alto en sodio (a veces alcanza niveles tóxicos) el cual aumenta considerablemente el consumo de agua y la producción de orina de los animales (Conrad y Pastrana, 1990). Otros agentes que se han utilizado son: amoníaco anhidro, peróxido de hidrógeno y óxido de calcio (Chaudhry, 1998) e incluso, niveles bajos de irradiación gamma (Al-Masri, 2005). Ninguno de estos tratamientos están en uso regular, principalmente, por razones económicas (Jung *et al.*, 2012). Por ello, una alternativa viable, es el uso del hidróxido de calcio el cual es de menor costo, fácil obtención y manipulación.

II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1 Objetivo general

Mejorar el valor nutritivo de alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar con la adición de hidróxido de calcio.

2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto del hidróxido de calcio sobre la degradación *in situ* de la materia seca y fracciones de la fibra en alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

2. Evaluar el efecto del hidróxido de calcio en el valor nutritivo y fermentativo en alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar a diferentes tiempos de conservación.

2.3 Hipótesis

La adición de hidróxido de calcio, aumentará la degradación de la materia seca y fracciones de la fibra, lo cual mejorará, el valor nutritivo de los alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 La ganadería bovina en México

En México, la producción de carne está constituida, principalmente, por las aves (pollos y gallinas) con 46.87%, bovinos con 30.51%, porcinos con 20.53%, ovinos con 0.96%, caprinos con 0.77% y guajolotes con 0.36% (SIAP, 2010).

Datos calculados por la FAO (2010) ubicaron a México en el sexto productor mundial de carne vacuna con 1954010 toneladas (t) y en el decimo quinto en leche fresca de vaca con 10676700 t. Sin embargo, estas cantidades no satisfacen la demanda de alimentación en el país, y en el 2009, ocupó el cuarto lugar en la importación de carne de bovino deshuesada con 220768 t. Así mismo, fue el primer importador de leche de vaca en polvo con 165067 t.

El inventario pecuario nacional en el 2010 fue de 32642134 cabezas de bovinos, de los cuales 30267511 corresponden a bovinos de carne y 2374623 a ganado lechero; 15435412 en porcinos, 8105562 en ovinos, 8993221 en caprinos, 506255626 en aves (huevo y carne) 4032101 en guajolotes y 1842130 colmenas (SIAP, 2010). De acuerdo con la misma fuente Veracruz es el principal estado productor de ganado bovino en el país con un volumen de producción de 496438 t esto representa el 14.99% de la producción nacional. Jalisco es el segundo productor con una participación del 10.80% (366893 t). Chiapas, ocupa el tercer lugar, con una producción de 210790 t lo que representa el 6.2% de la producción nacional.

Se estima que el 60% de la superficie nacional se dedica a la ganadería bovina, la cual se desarrolla en todas las regiones ecológicas del país. Los sistemas de producción se diferencian entre sí por la tecnología aplicada e integración en la cadena productiva asociadas al clima, vegetación y a la disponibilidad de recursos alimenticios, ya sean de producción nacionales o importados.

En las regiones templadas de México, la alimentación se realiza en sistemas intensivos, basada principalmente en concentrados y generalmente en condiciones de estabulación (ganado de carne) o semiestabulado (ganado lechero). Para la producción de leche predomina la raza Holstein. Por otra parte, el ganado de carne en su mayoría, es llevado del sureste del país, principalmente para abastecer el mercado local y regional.

Las zonas áridas y semiáridas del país, se caracterizan por presentar bajas precipitaciones y periodos prolongados de sequía, provocando con ello un déficit en la producción de pastos, lo que provoca una baja productividad en términos de carne y leche. Predomina el sistema de alimentación en agostaderos e incluso el uso de rastrojos o esquilmos principalmente de cereales.

Por su parte, las zonas tropicales del país se caracterizan por la utilización del sistema de producción de bovina de doble propósito (producción de carne y leche). La ordeña se realiza generalmente de forma manual y en instalaciones rústicas, según Pérez *et al.* (2003) el ganado predominante son las cruces de Cebú con las razas Suizo, Holstein y Simmental. El sistema de alimentación, en su mayoría es de forma intensiva; basada principalmente, en pastos nativos de los géneros (*Paspalum* sp y *Axonopus* sp), así, como los pastos introducidos de los géneros *Panicum*, *Cynodon*, *Digitaria*, *Pennisetum*, *Hyparrhenia*, *Cenchrus* (Gómez, 2003).

3.2 La ganadería bovina en el estado de Tabasco

Tabasco se encuentra localizado en la zona del trópico húmedo en el sureste de la República Mexicana, ubicado entre los 17° 15' y 18° 39' de latitud Norte, y los 91° 00' y 94° 17' de longitud Oeste. El estado colinda al norte con el golfo de México y Campeche; al este con Campeche y la República de Guatemala; al sur con Chiapas y al oeste con Veracruz. Predomina el clima cálido húmedo con abundantes lluvia en verano (Aw), tiene un promedio de precipitación y temperatura de 2317.5 mm y 27 °C, respectivamente (INEGI, 2010).

El inventario pecuario para el estado de Tabasco en el 2010 fue de 1485070 cabezas de bovinos (carne y leche), 274658 en porcinos, 83566 en ovinos, 3875021 en aves (huevo y carne) 317538 en guajolotes y 5741 colmenas (SIAP, 2010). De acuerdo con la misma fuente su volumen de producción de carne en canal de las principales especies en toneladas, fueron: 63350 para bovinos, 24238 para aves, 12816 para cerdos y 288 en ovinos; de igual forma se reporta 111416 lt de leche, 1334 t de huevo y 193 t de miel. Tabasco es el decimo productor de ganado bovino con un volumen de producción de 121433 t que representa el 3.63% de la producción nacional.

Tabasco al encontrarse ubicado en la zona del trópico húmedo, comparte las características de las zonas ganaderas tropicales de país, mencionadas anteriormente. Estas características del sistema y la situación climatológica influye en el rendimiento y calidad de los pastos, por lo cual la respuesta productiva de los bovinos tiene amplia variación anual y en algunas regiones donde los bovinos dependen exclusivamente de los pastos nativos o mejorados como única fuente de nutrientes, frecuentemente, son incapaces de cubrir sus necesidades alimenticias, provocando principalmente, una baja producción de carne y leche.

3.3 Importancia de la caña de azúcar en México

Aguilar *et al.* (2009) mencionan que la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), es la materia prima de la agroindustria azucarera y esta es un actividad de alto impacto social por su producción, por el empleo que crea en el campo mexicano y porque el azúcar está enraizada profundamente en la economía y la cultura del país, además de ser un producto básico en la dieta del mexicano. Esta gramínea se produce en diversos climas, suelos y condiciones culturales, genera 300 mil empleos directos y se estima que más de 3 millones de personas dependen directa o indirectamente de este sector agroindustrial.

En 2010, México ocupó el quinto lugar a nivel mundial en producción de caña de azúcar con una producción total de 50421600 t (FAO, 2010). En el país existen 57 ingenios o fábricas azucareras localizados en 15 estados cañeros donde vive el 13% de la población nacional. En el estado de Tabasco el cultivo de caña cuenta con 31340 ha sembrada, de las cuales se cosechan 27668 ha con una producción de 1664111t y un promedio de 60 t/ha (SIAP, 2010).

De acuerdo con la PRONAC (2007) los coproductos y subproductos de la agroindustria azucarera (sacarosa, melazas, bagazo, cachazas y vinazas) sirven como insumo para las industrias que fabrican refrescos y bebidas, jugos, néctares, galletas, repostería, licores, papel y cartón, tableros aglomerados, alimentos pecuarios y farmacéutica entre otros usos, contribuyendo al desarrollo industrial del país.

3.4 Generalidades de la caña de azúcar

Martin (2005) señala que la caña de azúcar, es un cultivo que se produce en más de 100 países y cuya producción de biomasa supera la de cualquier otro vegetal de los que se puede aprovechar como alimento animal. Urdaneta (2005) menciona que la caña es una planta que contiene 15% de sólidos (azúcar y fibra) y su fibra es altamente lignificada lo que disminuye su digestibilidad, presenta bajo contenido de proteína (<4%), bajo contenido de minerales y una ausencia casi total de grasa y almidones (Cuadro 1 y 2), lo que limita el aprovechamiento adecuado de esta gramínea en la alimentación de rumiantes (Aranda *et al.*, 2004). Por ello las raciones alimenticias con caña de azúcar se deben enriquecer con fuentes proteicas y minerales, para mejorar su valor nutricional y no se recomienda como única fuente de alimento.

Cuadro 1. Propiedades de fibra y sus componentes (%) de tres variedades de caña de azúcar de 12 meses de edad

Componentes	Variedades		
	Q-107	Mex 69-290	Mex 83-481
Proteína	1.94	1.93	2.53
*CC	50.03	47.98	39.61
*FND	49.98	52.02	60.40
*FAD	35.08	33.64	40.19
Celulosa	25.02	24.78	29.80
Hemicelulosa	14.89	18.38	20.21
Lignina	8.59	7.39	8.8
Sílice	1.48	1.50	1.60

Aranda *et al.*(2004)

*CC= Contenido celular; *FDN= Fibra detergente neutro; *FDA= Fibra detergente acida

Cuadro 2. Digestibilidad *in situ* (%) de caña de azúcar en tres variedades

Sustrato	Horas	Variedades		
		Q-107	Mex 69-290	Mex 83-481
Caña integral	3	47.6	46.2	36.6
	6	49.6	46.5	37.7
	9	49.5	47.3	37.9
	12	51.9	49.2	39.8
	24	55.2	54.7	45.8
	48	56.2	57.1	47.9
	72	58.9	61.9	52.5
	96	61.8	63.8	55.1

Aranda *et al.* (2004)

3.5 La caña de azúcar en la alimentación de rumiantes

Según Freitas *et al.* (2006), la caña de azúcar constituye una alternativa de alimentación para bovinos durante el periodo de seca. Sin embargo, su uso se ve limitado, principalmente, por su bajo contenido de nitrógeno, minerales y la baja digestibilidad de la fibra (Aranda *et al.*, 2004). En este sentido, Urdaneta (2005) evaluó su contenido nutricional encontrando valores promedios de 26-28% de materia seca (MS) 2-4% de proteína cruda (PC), entre 36-48% de FB y una digestibilidad de la materia seca (DIMS) de 50-60%. Este mismo autor recomienda que toda suplementación con caña debe ser suministrada con fuentes de proteínas, minerales y vitaminas, así como, con una proporción de alimento concentrado cuando se cuenta con una condición drástica de pasto, ya que esto contribuye a un mejor aprovechamiento del alimento por parte del animal.

Por su parte, Roque *et al.* (2002) reportaron ganancias de 937g animal/día de animales en crecimiento-ceba con una dieta basada en caña integral (70%)+ harina de maíz (10.25%)+ harina de soya (9.33%)+ miel con urea (10.3%). Así mismo, Martín *et al.* (2002) reportaron ganancias de 1.076 kg/animal/día basados en una dieta integral de caña entera, en la ceba de toros Cebú. La caña de azúcar mantiene su importancia como alimento para el ganado vacuno, ya que su producción de materia seca y energía metabolizable por hectárea es superior a la de cualquier otro cultivo conocido (Martín, 2005).

3.6 Generalidades de la pared celular (fibra)

Los rumiantes especialmente bovinos son de especial importancia en regiones desfavorecidas económicamente, gracias a su capacidad de transformar pastos de baja calidad, ricos en pared celular y no aprovechable por no rumiantes en nutrientes (principalmente proteína) de alta calidad. Forano y Bera, citados por Valenciaga y Chongo(2004) mencionan que este proceso ocurre gracias a que los rumiantes poseen un estómago pluricavitario, donde habita una microflora y micro fauna diversa y abundante, predominando poblaciones fermentativas de bacterias, protozoos y hongos anaeróbicos; cuya acción simbiótica hace posible la digestión de los carbohidratos estructurales de los vegetales, así como de la obtención de energía de materiales no aprovechables en la alimentación humana y de otras especies.

En este sentido, aproximadamente del 35 al 80% de la materia orgánica de los tejidos vegetales está constituida en la pared celular (Valenciaga y Chongo, 2004). Sin embargo, los rumiantes que dependen exclusivamente del consumo de pastos obtienen solo de 30 a 40% de la energía digestible consumida de la pared celular del forraje (Ramírez *et al.*, 2002). Uno de los

problemas que se presenta en la alimentación del ganado con pastos y forrajes, especialmente con gramíneas tropicales, es la subutilización de los carbohidratos estructurales del material vegetal como fuente energética, lo que impide el uso óptimo de los nutrientes presentes en la dieta, y provoca una disminución en la productividad del ganado.

Williams (2003) menciona que una de las características distintivas de las células vegetales es la presencia en ellas de la pared celular, la que protege su contenido celular, proporciona la forma y rigidez a la estructura de la planta, provee el medio para la circulación y distribución del agua y minerales, además, de contener moléculas especializadas que regulan el crecimiento y protegen a la planta de las enfermedades.

Por otra parte, la pared celular está constituida por dos fases: fase fibrilar o esqueleto y fase amorfa o matriz. La fase fibrilar está formada por celulosa que se combina en una disposición muy ordenada (mediante puentes de hidrógeno) que le otorga propiedades cristalinas, formando fibrillas elementales que se reúnen en microfibrillas, visibles al microscopio electrónico. La fase amorfa está formada por hemicelulosas, compuestos pécticos y glucoproteínas. Se describe que la pared celular se puede dividir en tres partes fundamentales: la sustancia intercelular o lámina media, la pared primaria y la pared secundaria.

3.7 Estructura de la pared celular

La estructura y función de la pared celular vegetal está controlada por su organización y composición, principales factores que influyen en la digestibilidad de la fibra por los microorganismos del rumen. Los forrajes difieren entre sí en la estructura y composición de su pared celular, dependiendo de la especie vegetal, parte anatómica y fase de desarrollo (Ramírez *et al.*, 2002).

3.7.1 Estructura de los polisacáridos de la pared celular

Las paredes celulares suelen contener grandes cantidades de compuestos intracelulares tales como ácidos nucleicos, fenoles, lípidos, proteínas y polisacáridos de reserva (Aman, 1993). Más de 100 monosacáridos diferentes han sido descritos en la naturaleza; pero solo diez de ellos dominan cuantitativamente en la estructura de las paredes celulares de las plantas superiores y son: arabinosa y xilosa (pentosas); glucosa, galactosa y manosa (hexosas), ramnosa y fucosa (6-deoxi-hexosas); ácidos galacturónico, glucurónico y 4-O-metil-glucurónico (ácidos urónicos). Además, dependiendo del tipo de célula, otros componentes pueden estar presentes, tales como compuestos fenólicos incluido el polímero lignina, así como pequeñas cantidades de proteínas y glicoproteínas (Sun *et al.*, 2006).

3.7.2 Polisacáridos Pécnicos

Están presentes en todas las plantas con semillas y se encuentra particularmente en la lámina media. Sun *et al.* (2006) indican que en las paredes primarias de las dicotiledóneas incluidas las leguminosas y crucíferas predominan cuatro polisacáridos pécnicos de alta complejidad y son: homogalacturano (HG), ramnogalacturano I (RG-I), ramnogalacturano II (RG-II) y xilogalacturano (XGA). RG-I tiene cadenas laterales que incluyen arabinanos, galactanos, tipo I arabinogalactano (AG-I) y posiblemente tipo II arabinogalactano (AG-II) así, como pequeñas proporciones de heteroxilanos y xiloglucanos. Los polisacáridos no celulósicos de las paredes secundarias lignificadas son generalmente 4-O-metil-glucuronoxilanos y pequeñas proporciones de glucomananos. Por su parte en las paredes primarias de las gramíneas los polisacáridos no celulósicos más abundantes son: glucoronoarabinosilanos (GAXs). Estos están asociados con proporciones variables de (1→3), (1→4)-β-glucanos junto con pequeñas proporciones de polisacáridos pécnicos y xiloglucanos. GAXs con similar estructura a los de la pared primaria, pero con un menor

grado de sustitución por residuo de glicosil, es el mayor polisacárido no celulósico de las paredes secundarias lignificadas de las gramíneas.

3.7.3 Hemicelulosas

Las hemicelulosas son carbohidratos estructurales no celulósicos que están constituidas por diferentes monómeros en proporciones variables, se dividen en pentosas y hexosas. Las hemicelulosas pertenecientes a las pentosas se caracterizan por poseer una cadena lineal de moléculas de D-xilosa, unidas por enlaces β 1-4 glicosídicos. Estas cadenas poseen ramificaciones de arabinosa, unidas a la cadena de D-xilosa, unidas por enlaces α 1-3. Las hemicelulosas pertenecientes a las hexosas son las beta glucanas, las cuales son polímeros de D-glucosa con enlaces β 1-4 y β 1-6. Por su parte, Cherney (2000) menciona que las hemicelulosas se enlazan junto a las microfibrillas de celulosa formando enlaces covalentes con el polímero de lignina.

3.7.4 Celulosa

Es el polímero orgánico más abundante en la tierra y el principal constituyente de las paredes celulares en gramíneas. Aman (1993) menciona que la celulosa está constituida por unidades lineales de glucosa (elementos de D-glucosa unidos por enlaces β 1-4 glicosídicos). Se encuentra enlazada a los ácidos fenólicos monomérico y dimericos; a la lignina, y a pequeñas cantidades de aldehídos fenólicos. En las paredes primarias de las dicotiledóneas la celulosa, xiloglucanos y pectinas son los polisacáridos más importantes; mientras que en las paredes secundarias predominan la celulosa, xilanos y lignina. De acuerdo con el mismo autor en las paredes celulares de las gramíneas el contenido de xiloglucanos y pectinas es más pobre (en comparación con dicotiledóneas), los polisacáridos principales son arabinoxilanos, glucoronoarabinoxilanos y celulosa. La pared secundaria está dominada por celulosa, xilanos y

lignina. En algunos forrajes como las pajas de cereales la pared secundaria puede llegar a una posición totalmente dominante entre los demás constituyentes celulares.

3.8 El polímero lignina

Es el tercer polímero natural más abundante en la naturaleza después de la celulosa y hemicelulosa. La lignina es un componente principal de la pared celular, da forma y rigidez a la estructura de la planta, interviene en el transporte interno de agua y nutrientes, así como proporcionar protección contra fenómenos oxidativos y ataques de parásitos.

Según, Anvar y Mazza (2008) la lignina es un polímero amorfo que consiste en unidades de fenilpropano y sus precursores son tres alcoholes aromáticos (monolignoles) cumarol, coniferol y sinapol. Los constituyentes respectivos aromáticos de estos alcoholes en el polímero son llamados: p-hidroxifenil, guayacil y siringil. Durante el proceso de lignificación estos monolignoles producen un complejo tridimensional amorfo (polímero de lignina) vía β -O-4, α -O-4, β -5, β -1, 5-5, 4-O-5 y β - β vínculos que carecen de unidades regulares y ordenadas que se encuentran en otros polímeros como celulosa y proteínas. Este proceso de biosíntesis consiste principalmente en el acoplamiento de los radicales, y crea un único polímero de lignina en cada especie de planta.

De acuerdo con la misma fuente la lignina se asocia siempre otros carbohidratos (en particular con hemicelulosa) a través de enlaces covalentes en dos sitios: α -carbono y C-4 en el anillo de benceno, esta asociación es llamada ligno-carbohidratos complejos (LCC). En plantas herbáceas los ácidos p-cumarico y ferúlico se adjuntan a la lignina y hemicelulosa a través de enlaces tipo éster y éter dando lugar a la formación lignina/fenólicos-carbohidratos complejos.

LCC de los cultivos herbáceos son estructuralmente diferente a los LCC de los árboles y contienen puentes ferúlico entre la lignina y carbohidratos (arabinoxilanos) vía esteres de ácidos ferúlico. Refiriéndose a menudo a “lignina/fenólicos-carbohidratos” complejos (Figura 1). El ácido ferúlico se adjunta a lignina con enlaces éter y los carbohidratos con enlaces ester. En las gramíneas estos enlaces ester alcalinos-labil que implican arabinosa predominan sobre los alcalino-estables tales como fenil glicosidico y éter bencilo. Debido a esta diferencia la mitad de los fenoles totales en plantas herbáceas se eliminan con NaOH a temperatura ambiente (Hartley y Morrison, 1991).

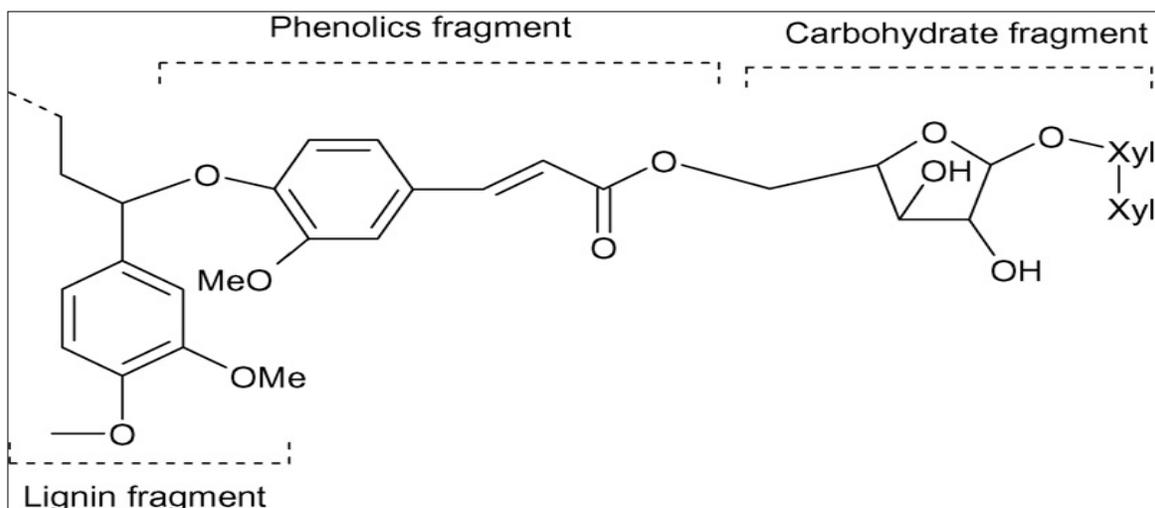


Figura 1 Lignina/fenólicos-carbohidratos complejos en paja de trigo

3.9 Limitaciones de la digestión ruminal de la pared celular

La degradación de los polisacáridos de la pared celular es un proceso complejo afectado por factores químicos y físicos inherentes al forraje, la velocidad de paso del forraje a través del tracto gastro-intestinal y a la presente población microbiana (Barros, 2012). En este sentido Jung *et al.* (2012) mencionan que un factor que afecta la degradación de los polisacáridos de la pared celular es el tamaño de partícula y tiempo de retención en el rumen; refiriéndose que en comparación con la hidrólisis del almidón, la digestión de la celulosa y la hemicelulosa en el rumen es más lenta. Por lo tanto, la capacidad del rumen para retener las partículas de la digesta durante largos periodos de tiempo es crítico para maximizar la digestión de los polisacáridos de la pared celular; además que las partículas de la digesta alcanzan una densidad y tamaño crítico lo cual puede provocar que salgan del rumen a través del orificio retículo-omasal al intestino inferior afectando de igual forma la degradación de los polisacáridos.

Otro factor limitante, es la lignificación de los tejidos vegetales, ya que la presencia de lignina inhibe la degradación de los polisacáridos presentes en ella (Sun *et al.*, 2006). En este sentido Sewalt *et al.* citado por Valenciaga y Chongo (2004) indican que se han propuesto tres posibles mecanismos mediante los cuales la lignificación puede limitar la fermentación microbiana o hidrólisis enzimática de los polisacáridos de la pared celular: (i) el efecto tóxico de la lignina en los microorganismos del rumen, que inhibe la adhesión de los mismos a las partículas vegetales y su actividad fermentativa, (ii) el medio ambiente hidrofóbico creado por la lignina, que impide la acción de las enzimas, las cuales requieren un medio acuoso, y (iii) la limitación de espacio causada por los enlaces lignina-polisacárido limitan el acceso de las enzimas a los carbohidratos específicos.

Por su parte Jung et *al.* (2012) mencionan que la concentración de lignina de los residuos fibrosos (la cual aumenta con su maduración), reduce la degradación de los polisacáridos presente en la pared celular.

3.10 Celulolisis ruminal de la fibra

Rotger (2006) menciona que la fibra se degrada lentamente y que este proceso ocurre principalmente en dos pasos: el primer paso consiste en la adhesión de los microorganismos a la pared celular. Esta adhesión puede ser vía uniones específicas con adhesinas (moléculas de la superficie microbiana que se une a receptores del material vegetal), o uniones inespecíficas con enlaces iónicos. Los primeros puntos de unión se localizan en los bordes de las partículas, en lesiones superficiales o en los estomas. Debido a que la superficie externa de las estructuras vegetales suelen estar recubiertas por lignina, taninos, cutina y sílice que dificultan el ataque microbiano. Las bacterias son las primeras en colonizar la estructura vegetal. Después de ellas se producirá la colonización por protozoos y hongos. El segundo paso consiste en la degradación enzimática que consta de dos etapas. En la primera, los polisacáridos complejos son hidrolizados hasta oligosacáridos de cadena corta (celobiosa, maltosa, xilobiosa) y azúcares sencillos mediante celulasas y hemicelulasas. En una segunda etapa, los monosacáridos son metabolizados hasta piruvato y finalmente hasta ácidos grasos volátiles (AGV). Al ser la fibra una mezcla muy heterogénea, sus componentes serán degradados en distinta intensidad por los microorganismos ruminales. Algunos componentes de la pared celular se degradarán rápidamente, mientras que otros prácticamente no se degradarán en el rumen y su degradación podrá continuar en el tracto gastro-intestinal posterior antes de ser excretados en heces.

3.11 Generalidades de los residuos agrícolas

Aránguiz (2005) define a los residuos o desechos de cultivos, como un producto que ha sido generado en un proceso agrícola o agroindustrial; no representa valor agregado, ni un uso productivo posterior. Este material incluye a la planta o porción cultivada de ella que es necesario separar para obtener el órgano vegetal de la especie de cultivo, esto con el objeto de facilitar el establecimiento del cultivo posterior o del cultivo propio. De acuerdo con la misma fuente los residuos fibrosos se pueden clasificar según su origen en: residuos de cosecha, residuos de la agro-industria, residuos fibrosos urbanos, excretas de animales de granja y vegetación natural. Estos recursos son de muy variado valor nutritivo y de igualmente variada disponibilidad, tanto en término de producción, como en estacionalidad. Nurfeta (2009) menciona que muchos residuos agrícolas, se utilizan en la alimentación de rumiantes, en particular en la época de seca. Sin embargo, estos residuos se caracterizan por tener baja digestibilidad, bajo contenido de azúcares solubles y almidón; además de ser deficientes en proteína y energía, que conducen a un bajo consumo voluntario de MS y por lo tanto a una baja productividad.

Por su parte Al-Masri (2005) menciona que los residuos fibrosos son ricos en carbohidratos estructurales, y por lo tanto, potencialmente una fuente de energía barata para los animales rumiantes y que el aprovechamiento de estos residuos es importante por razones económicas y medioambientales. Sin embargo, su potencial como fuente de energía está limitado por su alto contenido de lignocelulosa, lo que provoca una baja digestibilidad y bajo consumo voluntario. Según el mismo autor esto se debe principalmente a la cristalinidad de la celulosa y la asociación física estrecha entre los carbohidratos estructurales y la lignina. Sin embargo, Chaudhry (1998) menciona que la digestión de los residuos fibroso puede mejorarse si la estructura de la pared celular se modifica.

3.12 Características de los residuos de cosecha de la caña de azúcar

Martin (2004) define a los residuos de cosecha como el material que queda después que se separa el tallo de las hojas y el cogollo (puntas). Por ende, este material está constituido por estos dos componentes de la caña integral. Este mismo autor menciona que la proporción de estos residuos depende según sea el tipo de corte; ya sea manual o mecanizado. En el corte mecanizado, desde el punto de vista físico los residuos son un material heterogéneo y están compuestos principalmente por: cogollos y hojas verdes, hojas secas, vainas, trozos de caña e impurezas. Hassoun *et al.* (2002) mencionan que estos residuos son un importante recurso forrajero para rumiantes durante la estación seca en los países tropicales. Sin embargo, Martin (2004) indica que este material se caracteriza por su alto contenido de fibra y lignina, bajo contenido de nitrógeno, minerales, vitaminas y presentar baja densidad. En este sentido Miléo *et al.* (2011) evaluó la composición química de la paja de caña encontrando valores promedio de 38.1% de celulosa, 29.2% de hemicelulosa, 24.7% de lignina y 3.4% de cenizas.

Por su parte, Salgado *et al.* (2011) mencionan que después de un canal cosechado mecánicamente pueden quedar 18 t/ha de residuos. Si bien los residuos de cosecha de la caña de azúcar, son ampliamente utilizados por los agricultores de los países productores de caña como una fuente económica de alimento; sus características nutritivas, representan una problemática en la alimentación de rumiantes, que se ve reflejada principalmente en una baja productividad animal. Lo anterior indica que para utilizar los residuos de cosecha en forma eficiente en la producción animal, es necesario, en la mayoría de los casos, el mejoramiento nutricional de los mismos.

3.13 Tratamientos para el mejoramiento nutricional de los residuos fibrosos

Según Al-Masri (2005) los diversos tratamientos que han sido evaluados con el objeto de mejorar el valor nutricional de las distintas fuentes de alimento, tiene al menos siete propósitos específicos: (i) aislamiento de partes constituyentes, (ii) mejoramiento de la apeticibilidad, (iii) alteración de la forma física, (iv) aumento de la digestibilidad, (v) mejoramiento de la conservación, (vi) detoxificación, (vii), y alteración de la combinación de nutrientes. De acuerdo a la misma fuente, según su naturaleza, los tratamientos para mejorar el valor alimenticio de los residuos fibrosos se pueden clasificar en: (a) suplementación con nutrientes específicos (nitrógeno, minerales, vitaminas, etc.), (b) físicos (modificación de la forma física, humedecimiento, presión de vapor y/o altas temperaturas, irradiación), (c) químicos (procesamiento de ácido, procesamiento con álcali, agentes oxidantes (deslignificación), (d) aditivos reguladores del proceso digestivo, (e) biológicos (hongos y bacterias) y (f) combinaciones de los tratamientos anteriores.

Atwell citado por Elizondo (1998) menciona que desde el siglo pasado se han desarrollado diferentes tipos de métodos químicos para mejorar el valor nutritivo de los residuos de cosecha, los que en relación al estado de madurez de la planta se puede generalizar que es el más benéfico para plantas maduras lignificadas.

3.14 Efecto de los tratamientos químicos en el valor nutritivo de los residuos fibrosos

Los tratamientos químicos con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de amonio (NH₄OH), urea e hidróxido de calcio (Ca (OH)₂); y los tratamientos físicos tales como el tratamiento de vapor y la irradiación gamma, se han probado para mejorar el valor nutritivo de los residuos lignocelulósicos en muchos países productores de caña y principalmente de cereales (Jung *et al.*, 2012). De ellos el tratamiento que mejor resultado ha presentado es el NaOH. En general el propósito fundamental de los tratamientos con álcalis es el de “romper” los enlaces químicos entre la lignina y los carbohidratos estructurales presentes en la pared celular (Arguello y Ortiz, 2002).

En este sentido Wang *et al.* (2012) mencionan que la mayoría de los enlaces entre la lignina, la hemicelulosa y celulosa son de tipo éster o éter, susceptibles a ser hidrolizados por el tratamiento alcalino. De acuerdo con la misma fuente, la acción química de los agentes alcalinos sobre la fracción fibrosa es la de saponificar los ésteres de ácidos urónicos asociados con las cadenas de xilanos; por consiguiente, se rompen enlaces químicos que ligan a los carbohidratos de la pared celular. El efecto físico, es el aumento del punto de saturación de la fibra, con lo cual también aumenta la difusión de materias solubles en agua y la interacción enzima-substrato. Esto explica el aumento de la digestibilidad de los residuos sin variar el contenido de lignina del material.

El cambio más sobresaliente en la composición química de los residuos fibrosos al tratarse con álcali, es la solubilización de la hemicelulosa, manteniéndose relativamente constante el contenido de celulosa y lignina. De igual forma se incrementa el contenido de ceniza y disminuye el contenido de materia orgánica y el pH se eleva.

Por su parte Himmel *et al.* citado por Wang *et al.* (2012) indican que la lignina, en asociación con la celulosa y la hemicelulosa representa un obstáculo importante para la hidrólisis enzimática. En este sentido Kumar y Wyman (2009) mencionan, que el contenido de lignina es inversamente proporcional a la hidrólisis enzimática, por lo tanto, la presencia de lignina dificulta la accesibilidad de las enzimas a los polisacáridos estructurales (celulosa y hemicelulosa principalmente), lo que lleva a una bajo rendimiento de azúcares fermentables, que a su vez afecta negativamente la subsecuente fermentación microbiana. Por lo tanto una etapa de pre-tratamiento alcalino es necesaria para abrir la estructura de la biomasa y mejorar la susceptibilidad de los carbohidratos estructurales a una eficiente hidrólisis enzimática (Wang *et al.*, 2012). El efecto principal del pre-tratamiento alcalino incluye la reducción de la cristalinidad y el grado de polimerización de la celulosa, incrementa el área superficial de la biomasa y elimina los enlaces entre la lignina y hemicelulosa (Mosier *et al.*, 2005). Otro tratamiento utilizado es la amonificación que presenta una acción química sobre la fibra similar al hidróxido de sodio, un incremento en la digestibilidad de la materia orgánica y un aumento en el contenido de nitrógeno con respecto al material no tratado.

En este sentido, Escobar y Parra (2000) reportaron valores en la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica de la tuza de maíz (DIVMO) de 52.8% cuando se le adiciono 6% de NaOH y 40.52% con 6% Ca(OH)₂. Por su parte Al-Masri (2005) encontró valores de 46 y 55% en la DIVMO para el control y la paja tratada, respectivamente, cuando adiciono 6% de NaOH.

Por otro lado, Elizondo (1998) adiciono 4% NaOH al bagazo de caña y después de 45 de ensilado observo un ligero aumento en la PC (2.7 a 4.9%), una disminución en la FDN (85.2 a 38.1%), la FDA se mantuvo igual (54.1 a 55.6%) y una DIMS de 66.3 y 20.6% para el material tratado y sin tratar, respectivamente. Martin (2004) menciona que la DIMS de los residuos de cosecha puede duplicarse cuando se trata con NaOH, alcanzando valores superiores a 55%, lo que caracteriza a los pastos tropicales de mediana calidad.

Chaudhry (1998) menciona que a pesar de los beneficios de los agentes alcalinos, en especial el NaOH, para mejorar el valor nutritivo de los residuos fibrosos, su aplicación se ve limitada en explotaciones agrícolas ya que se maneja se considera peligroso tanto para las personas que lo manipulan, como para los animales y el medio ambiente. Es, por tanto, deseable encontrar alternativas rentables y fáciles de usar que mejoren el valor nutritivo de los residuos fibrosos. En este sentido una alternativa es el uso de álcalis menos “agresivos” como el hidróxido de calcio Ca(OH)_2 . Este agente alcalino es de menor costo, fácil obtención y manipulación si se compara con el NaOH.

3.15 El proceso de la fermentación en estado sólido (ensilaje)

Marcinakova *et al.* citado por Robles (2007) define el ensilaje, como una técnica de conservación, producido por la fermentación anaeróbica de bacterias lácticas sobre el forraje o subproductos agrícolas. El proceso se basa en la eliminación total del aire presente en el material a ensilar donde la fermentación de los carbohidratos solubles a ácido láctico, provoca la disminución de pH, siendo de esta manera como se conserva el alimento.

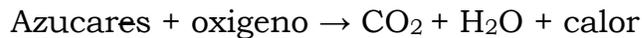
Por su parte Hughes *et al.* citado por Estrada (2011) menciona que un buen ensilaje, es el resultado de la combinación de varios factores; entre los más determinantes están: una buena expulsión del aire (el factor más importante para producir las condiciones ideales en el proceso de ensilaje), dada por una buena compactación, un corte o picado fino, un buen aislamiento del medio externo para mantener su anaerobiosis. Este mismo autor, indica que la textura del ensilaje es un buen indicador de calidad, y está dada por un pH con valores menores a 4.5, bajos niveles de nitrógeno amoniacal, poco o ninguna producción de ácido butírico y un contenido de ácido láctico de 3 a 13% en la MS. Los objetivos biológicos y tecnológicos del ensilaje son: minimizar las pérdidas de nutrientes y evitar posibles cambios en el valor nutritivo de los alimentos, los procesos de preservación deben impedir que se produzcan efectos negativos en la salud del animal y en sus procesos productivos y deben garantizar la durabilidad del alimento conservado, tanto durante el almacenamiento como en su suministro a los animales.

El proceso de ensilaje está determinado principalmente por tres factores: (i) las bacterias en material vegetal, (ii) la cantidad de amonio dentro del recipiente en que se almacena, y (iii) la composición del material vegetal que está en el silo. Ojeda *et al.* (1991) indican que durante el proceso de ensilaje se pueden distinguir dos etapas: la fase aeróbica o enzimática y la

fase anaeróbica o microbiológica, aunque en la práctica ambas pueden ocurrir simultáneamente.

3.16 Condiciones ideales de un buen ensilaje

Las bacterias contenidas en el material vegetal a ensilar, crecen en su mayoría en un medio aeróbico. Son conocidas como bacterias facultativas, incrementan su número y su actividad en ausencia de oxígeno dentro del silo. Según Ojeda *et al.* (1991) en este proceso ellas usan los carbohidratos disponibles produciendo agua, calor y CO₂. Esta reacción se puede esquematizar de la siguiente forma:



En esta reacción los mismos autores encontraron cuatro elementos negativos para la conservación: (i) elevación de la temperatura que en casos extremos puede provocar la pérdida del ensilaje por carbonización o la disminución del valor nutritivo de las proteínas por desnaturalización, (ii) disminución del contenido inicial de los carbohidratos solubles, que posteriormente serán necesarios como fuente de energética para las bacterias, (iii) pérdida de MS en forma de CO₂ no recuperable, y (iv) aumento de la humedad en los forrajes, lo cual favorece el desarrollo de un grupo de bacteria indeseables. Por otra parte, tanto las bacterias como la planta siguen respirando. Es difícil separar los efectos de los dos sistemas de enzimas, el bacteriano y el de la planta. Al final de la cuarta o quinta hora en condiciones anaeróbicas, el ácido láctico hace que las bacterias incrementen su número, este factor determina las condiciones para producir un buen ensilaje en condiciones óptimas. El ácido láctico producido por las bacterias, actúa sobre los carbohidratos disponibles en el forraje. Estos son principalmente: azúcares, sacarosa, monosacáridos, glucosa y fructosa (Estrada, 2011).

3.17 Las bacterias lácticas como fermentadoras de azúcares

De acuerdo con Estrada (2011) la acción de las bacterias lácticas (BAL) en los carbohidratos disponibles, producen ácidos orgánicos, H₂O, CO₂ y calor; aunque su principal función es producir ácido láctico, sin embargo, los otros ácido orgánico como el acético, fórmico y succínico también son producidos. El ácido desarrollado por el material vegetal reduce el pH hasta 4.5 o menos, esta acidez impide el desarrollo de bacterias y la acción de las enzimas preserva el ensilaje. Es determinante la inhibición de las bacterias proteolíticas y de la putrefacción en la producción de un buen ensilaje. El proceso del ensilado esta completo entre 10 días y 2 semanas después del sellado, si se produce suficiente ácido y no entra aire durante el proceso de embasado, la duración del silo puede ser de varios meses.

Este mismo autor indica que de forma general se puede medir la calidad de un ensilaje, aplicando el sistema de Wieringa (Cuadro 3), el cual se basa en la apreciación de tres indicadores: pH, contenido de ácido butírico y nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total. Esta evaluación se determina con la aplicación de los siguientes valores.

Cuadro 3. Indicador de un buen ensilaje según el método Wieringa

Apreciación	Puntuación	pH	Acido butírico	N-NH ₃ /N _t
Bueno	2	<4.2	<2	<8
Medio	1	4.3 – 4.5	2-5	8-15
Malo	0	>4.5	>5	>15

Ojeda *et al.*(1991)

3.18 El Vitafert

De acuerdo con Elías y Herrera (2010) el Vitafert, como parte del concepto MEBA (microorganismos eficientes beneficiosos activados) es un producto biológico obtenido por fermentación líquida, compuesto de bacterias lácticas, levaduras y sus metabolitos que funcionan como probiótico, capaces de producir cantidades apreciables de ácidos orgánicos de cadena corta como láctico, acético, propiónico, succínico y pirúvico, vitaminas y enzimas elaborado a partir de yogurt, melaza, agua, pulido de arroz, pasta de soya, sulfato de amonio y minerales (Cuadro 4). Además es un activador de la fermentación que estimula la producción de ácidos orgánicos, disminuye el pH, incrementa y estabiliza la proteína, aumenta la digestibilidad de la materia seca y disminuye las fracciones de la pared celular de la materia prima alimentaria sometida a su acción.

Cadena (2010) al estudiar diferentes tiempos de fermentación y niveles de melaza en el Vitafert, encontró que el pH, se estabilizó al tercer día de fermentación y los mayores valores de lactobacilos y levaduras, lo encontró al adicionar 15% de melaza (Cuadro 5).

Cuadro 4. Ingredientes del Vitafert (%)

Ingredientes	%
Pasta de soya	4.0
Pulido de arroz	4.0
Melaza	15.0
Sal mineral	0.5
Sulfato de amonio	0.3
Urea	0.4
Agua	70.8
Yogurt	5.0
Total	100

Cuadro 5. Valor de pH y crecimiento de lactobacilos y levaduras (Log ufc/ml) en el Vitafert

Días de fermentación	pH	Variables	
		Lactobacilos (Log *ufc/ml)	Levaduras (Log ufc/ml)
0	5.35	4.74 x 10 ⁴	5.42 x 10 ⁴
1	5.46	5.28 x 10 ⁵	4.43 x 10 ⁵
2	4.34	5.76 x 10 ⁵	3.65 x 10 ⁶
3	4.10	9.29 x 10 ⁹	-
6	3.95	9.36 x 10 ⁹	-
9	3.87	9.15 x 10 ⁹	-
15	3.81	8.93 x 10 ⁹	-
30	3.86	8.75 x 10 ⁵	-

Log= Logaritmo; *ufc= unidades formadoras de colonias

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Localización geográfica del área de estudio

El presente estudio se realizó en el laboratorio de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco ubicado en el km 3.5 Periférico Carlos A. Molina s/n, Carretera Cárdenas-Huimanguillo en la región de la Chontalpa en el municipio de Cárdenas Tabasco.

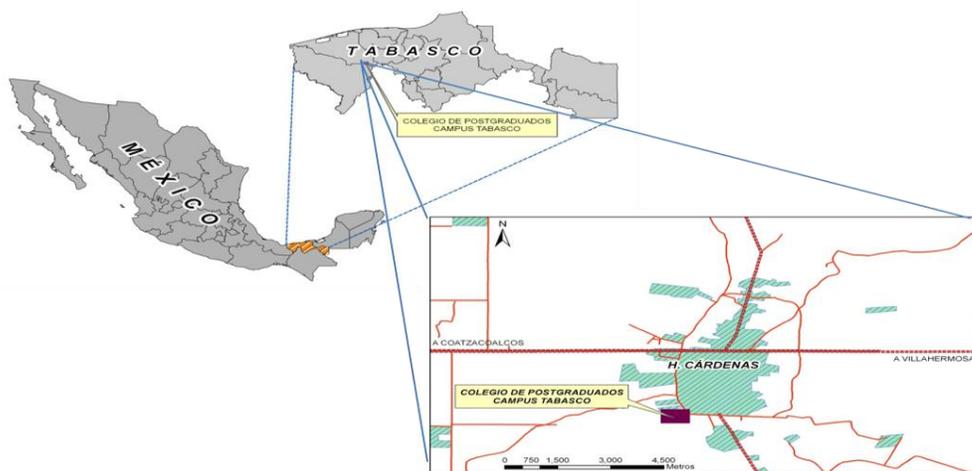


Figura 2 Macro y micro localización del área de estudio

El municipio está situado entre los paralelos $17^{\circ} 55'$ y $18^{\circ} 25'$ latitud Norte y los meridianos $93^{\circ} 16'$ y $94^{\circ} 08'$ de longitud Oeste, y cuenta con una altitud de 10 msnm. El clima que predomina es el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, tiene una temperatura promedio de 26°C y un rango de precipitación de 2000-2500 mm (INEGI,2010).

4.2 Material experimental

Se recolectaron 250 kg de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar (RCMCA) en un cañal recién cosechado de la variedad CP 20-86 en el Poblado C-31 de Cárdenas Tabasco. El material se trasladó a las instalaciones del Campo Experimental del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, ubicado en el km 21 de la Carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, donde se molió en una picadora de forraje marca Nogueira adaptada con una criba de 4mm.

4.3 Ingredientes utilizados en la elaboración de alimentos a base de residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar

Una vez molido los RCMCA, se mezcló con los ingredientes y porcentajes indicados en el Cuadro 6, en una mezcladora de banda tipo industrial para hacer cuatro alimentos, donde la diferencia entre ellos fue el nivel de inclusión del Ca(OH)_2 .

Cuadro 6. Porcentaje base húmeda de los ingredientes utilizados para hacer los alimentos a base de ¹RCMCA

Ingredientes %	Alimentos			
	1	2	3	4
Caña molida	30	30	30	30
Pulido de arroz	10	10	10	10
²Vitafert	15	15	15	15
Urea	1	1	1	1
Sal mineral	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulfato de magnesio	0.3	0.3	0.3	0.3
¹RCMCA	43.2	40.2	37.2	34.2
³Ca(OH)₂	0	3	6	9

¹Residuos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar

²Producto biológico obtenido por fermentación líquida compuesto de bacterias lácticas y levaduras

³Hidroxido de calcio

4.4 Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 4 con variable de respuesta incremento en Y. El primer factor estudiado fue los niveles de Ca(OH)₂ (0, 3, 6 y 9%) y el segundo factor, los tiempos de conservación (0, 20, 40 y 60 días) formando 16 tratamientos (Cuadro 7), con tres repeticiones por tratamiento dando un total de 48 unidades experimentales.

Cuadro 7. Distribución de los tratamientos en los factores estudiados

Factor A Niveles de *Ca(OH) ₂ %	Factor B Tiempo de conservación (días)			
	0	20	40	60
0	T-1	T-2	T-3	T-4
3	T-5	T-6	T-7	T-8
6	T-9	T-10	T-11	T-12
9	T-13	T-14	T-15	T-16

*Hidróxido de calcio

Para el análisis estadístico de la media de los datos se aplicó la d'cimo de Tukey (1953), el procesamiento de los datos se realizó mediante el paquete estadístico R, Foundation for statistical computing, versión 2.10.1 2009, para lo cual se utilizó el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta en la repetición k, con el i-ésimo nivel de A, el j-ésimo nivel de B y la repetición k-ésima.

μ = Media general

A_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (Ca (OH)₂)

B_j = Efecto de i-ésimo nivel del factor B (Tiempo de conservación)

AB_{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A y el i-ésimo nivel de factor B en su repetición κ

ϵ_{ijk} =Error aleatorio

4.5 Elaboración de los microsilos según los tratamientos estudiados

Una vez elaborados los cuatro alimentos (Cuadro 6) tomando en cuenta los niveles de inclusión del $Ca(OH)_2$, se hicieron microsilos (Cuadro 8) considerando los tiempos de conservación según los tratamientos estudiados (Cuadro7). Para ello, se tomó cinco kg de cada mezcla (alimento) y se colocó en bolsas negras de polietileno (60 x 90) previamente identificadas, se extrajo el aire con una aspiradora marca Koblenz y se almacenaron en una bodega para su posterior muestreo. Cada microsilo constituyó una unidad experimental.

Cuadro 8. Kilogramos de ingredientes base húmeda utilizado para hacer los microsilos, según tratamientos

Tratamiento	Caña	p. arroz	Vitafer (ml)	urea	¹ SM	² S.Mg	³ RCMCA	⁴ Ca(OH) ₂
1	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.16	0
2	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.16	0
3	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.16	0
4	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.16	0
5	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.01	0.150
6	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.01	0.150
7	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.01	0.150
8	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	2.01	0.150
9	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.86	0.300
10	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.86	0.300
11	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.86	0.300
12	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.86	0.300
13	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.71	0.450
14	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.71	0.450
15	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.71	0.450
16	1.5	0.5	0.75	0.05	0.025	0.015	1.71	0.450

¹SM=sal mineral; ²S.Mg=sulfato de magnesio; ³RCMCA=Residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar; ⁴Ca(OH)₂=Hidróxido de calcio

4.6 Recolección y procesamiento de las muestras

Transcurrido el tiempo de conservación del alimento según tratamientos, se abrió el microsilo correspondiente y se extendió en un costal sobre un piso de cemento, se tomaron seis sub-muestras, siguiendo el método de las diagonales, para hacer una muestra compuesta de 1 kg de cada microsilo, para su posterior análisis químico y fermentativo.

4.7 Determinación de parámetros fermentativos

4.7.1 pH

Para determinar esta variable, se pesaron 10 g del kg de la muestra compuesta previamente descrita, se depositaron en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se le adicionó 90 ml de agua destilada y se agitó durante 30 min en un agitador mecánico marca Orbital Shaker modelo DS-500e. Posteriormente se filtró usando gasa estéril, recolectando el líquido en matraces de 125 ml y se midió inmediatamente el pH con un potenciómetro marca J.T Baker modelo pH10.

4.7.2 Nitrógeno amoniacal (N-NH₃)

Del filtrado recolectado, se tomaron 5 ml, se depositaron en un frasco de plástico de 50 ml adicionando 5 ml de HCl valorado al 0.1 N así, como 15 ml de agua destilada. Las muestras se conservaron en refrigeración durante dos meses. La concentración de nitrógeno amoniacal se midió en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible modelo Lambda 25 UV/VIS marca Perkin Helmer a una longitud de onda de 630nm mediante la técnica descrita por (McCullough *et al.*, 1967).

4.7.3 Ácido láctico

Del filtrado se tomaron 8 ml, se depositaron en un frasco de vidrio de 10 ml y se le adicionaron 2 ml de ácido metafosforico al 25%. Posteriormente las muestras fueron conservadas en refrigeración para su posterior análisis. La lectura se midió en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible modelo Lambda 25 UV/VIS marca Perkin Helmer a una longitud de onda de 570nm mediante la técnica descrita por SIGMA (1990).

4.8 Determinación de parámetros bromatológicos

4.8.1 Materia seca (MS)

Para determinar esta variable se pesaron 150 g del kg de la muestra compuesta previamente descrita, y se colocaron en una estufa de aire forzado a 105 °C durante 48 h de acuerdo a la AOAC (2000).

4.8.2 Proteína cruda (PC) y cenizas

La cantidad del material restante, en la bolsa del kg de la muestra compuesta (840 g), se secaron a 55 °C hasta peso constante. Posteriormente, se molieron en un molino de martillo marca Thomas Willey adaptada con un tamiz numero 18 (1mm), conservando el material en botes de plástico, previamente identificados. Para determinar estas variables se utilizó la metodología propuesta por la AOAC (2000).

4.8.3 Materia orgánica (MO)

Se calculó por diferencia %ceniza-100

4.8.4 Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)

Para determinar estas variables se utilizó la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991).

4.8.5 Contenido celular (CC)

Se calculó por diferencia $100 - \text{FDN}$

4.8.6 Hemicelulosa

Se calculó por diferencia $\text{FDN} - \text{FDA}$

4.9 Degradación *in situ* de la materia seca (DIMS)

Para determinar la degradación *in situ* de la materia seca (DIMS), se pesaron 6 g de muestra molidas en malla de 1mm y se colocaron en bolsas de poliseda (10 x 20 cm) según tratamientos de acuerdo a la metodología descrita por Ørskov *et al.* (1980). Se incubaron en tres toros canulados en rumen, con un peso vivo promedio de 729 ± 98 kg en horarios de 3:15, 7:15, 12:30, 19:45, 31:45, y 78:45 h. Cada toro se tomó como una repetición. Primero se incubaron las bolsas que correspondían a las 78:45 h, posteriormente las de 31.45 h, así sucesivamente, hasta llegar a la hora 0:00, donde todas fueron sacadas y lavadas al mismo tiempo para reducir el error por efecto de lavado de bolsas. El lavado se efectuó de forma manual, colocando las bolsas en cubetas de plástico (una por animal) y agregando agua hasta que el afluyente de la bolsa se tornó claro. Posteriormente, fueron colocadas en una estufa da aire forzado a 60 °C. Una vez secas, se pesaron y por diferencia de peso, se determino la DIMS, mediante la siguiente fórmula:

$$(\text{PI} - \text{PF} / \text{PI}) * 100$$

Donde:

PI= peso inicial de la muestra (g)

PF= peso residual obtenido (g)

Los horarios se establecieron, siguiendo los resultados de un modelo matemático inédito (Vargas, 2012) que describe los porcentajes presentes en el rumen como función de la degradación efectiva de los alimentos a diferentes tiempos de ingesta (24, 48, 72 y 96 h). Las tasas de degradación y pasaje utilizadas fueron seleccionadas arbitrariamente en base a datos encontrados en trabajos similares. Los horarios corresponden a incrementos similares en la cantidad de biomasa degradada con las restricciones de tener seis horarios de muestreo que sea cercano a 36 horas. Finalmente los horarios se redondearon al valor en horas más cercano al cuarto de hora.

Para comparar la DIMS entre tratamientos (T1-T16) en cada tiempo de incubación se utilizó un análisis de varianza en un arreglo factorial de dos factores (Montgomery, 2004), tomando, los tratamientos como un factor; y el tiempo de incubación ruminal como el otro factor. En las comparaciones múltiples se empleó la prueba de Tukey (Montgomery, 2004). Las pruebas estadísticas se consideraron significativas cuando $P < 0.05$, el paquete estadístico utilizado fue STATGRAPHICS Centurión XV v. 15.2.06 (StatPoint, 2007).

4.10 Degradación *in situ* de la fibra detergente neutro (DIFDN)

Para calcular la DIFDN, a los residuales de las bolsas del horario 31:45 h, utilizadas en la determinación de la DIMS, se les aplicó la metodología de Van Soest *et al.* (1991) para determinar el porcentaje de FDN(residual). El peso inicial usado en la determinación de la DIMS se multiplicó por el porcentaje de FDN inicial (muestras sin incubar) y se dividió entre 100 para obtener los gramos iniciales de FDN. El peso residual obtenido en la determinación de la DIMS se multiplicó por el porcentaje de FDN residual y se dividió entre 100 para obtener los gramos residuales de FDN. El cálculo se realizó con la fórmula siguiente:

$$\%DIFDN = \frac{gFDNI - gFDNR}{gFDNI} \times 100$$

Donde:

gFDNI= gramos de la FDN inicial

gFDNR= gramos de la FDN residual

4.11 Degradación *in situ* de fibra detergente ácida (DIFDA)

Para calcular la DIFDA, a los residuales de las bolsas del horario 31:45 h, utilizadas en la determinación de la DIMS, se les aplicó la metodología de Van Soest *et al.* (1991) para determinar el porcentaje de FDA (residual). El peso inicial usado en la determinación de la DIMS se multiplicó por el porcentaje de FDA inicial (muestras sin incubar) y se dividió entre 100 para obtener los gramos iniciales de FDA. El peso residual obtenido en la determinación de la DIMS se multiplicó por el porcentaje de FDA residual y se dividió entre 100 para obtener los gramos residuales de FDA. El cálculo se realizó con la fórmula siguiente:

$$\% DIFDA = \frac{gFDAI - gFDAR}{gFDAI} \times 100$$

Donde:

gFDAI= gramos de la FDA inicial

gFDAR= gramos de la FDA residual

4.12 Degradación *in situ* de la materia orgánica (DIMO)

Para calcular la DIMO, a los residuales de las bolsas del horario 31:45 h, utilizadas en la determinación de la DIMS, se les determinó el contenido de cenizas y materia orgánica (MO) de acuerdo a la AOAC (2000). El peso inicial usado en la determinación de la DIMS se multiplicó por el porcentaje de MO inicial (muestras sin incubar) y se dividió entre 100 para obtener los gramos iniciales de MO. El peso residual obtenido en la determinación de la DIMS se multiplicó por el porcentaje de MO residual y se dividió entre 100 para obtener los gramos residuales de MO. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\% \text{ DIMO} = \frac{\text{gMOI} - \text{gMOR}}{\text{gMOI}} \times 100$$

Donde:

gMOI= gramos de la MO inicial

gMOR= gramos de la MO residual

4.13 Energía metabolizable (EM)

Para estimar la EM se aplicó la fórmula propuesta por el ARC (1980):

$$\text{EM} = (\text{DMO} \times 3.616) / 100$$

4.14 Tasa de digestión

Para determinar esta variable, se desarrollo la siguiente ecuación diferencial:

$$dR/dt = kR$$

La cual describe el residual (R) como función de si mismo para ser utilizada como función objetivo durante el ajuste del parámetro, tasa de degradación (kd). La degradación (D) fue descrita como una *ecuación por diferencia de (100- residual). El intercepto en la ordenada se considero como la fracción que no se solubiliza en el tiempo cero, por lo que la fracción soluble se obtuvo por diferencia al tiempo cero ($D_0 = 100 - R$). Para la descripción de las curvas simuladas de R y D se obtuvo la solución numérica del modelo hasta el tiempo 78:75 h.

ecuación auxiliar

$$*D = 100 - R$$

Para el desarrollo del modelo se utilizo el programa Stella VI (Hulbert *et al.*, 2000) y para el ajuste del modelo y la obtención de la solución numérica se utilizo el programa Berkeey Madona 8.01 (Macey y Zanhnley, 2000).

4.15 Ajuste de los datos en base seca

Debido a que las muestras secas, cuando son expuestas al ambiente se humedecen (muestra parcialmente seca), se pesó 1 g de muestra(según tratamientos) y se coloco en una estufa de aire forzado a 105 °C durante 24 h para determinar la materia seca total. Posteriormente, todos los pesos de las muestras utilizados en los análisis bromatológicos y de degradación *in situ* fueron ajustados a 100% base seca.

V. RESULTADOS

5.1 Parámetros fermentativos

En relación, al pH, se encontró interacción ($P < 0.001$) entre los factores estudiados. El tratamiento que presentó el menor valor de pH fue 0% de Ca(OH)_2 a los 20 días de conservación (3.56), por el contrario, los tratamientos que tuvieron los mayores valores fueron 6 y 9% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación (12.90, 13.24, respectivamente) sin diferencias entre ellos (Figura 3, Cuadro A-1).

También hubo interacción entre los factores estudiados, en relación a la concentración de ácido láctico ($P < 0.001$). Siendo el tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 40 días de conservación, quien presentó el mayor valor con 6.35%. En contraste, el tratamiento 6% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación, reflejó el menor valor con (1.22%), (Figura 4, Cuadro A-1).

Con respecto, al contenido de NH_3 se presentó interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). En este caso el mayor valor se encontró en el tratamiento 3% de Ca(OH)_2 a los 40 días de conservación (8.72%). Por su parte, los menores valores se encontraron en los tratamientos 0, 3, 6, y 9% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación, así, como en los tratamientos 9% de Ca(OH)_2 a los 20, 40 y 60 días de conservación (0.24, 0.31, 0.22, 0.21, 0.22, 0.26 y 0.27% respectivamente) sin diferencia estadística entre ellos (Figura 5, Cuadro A-1).

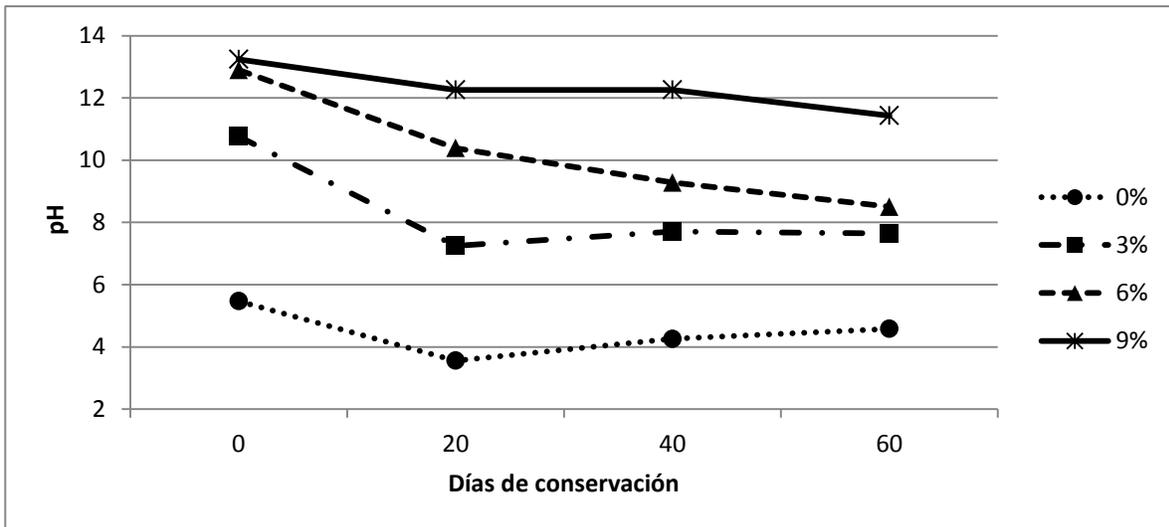


Figura 3. Efecto de niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el valor de pH

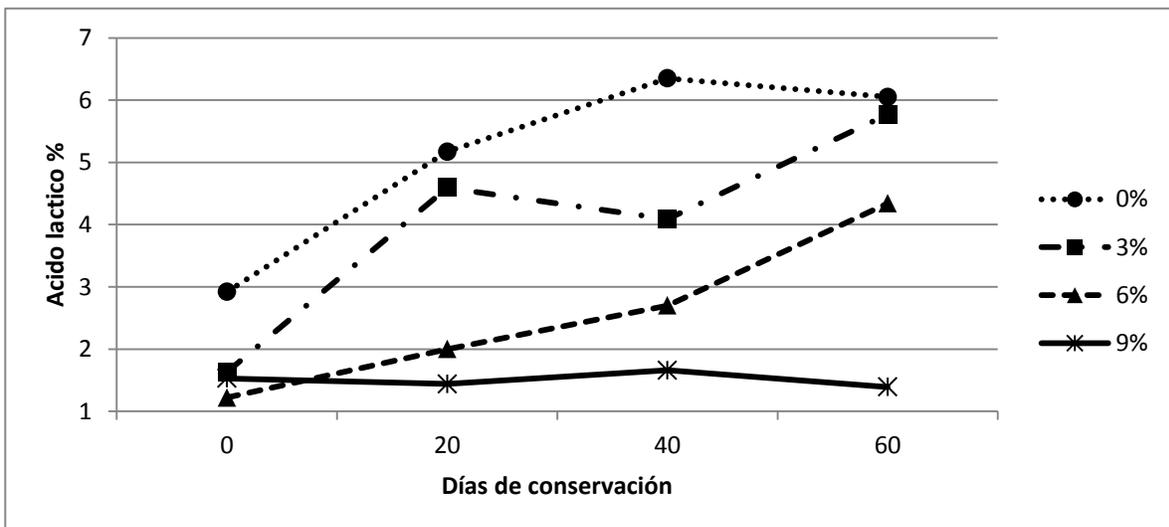


Figura 4. Efecto de niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de ácido láctico

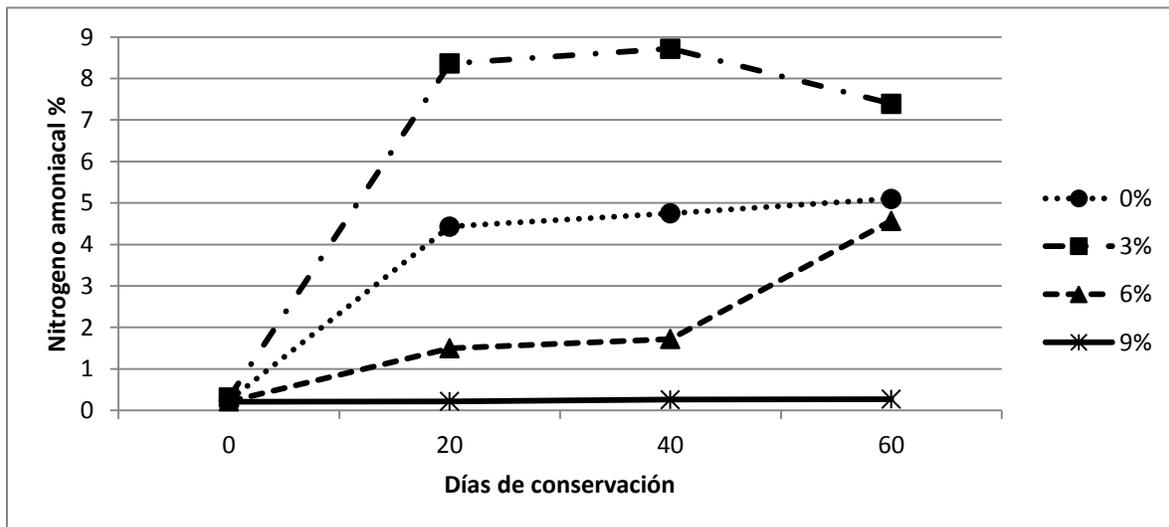


Figura 5. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de N-NH_3

5.2 Parámetros químicos

En relación, a la MS se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). Siendo, los tratamientos 6 y 9% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación, los que presentaron el mayor valor (64.33 y 64.30% respectivamente) sin diferencia entre ellos. En contraste, el tratamiento 0% Ca(OH)_2 a los 60 días de conservación, presentó el menor valor (56.67%), (Figura 6, Cuadro A-2).

Por su parte, el contenido de PC presentó interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). En este caso, los tratamientos 0% Ca(OH)_2 a los 20, 40 y 60 días de conservación, presentaron los mayores valores (15.93, 16.11 y 16.16% respectivamente) sin diferencia entre ellos. Lo contrario sucedió en el tratamiento 3% Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación con el valor de (10.48%), (Figura 7, Cuadro A-2).

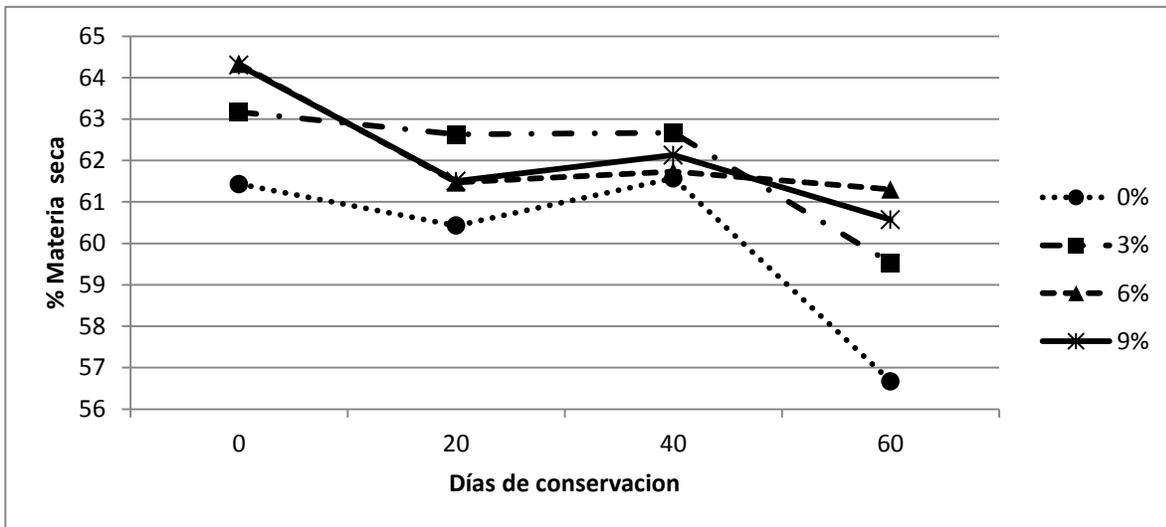


Figura 6. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de MS

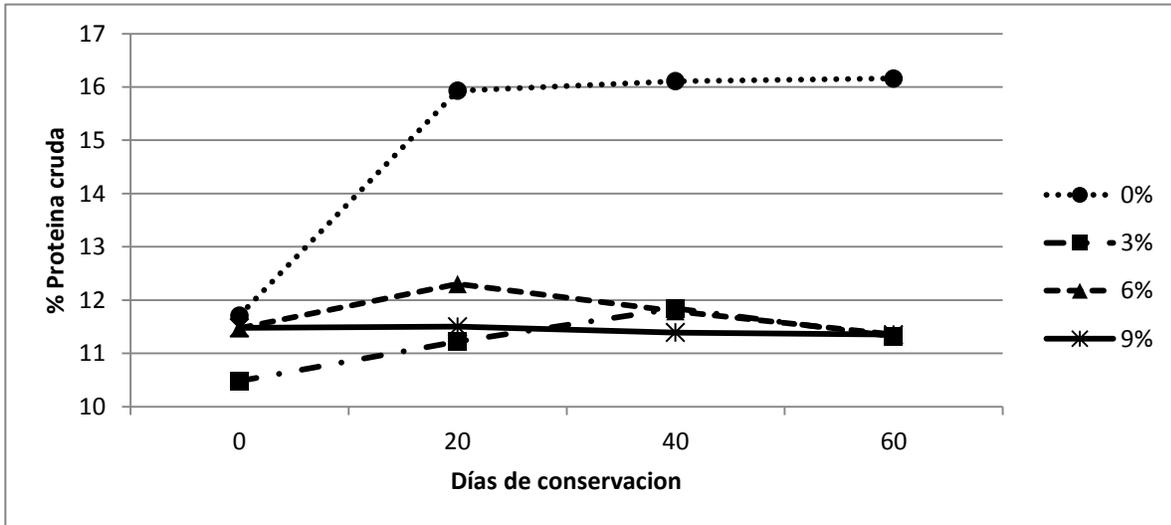


Figura 7. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de PC

Con lo que respecta, al contenido de cenizas se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). Presentando el mayor valor, el tratamiento 9% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación (35.89%). Por su parte, el tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación, presentó el menor valor (16.59%), (Figura 8, Cuadro A-3).

Referente, al contenido de MO, se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). El tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación, presentó el mayor contenido (83.41%). El menor contenido se presentó en el tratamiento 9% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación (64.11%), (Figura 9, Cuadro A-3).

En relación, al contenido de FDN se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). En este caso, el mayor valor se presentó en el tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación (61.31%). En contraste, el tratamiento 9% de Ca(OH)_2 a los 60 días de conservación, reflejó el menor valor (24.38%), (Figura 10, Cuadro A-4).

Por su parte, la variable CC presentó interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). Siendo, el tratamiento 9% de Ca(OH)_2 a los 60 días de conservación, quien presentó el mayor contenido (75.62%). El menor contenido, se presentó en el tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación (38.69%), (Figura 11, Cuadro A-4).

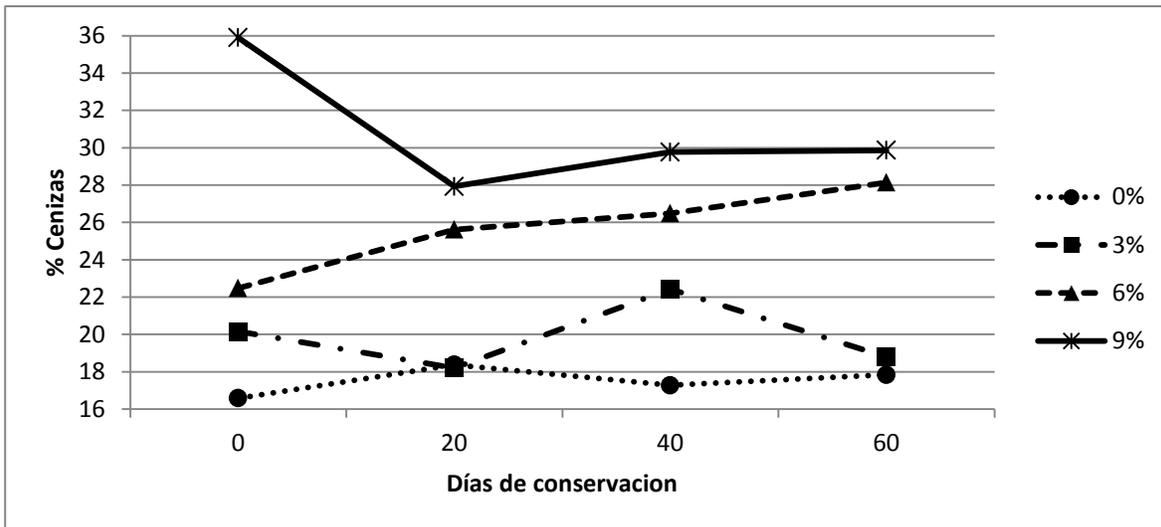


Figura 8. Efecto de niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de cenizas

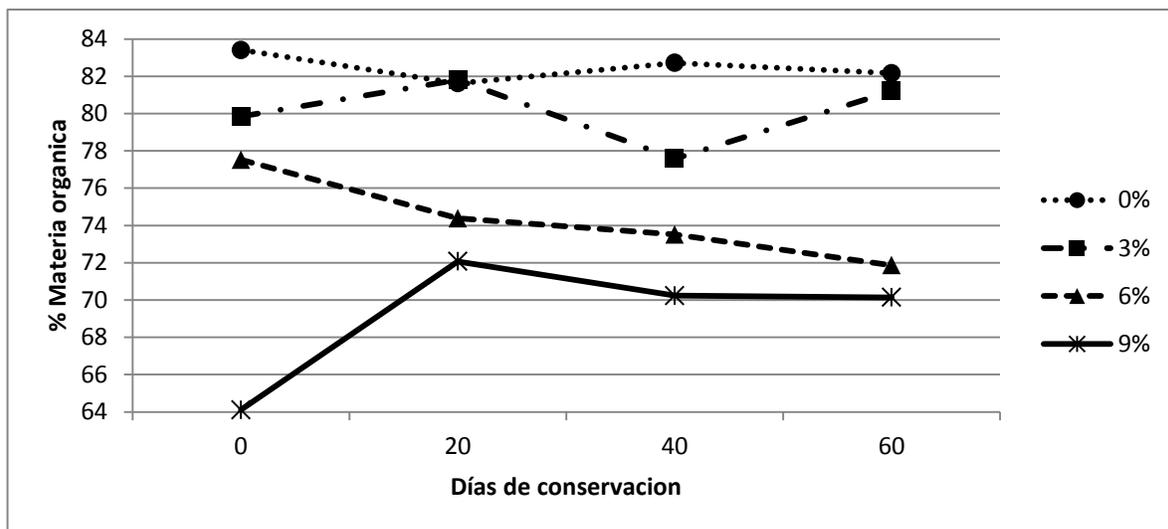


Figura 9. Efecto de niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de MO

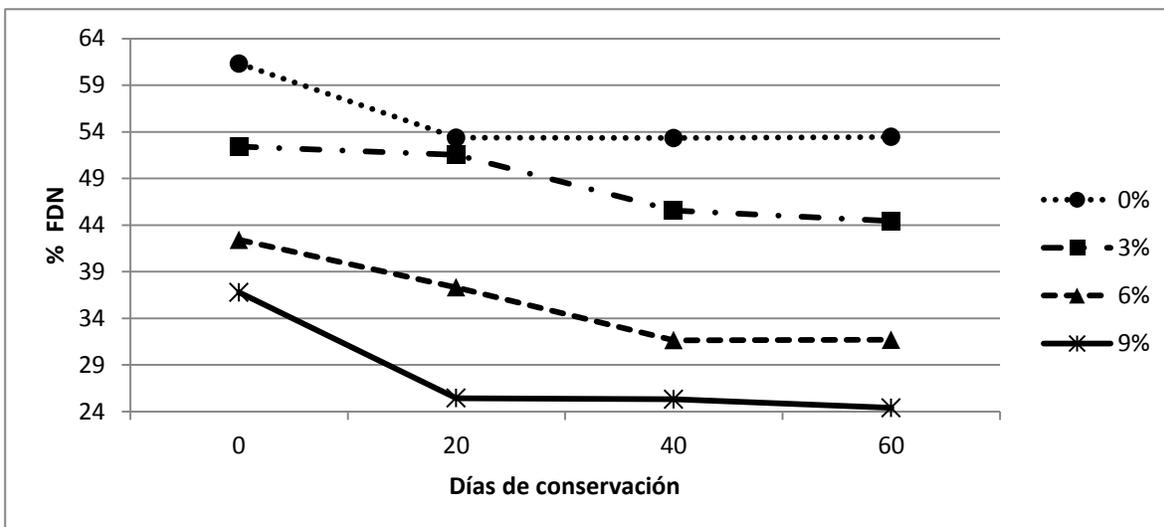


Figura 10. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de FDN

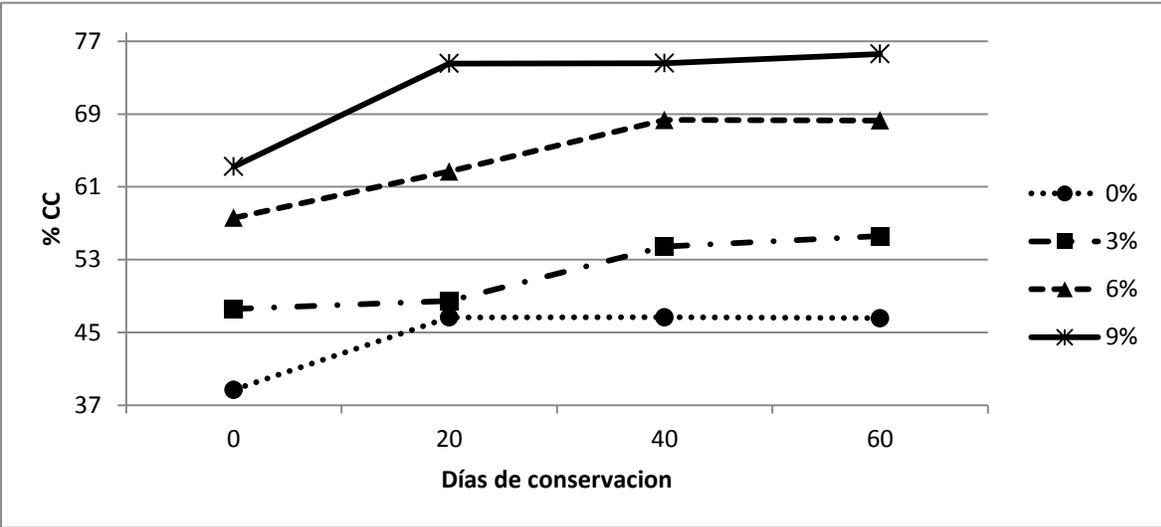


Figura 11. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido CC

Referente, al contenido de FDA se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). El mayor contenido se presentó en el tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación (33.34%). En contraste, el tratamiento 9% Ca(OH)_2 a los 60 días de conservación, presentó el menor valor (13.41%), (Figura 13, Cuadro A-5).

En cuanto, al contenido de hemicelulosa se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). En este caso el tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 0 días de conservación, presento el mayor contenido (27.97%). Por su parte, el menor contenido se encontró en los tratamientos 9% de Ca(OH)_2 a los 20 y 40 días de conservación (8.99 y 8.52%, respectivamente) sin diferencias entre ellos (Figura 14, Cuadro A-5).

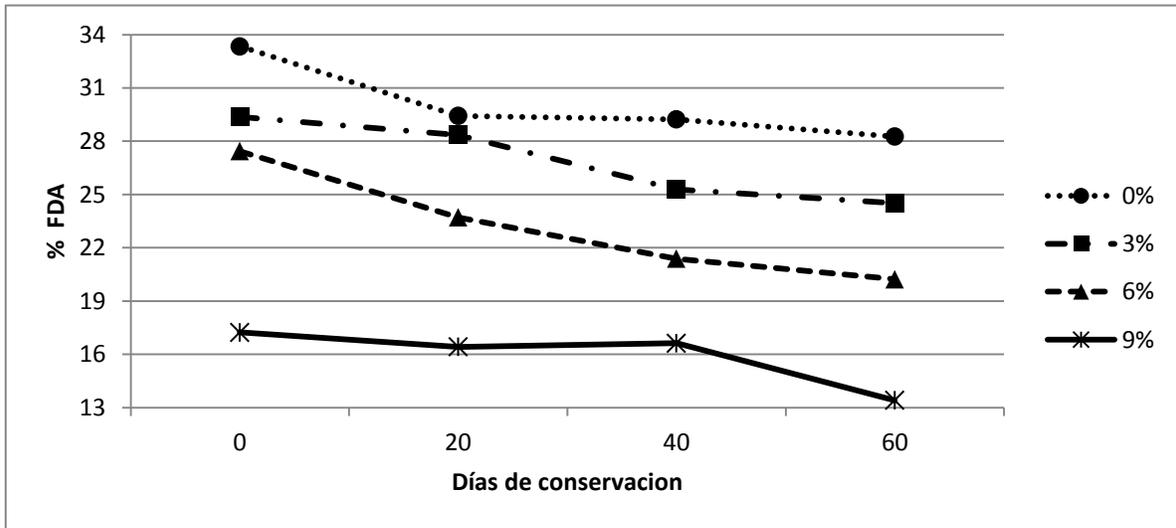


Figura 13. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en su contenido de FDA

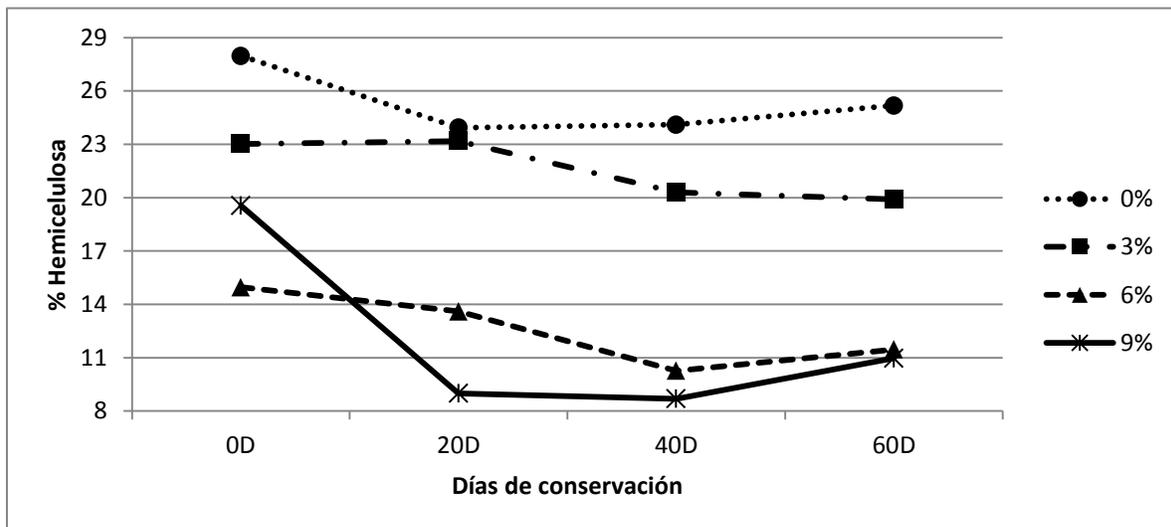


Figura 14. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en contenido de hemicelulosa

En relación a la DIMS, el efecto de la interacción de los tratamientos (T) y el tiempo de incubación (TI) resultó significativa al igual que los efectos de T y TI (T: $F=11173.68$, $P<0.0001$; TI: $F=66596.81$, $P<0.0001$; $T \times TI$: $F=383.23$, $P<0.0001$). En el Cuadro 9 se presentan las comparaciones múltiples para la interacción con los promedios de la DIMS para cada tiempo de incubación.

En el tiempo de incubación I (3:15 h) los mayores valores de DIMS se encontró en los tratamientos T12, T15 y T16, sin diferencia entre ellos; por el contrario, el T1 fue el que menor valor de DIMS presentó (Cuadro 9). Por su parte, en el tiempo de incubación II (7:15 h), III (12:30 h) y IV (19:45 h), los mayores valores de DIMS se observó en los tratamientos T15 y T16, sin diferencia entre ellos. Por el contrario, los tratamientos T1, T2, T8 presentaron los menores valores de DIMS a las 7:15 h, sin diferencia entre ellos, a las 12:30 h el que presentó el menor valor fue T1 y a las 19:45 h fueron los tratamientos T1 y T2, sin diferencia entre ellos (Cuadro 9).

Así mismo, en los tiempos de incubación V (31:45 h) y VI (78:45 h), los mayores valores de DIMS se encontraron en los tratamientos T14, T15 y T16, sin diferencia entre ellos. En contraste, el T1 presentó el menor valor de DIMS a las 31:45 h, y a las 78:45 h se observó en los tratamientos T3 y T4 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Degradación in situ de la MS (%) de los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar tratados con *Ca(OH)₂

Tratamientos	Horarios de incubación					
	3:15	7:15	12:30	19:45	31:45	78:45
T1 0-0	28.13 ^a	32.70 ^a	35.74 ^a	40.37 ^a	46.21 ^a	52.63 ^b
T2 0-20	34.28 ^c	33.11 ^a	39.40 ^b	41.15 ^a	50.25 ^c	54.43 ^c
T3 0-40	34.38 ^c	35.23 ^b	39.50 ^b	44.34 ^b	49.95 ^b	50.47 ^a
T4 0-60	32.50 ^b	36.33 ^b	40.83 ^c	43.33 ^b	48.31 ^b	51.09 ^a
T5 3-0	30.75 ^b	37.56 ^c	41.11 ^c	48.18 ^c	56.12 ^d	63.92 ^e
T6 3-20	35.37 ^c	35.83 ^b	41.22 ^c	48.94 ^c	59.23 ^e	64.05 ^e
T7 3-40	38.06 ^d	38.38 ^{cd}	42.44 ^d	48.74 ^c	60.38 ^e	66.71 ^f
T8 3-60	31.50 ^b	32.26 ^a	43.22 ^d	48.87 ^c	57.02 ^d	61.56 ^d
T9 6-0	32.64 ^b	39.21 ^d	46.20 ^e	52.26 ^d	66.38 ^f	75.69 ^g
T10 6-20	39.00 ^d	45.18 ^e	50.96 ^f	53.72 ^d	72.17 ^g	78.91 ^h
T11 6-40	40.87 ^e	47.79 ^f	51.02 ^f	58.38 ^f	76.43 ^h	83.68 ^j
T12 6-60	45.53 ^f	50.64 ^g	50.18 ^f	56.66 ^e	71.46 ^g	83.18 ^j
T13 9-0	40.85 ^e	47.80 ^f	54.12 ^g	56.75 ^e	75.35 ^h	80.72 ⁱ
T14 9-20	40.69 ^e	50.03 ^g	55.22 ^g	58.70 ^f	78.49 ⁱ	86.46 ^k
T15 9-40	46.96 ^f	52.49 ^h	58.13 ^h	61.26 ^g	79.45 ⁱ	86.46 ^k
T16 9-60	45.23 ^f	53.74 ^h	57.65 ^h	60.23 ^g	79.06 ⁱ	86.90 ^k
EE	±0.20 ^{***}	±0.20 [*]	±0.20 [*]	±0.20 ^{**}	±0.20 ^{***}	±0.20 ^{***}

Promedios con letras distintas en una misma columna difieren, prueba de Tukey (1953)

*P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

*Hidróxido de calcio

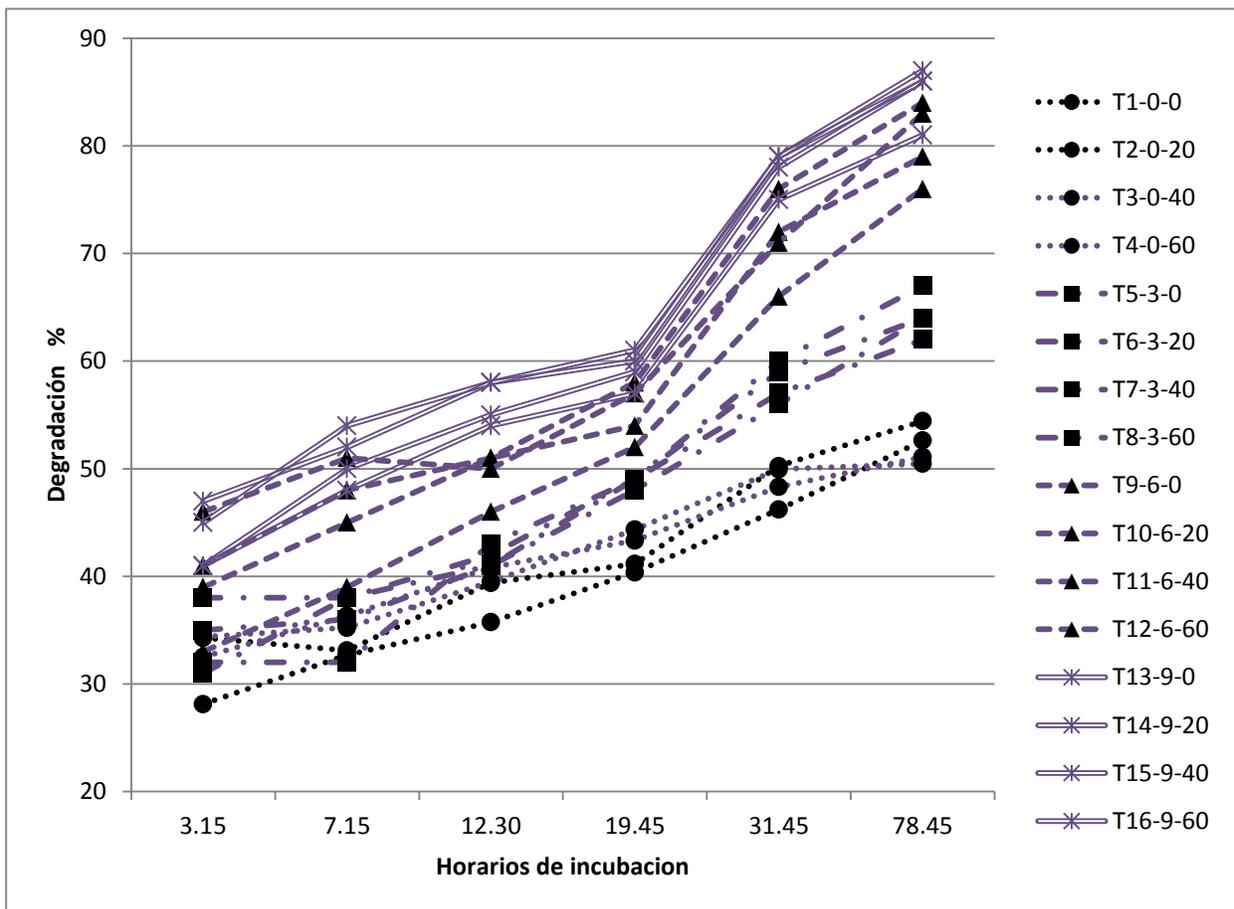


Figura 15. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIMS

En relación a la fracción soluble, el T1 tiene el menor valor (28.46%) y en los otros tratamientos, esta fracción, oscila entre 30.01% (T9) y 35.14% (T12). Por otro lado, la fracción insoluble potencialmente degradable, es inversamente proporcional a la fracción soluble, presentando el mayor valor el T1 (Cuadro 10). Así mismo, en el Cuadro 10, también se observa que las mayores tasas de degradación se encontraron en los tratamientos T14, T15 y T16 (alrededor del 3% por hora), seguido de los tratamientos T10, T11, T12 y T13 (alrededor del 2% por hora) y T5, T6, T7, T8 y T9 (alrededor del 1% por hora). Los valores más bajos se encontraron en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 (alrededor del 0.5% por hora).

Cuadro 10. Efecto de los niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación sobre la fracción soluble e insoluble potencialmente degradable y tasas de degradación de los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar

Parámetros				
Fracción %				
Tratamientos	*SO	*IPD	*Kd (h⁻¹)	Error
T1 0-0	28.46	71.54	0.0064	3.43
T2 0-20	30.90	69.10	0.0066	4.29
T3 0-40	32.62	67.38	0.0054	5.16
T4 0-60	32.28	67.72	0.0055	4.84
T5 3-0	30.30	69.70	0.0109	4.48
T6 3-20	31.66	68.34	0.0109	4.90
T7 3-40	32.52	67.48	0.0117	4.84
T8 3-60	30.49	69.51	0.0103	5.35
T9 6-0	30.01	69.99	0.0181	4.01
T10 6-20	32.56	67.44	0.0213	5.08
T11 6-40	32.19	67.81	0.0268	4.64
T12 6-60	35.14	64.86	0.0223	5.37
T13 9-0	33.21	66.79	0.0248	5.53
T14 9-20	31.95	68.05	0.0306	4.61
T15 9-40	34.41	65.59	0.0322	5.71
T16 9-60	33.69	66.31	0.0323	5.75

*SO= Soluble; *IPD= Insoluble potencialmente degradable; *Kd= Tasa de degradación (h⁻¹);
*Hidróxido de calcio

Al realizar la DIFDN a las 31:45 h de incubación se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). Siendo los tratamientos 9% de Ca(OH)_2 a los 40 y 60 días de conservación, los que presentaron la mayor degradación (48.60 y 46.51% respectivamente) sin diferencias estadística entre ellos. En contraste, los tratamientos 0% de Ca(OH)_2 a los 20, 40 y 60 días de conservación, presentaron la menor degradación (24.41, 23.88 y 22.14% respectivamente) sin diferencia entre ellos (Figura 16, Cuadro A-6).

En cuanto al contenido de la DIFDA en igual horario de incubación se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). Presentándose la mayor degradación en el tratamientos 9% de Ca(OH)_2 a los 40 día de conservación (49.60%). Por el contrario la menor degradación se encontró en el tratamiento 0% de Ca(OH)_2 a los 60 días de conservación (6.07%), (Figura 17, Cuadro A-6).

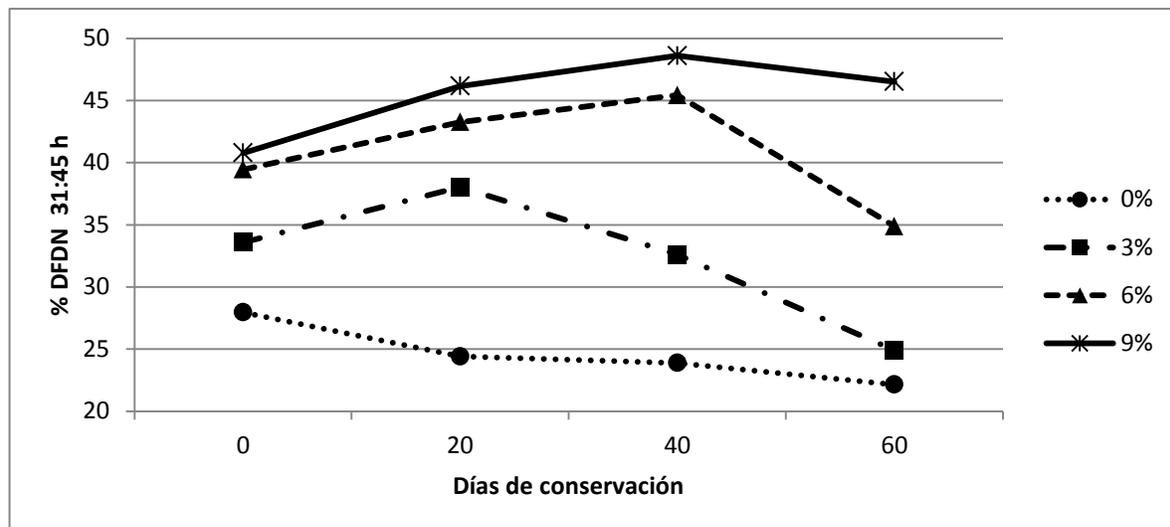


Figura 16. Efecto de niveles de Ca(OH)_2 y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIFDN

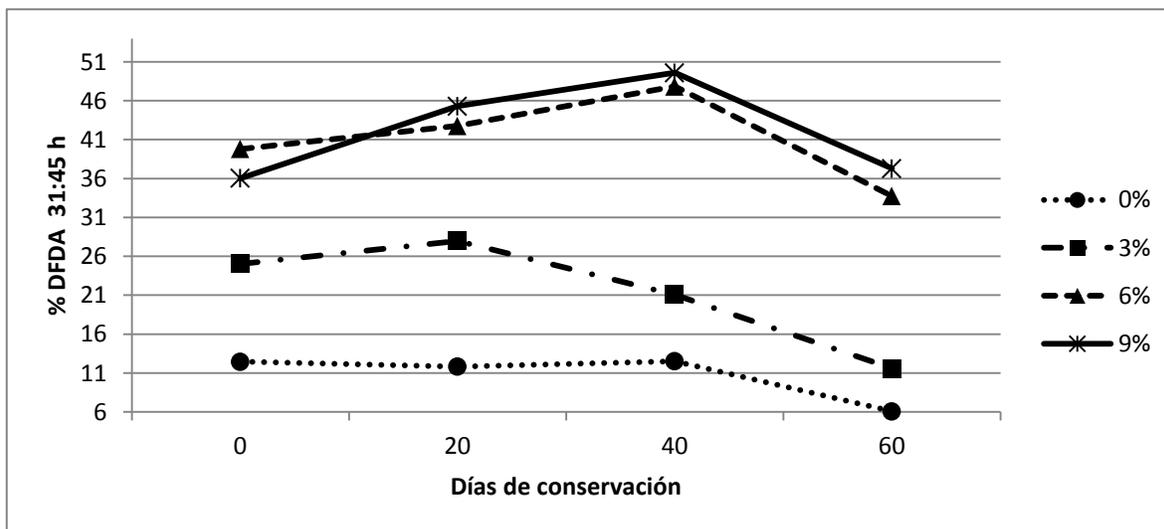


Figura 17. Efecto de niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIFDA

Con lo que respecta a la DIMO a las 31:45 h de incubación se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). En este caso, los tratamientos 9% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los 20, 40 y 60 días de conservación, presentaron la mayor degradación (78.25, 78.22 y 77.67% respectivamente) sin diferencia estadística entre ellos. Por el contrario, los tratamientos 0% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0 y 60 días de conservación, presentaron la menor degradación (42.61 y 43.07% respectivamente) sin diferencia entre ellos (Figura 18, Cuadro A-7).

En relación a la EM (Mcal/kg MS) en horario de incubación de 31:45 h se encontró interacción entre los factores estudiados ($P < 0.001$). Siendo, los tratamientos 6% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los 20 día de conservación y 9% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los 40 y 60 días de conservación, los que presentaron el mayor contenido (2.83, 2.85 y 2.81 respectivamente) sin diferencias entre ellos. Por su parte, los tratamientos 0% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los 0 y 60 días de conservación, presentaron los menores contenidos (1.54 y 1.56 respectivamente) sin diferencia estadística entre ellos (Figura 19, Cuadro A-7).

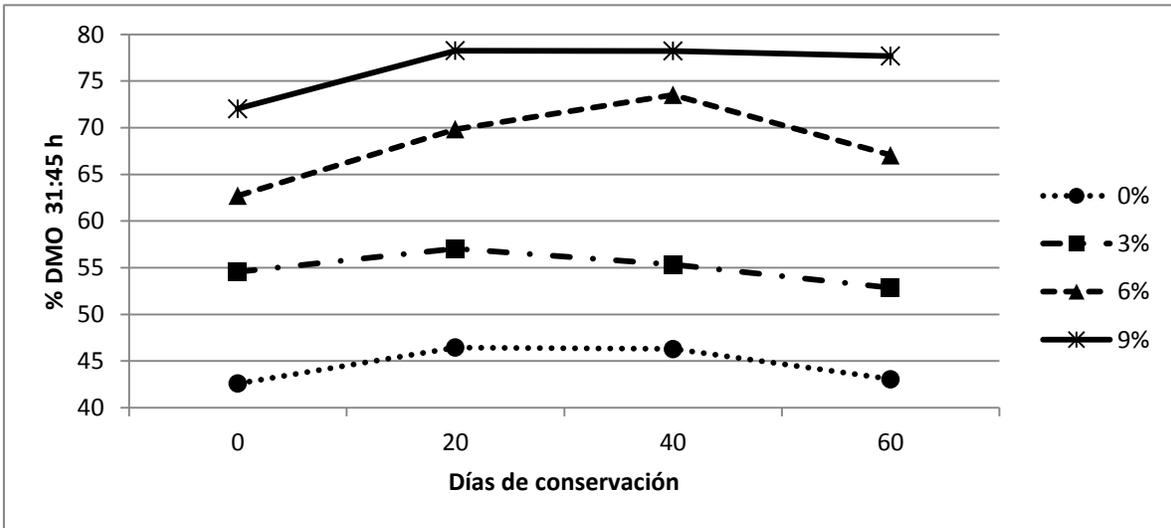


Figura 18. Efecto de niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIMO

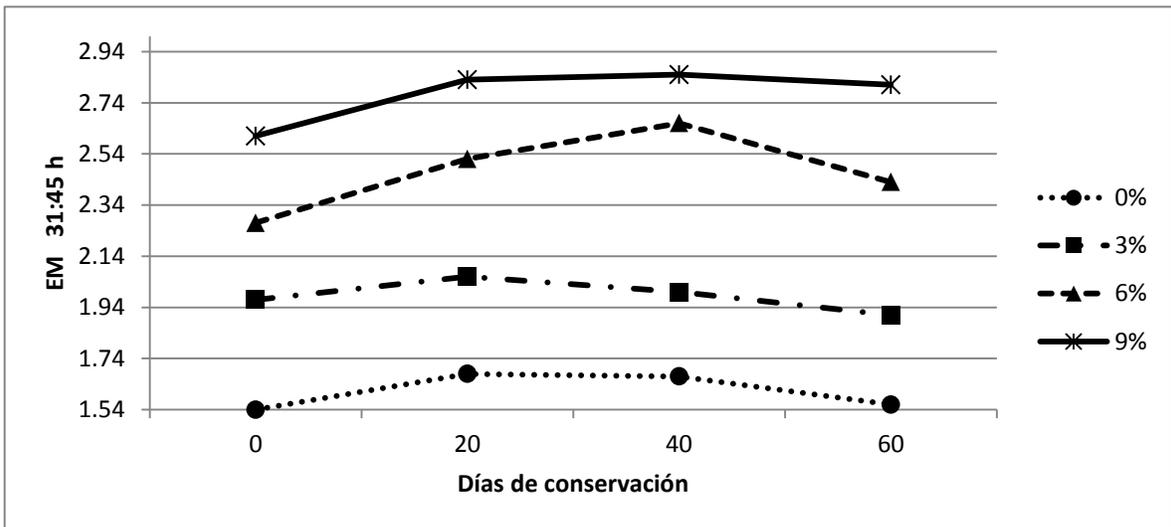


Figura 19. Efecto de niveles de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en valor de EM

VI. DISCUSION

En relación a los parámetros fermentativos, a pesar que la interacción fue significativa, en general, se encontró que el pH fue mayor a medida que se incrementó los niveles de Ca(OH)_2 , independiente de los días de conservación, esto mismo fue reportado por Cavali *et al.* (2010) en un estudio donde probaron niveles de óxido de calcio (0, 0.5, 1, 1.5 y 2%) en ensilaje de caña de azúcar. De igual forma se observó, que conforme transcurrieron los días de conservación, el pH disminuyó con respecto al día 0 y la concentración de ácido láctico aumentó, principalmente con los niveles 0, 3 y 6% de Ca(OH)_2 , sin embargo, esta tendencia no se reflejó con el nivel 9% de Ca(OH)_2 ya que no presentó diferencias estadísticas entre los días de conservación. La reducción del pH, se debió a una neutralización parcial del ambiente alcalino por los ácidos orgánicos formados, principalmente el ácido láctico, durante el proceso de fermentación (Pina *et al.*, 2009 y Molina, 1983).

Por otra parte, de manera general, se observó que en los tratamientos con 0, 3 y 6% Ca(OH)_2 , conforme transcurrió los días de conservación, la concentración de N-NH_3 aumentó, presentando los mayores valores con 3% de Ca(OH)_2 . Estos valores coinciden, con lo reportado por Bolsen *et al.* (1983) al ensilar paja de trigo tratadas con 5% de Ca(OH)_2 durante 60 días de conservación. Por otro lado, cuando se adiciono el 9% de Ca(OH)_2 no hubo diferencias estadísticas, entre los días de conservación estudiados para esta variable, presentando estos tratamientos, las menores concentraciones, los cuales fueron similares al tratamiento testigo (T1).

Rodríguez (2001) y Ramos *et al.* (2007), en estudios realizados con caña de azúcar fermentada, indicaron que existe una alta correlación entre las concentraciones de pH, amoníaco y ácido láctico; ya que a medida que se incrementa la concentración de amoníaco, el pH se eleva; y a medida que se incrementa la concentración de ácido láctico disminuye el pH.

Esta situación, pudiera estar influenciada, en menor o mayor grado, por la concentración de los ácidos grasos volátiles de cadena corta (acético, propiónico y butírico). Este comportamiento, se observó en nuestro estudio.

Por su parte, Bolsen *et al.* (1983), mencionan que un pH elevado, indica una fermentación restringida, lo que se refleja en una baja concentración de ácidos orgánicos y amoníaco; efectivamente, esto concuerda con los datos encontrados en los tratamientos donde se utilizó el 9% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en todos los tiempos de conservación.

Cavali *et al.* (2010), estudiaron las características fermentativas en silos de caña de azúcar tratadas con niveles óxido de calcio (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%), el pH inicial reportado fue de 4.8, 10.7, 11.5, 11.8 y 12 y el pH final de 3.4, 3.9, 4.3, 4.8 y 5.3%, respectivamente. Así mismo, el contenido de N-NH_3 inicial fue de 6.25, 7.97, 8.25, 7.63 y 8.96% y el final de 6.65, 11.0, 8.78, 7.20 y 3.62%, respectivamente. De acuerdo con la misma fuente, el incremento lineal del pH por efecto de los niveles de óxido de calcio, se debe a la naturaleza alcalina del material estudiado, también mencionan que valores elevados de pH y N-NH_3 no necesariamente indican una fermentación inadecuada con proliferación de bacterias indeseables; como se observa en ensilajes de otros forrajes o de caña de azúcar sin aditivos.

Con relación al contenido de MS, esta disminuyó conforme transcurrieron los días de conservación, independientemente de los niveles de Ca(OH)_2 , una tendencia similar reportó Freitas *et al.* (2007), lo anterior pudiera estar relacionado a la utilización de los carbohidratos solubles como fuentes energéticas de los procesos metabólicos de los lactobacilos, aunque también pudiera deberse a la pérdida de los AGV debido a la temperatura que se utilizó para el secado de las muestras. Cavali *et al.* (2010), mencionan que la disminución de la MS durante el ensilaje de la caña de azúcar, se debe principalmente por la producción de gases (CO_2) durante el proceso de fermentación. En este sentido, Rodríguez *et al.* (2001) al fermentar aeróbicamente mezclas de caña de azúcar y boniato reportó una disminución de la MS conforme se incrementó las horas de incubación e indicó que se debe a la acción microbiana, producto de la utilización de los carbohidratos en sus procesos metabólicos que generan agua, CO_2 y compuestos volátiles como los AGV.

Respecto, al porcentaje de PC se observó un incremento entre los 0 y 20 días de conservación en los niveles 0, 3 y 6% de Ca(OH)_2 , lo cual pudiera estar relacionado a la concentración de la PC por la disminución de la MS, similar efecto fue encontrado por Rodríguez *et al.* (2001). Por otra parte, cuando se adiciono el 9% de Ca(OH)_2 , no se encontró diferencias en el contenido de PC entre los días de conservación estudiados, lo cual pudiera estar relacionado a que, a este nivel de Ca(OH)_2 , hubo una fermentación restringida, indicado por los niveles de pH, ácido láctico y nitrógeno amoniacal encontrados en este estudio.

En relación al contenido de cenizas, a pesar de la interacción encontrada, se observó un aumento incremento lineal a medida que se adicionó los niveles de Ca(OH)_2 , independientemente de los días de conservación, esto pudiera estar relacionado al contenido de calcio que contiene el Ca(OH)_2 (70% de carbonato de calcio y 30% de agua). Similares resultados fueron reportados por Zaman y Owen (1995).

Por su parte, el contenido de FDN y FDA disminuyeron con la adición de los niveles de Ca(OH)_2 y los días de conservación estudiados, en general, los menores valores de FDN y FDA se encontró con los niveles de 6% de Ca(OH)_2 a los 40 días de conservación y al 9% de Ca(OH)_2 a partir de los 20 días de conservación, obteniendo este último los valores más bajos. La disminución lineal de la FDN y FDA por efecto de los niveles de Ca(OH)_2 estudiados al tiempo 0 de conservación, pudiera estar relacionado a la hidrólisis alcalina sobre la fracción fibrosa. Por otro lado, la disminución de la fracción fibrosa, durante los días de conservación en todos los niveles de Ca(OH)_2 estudiados, se pudo deber a que los lactobacilos utilizaron la hemicelulosa y celulosa solubilizada al inicio, por efecto del Ca(OH)_2 . En este sentido, Balieiro Neto *et al.* (2007), indicaron que el efecto del óxido de calcio sobre la fracción fibrosa del ensilaje de caña de azúcar se debió al rompimiento de los enlaces moleculares de tipo éster entre el ácido urónico y la hemicelulosa y celulosa. Por su parte, Cavali (2010) evaluó niveles de óxido de calcio (0, 0.5, 1, 1.5 y 2%) en ensilaje de caña de azúcar y encontró una disminución lineal de la fracción fibrosa por efecto de los niveles de óxido de calcio y mencionó que este efecto se debe al rompimiento de los enlaces éster entre los ácidos fenólicos y glucosídicos de la pared celular, exponiendo más la hemicelulosa y celulosa a los microorganismos.

Con respecto a la DIMS, el mayor porcentaje se encontró con la adición del 9% de Ca(OH)_2 a los 40 días de conservación en los horarios 3:15, 7:15, 12:30 y 19:45 h y en los horarios 31:45 y 78:45 h fue mayor a partir del día 20. Por otra parte, la DIFDN y DIFDA en forma general, presentaron las mayores degradaciones en los tratamientos a los que se les incluyó el 6 y 9% de Ca(OH)_2 a los 40 días de conservación, pero este efecto fue mayor con el 9% de Ca(OH)_2 , lo anterior pudiera estar relacionado también a la hidrólisis alcalina inicial sobre la fracción fibrosa.

El incremento en la degradación DIMS, DIFDN y DIFDA por la mayor inclusión del Ca(OH)_2 independientemente de los días de conservación, está relacionado también a la mayor solubilidad de la fracción soluble y la mayor tasa de degradación encontradas en este estudio. En este sentido, Cavali (2010) encontró también, que la fracción soluble del ensilaje de caña de azúcar, se incrementó linealmente con los niveles de óxido de calcio (0, 0.5, 1, 1.5 y 2%), así mismo, la degradación in vitro de la MS. En este sentido, Silva *et al.* (2004), observaron un aumento en la digestibilidad del bagazo de caña con la adición de Ca(OH)_2 , y concluyeron que ese aumento estuvo relacionado a la hidrólisis alcalina, por la ruptura de los enlaces intermoleculares de puente de hidrógeno, entre la celulosa y los componentes de la pared celular, tal efecto facilita la digestión de la celulosa y hemicelulosa por los microorganismos ruminales.

Los valores de EM encontrados con los tratamientos con 6 y 9% de Ca(OH)_2 en los diferentes días de conservación, están relacionados con la DIMO y son mayores a los pastos tropicales e incluso superior al ensilaje de sorgo (2.21 EM Mcal/kg MS) indicado por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2004).

VII. CONCLUSIONES

1. Los niveles de Ca(OH)_2 incrementan el pH independientemente de los días de conservación.
2. Los días de conservación, independientemente del nivel de Ca(OH)_2 disminuyen el pH.
3. La concentración de ácido láctico y nitrógeno amoniacal se incrementó con los días de conservación, con la adición de 0, 3 y 6% de Ca(OH)_2 .
4. Con el 9% de Ca(OH)_2 las concentraciones de ácido láctico y nitrógeno amoniacal, no cambian con respecto a los días de conservación.
5. El contenido de PC en todos los tratamientos estudiados, fue mayor al 11%
6. Los niveles de Ca(OH)_2 disminuyen la concentración de FDN y FDA.
7. Con 9% de Ca(OH)_2 a los 40 días de conservación se presentan la mayor DIFDN, DIFDA y DIMO.
8. A los 40 días de conservación, se presentan los mejores parámetros fermentativos y de valor nutritivo.
9. Los tratamientos que se les adicionó el 9% de Ca(OH)_2 aumentaron considerablemente su valor nutritivo, y por tales características pueden ser comparados con un pasto de mediana calidad.

VIII. RECOMENDACIÓN

Se recomienda, realizar una prueba de palatabilidad (o aceptación) con los niveles 6 y 9% de Ca(OH)_2

IX. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Off. Agric. Chem., Washington, D.C., U.S.A.
- Al-Masri, M.R. 2005. Nutritive value of some agricultural wastes as affected by relatively low gamma irradiation levels and chemical treatments. *Bioresource Technology*. 96, 1737-1741.
- Aguilar, N., Galindo, G.M., Fortanelli, J.M. y Contreras, C.S. 2009. ¿Por qué diversificar la agroindustria azucarera en México? GCG Georgetown University-Universia.3:1
- Amam P. 1993. Composition and structure of Cell wall Polysaccharides in Forages. In: Jung, H.G., Buxton, D.R., Hatfield, R.D., Ralph, J. (Eds.), *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA, pp. 183-198.
- Anvar, U. y Mazza, G. 2008. Lignin in straw of herbaceous crops. *Ind. CropsProd*. 28, 237-259.
- Aranda, I.E.M., Ruiz, P., Mendoza, G.D., Marcoff, C.F., Ramos, J.A. y Elias, A. 2004. Cambios en la digestión de tres variedades de caña de azúcar y sus fracciones de fibra. *Rev. Cubana Cienc. Agric*. 38:137
- Aránguiz, F.G. 2007. Las rastrojeras: Su reinserción en el ecosistema suelo y su uso en la alimentación del ganado. 1^{ra} Jornada Nacionales de cero labranza. Concepcion, Chile.
- ARC (Agricultural Research Council). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Farnham Royal, Common. Agric. Bur.
- Arguello, M. J.R. y Ortiz, G.E. 2002. Evaluación del efecto físico de tres niveles de urea (9, 11 y 13%) sobre la calidad nutritiva de la cascarilla de arroz molida. Tesis presentada para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo Generalista. Facultad de Desarrollo Rural. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Baleiro Neto, G., Siqueira, G.R., Reis, A.R., Nogueira, J.R., Piza, T.M. y Piza, T.A.P. 2007. Calcium oxide as additive on the sugarcane ensilage. *Rev. Bras. Zootec*. 36: 1231-1239.

- Barros, R.J., Santiago, R., Malvar, A.R. y Jung, H.G. 2012. Chemical composition and cell wall polysaccharide degradability of pith and rind tissues from mature maize internodes. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172, 226-236.
- Bolsen, K.K., Tetlow, R.M. y Wilson, R.F. 1983. The effect of calcium and sodium hydroxides and of sodium acrylate on the fermentation and digestibility in vitro of ensiled whole-crop wheat and barley harvested at different stages of maturity. *Anim. FeedSci. Technol.* 9: 37-47.
- Calderón, M. 2002. Como manejar los residuos agrícolas. *Chile Forestal.* 294: 26-29.
- Cavali, J., Pereira, G.O., Valadares, C.S., Santos, E.M., Pinto de Carvalho, G.G., Santos, M.V., Porto, O.M. y Rodríguez, F.J. 2010. Bromatological and microbiological characteristics of sugarcane silages treated with calcium oxide. *Rev. Bras. Zootec.* 39 (7): 1398-1408.
- Chaudhry, A.S. 1998. In vitro in sacco digestibility of wheat Straw treated with calcium oxide and sodium hydroxide alone or with hydrogen peroxide. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74, 301-313.
- Cherney, D.I.R. 2000. Characterization of forages by chemical analysis. En: forage evaluation in Ruminant Nutrition. Givens, D.J., Owen, E., Axford, R. CAB International.
- Conrad, J. H., Fiorito, M. I. y McDowell, L. R. 1990. Producción 2000 kilogramos de carne vacuna utilizando una hectárea de caña de azúcar. Conferencia Internacional sobre Ganadería en los Trópicos. Centro de Agricultura Tropical y Servicio de Extensión de Florida, Universidad de Florida. Gainesville, Florida. Pp: B-93-100.
- Elías, A. y Herrera, F.R. 2010. Producción de alimento para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos con el empleo de Microorganismos Eficientes Benéficos Activados (MEBA). Vitafert. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.
- Elizondo, E.I. 1998. Evaluación de tratamientos alcalinos sobre la calidad nutricional de subproductos lignocelulosicos. Tesis de Doctorado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. División de Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias. Universidad de Colima.

- Escobar, A. y Parra, R. 2000. Utilización de los residuos agrícolas fibrosos en la alimentación animal. Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, UCV, Informe anual. Maracay.
- Estrada, A.J. 2011. Estrategias de incorporación de porcinaza en ensilajes para suplementación de bovino. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Colombia.
- FAO. 2010<<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> /Consultado: 23 de Abril de 2012/
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2004. <<http://www.fundacionfedna.org/forrajes/ensilado-de-sorgo>> /Consultado: 20 de Junio de 2012/
- Freitas, A.W.P., Rocha, F.C., Fagundes, J.L. y Fonseca, R. 2007. Nutritional quality of sugar cane treated with calcium oxide. J. Anim. Sci. 85(Suppl.1), 347.
- Freitas, A.W., Pereira, J.C., Rocha, C.F., Detmann, E., Ribeiro, M.D., Costa, M.G. y De Paula, F.L. 2006. Characteristics of sugarcane silage treated with bacterial inoculant, sodium hydroxide or soybean crop residue. Rev. Bras. Zootec. 35(1): 48-59.
- Gómez, V.A. 2003. Degradación de los componentes celulares de gramíneas forrajeras con la adición de enzimas fibrolíticas y la respuesta productiva de bovinos en pastoreo. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México.
- Gómez C.H., M.A. Tewolde y J.T. Nahed. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. Arch. Latinoam. Prod. Anim., 10(3): 175-183.
- Hartley, R.D. y Morrison, W.H. 1991. Monomeric and dimeric phenolic acids released from cell walls of grasses by sequential treatment with sodium hydroxide. J. Sci. Food Agric. 55, 265-237.
- Hassoun, P., Fulcheri, C. y Nabeneza, S. 2002. Feeding dairy heifers untreated or urea-treated fibrous sugarcane residues: effect on dry matter intake, growth, and metabolic parameters. Anim. Feed. Sci. Technol. 100, 31-41.

- Hernández, C.J. 2010. Elaboración y caracterización de un aditivo biológicamente activo a través de una fermentación en estado líquido. Tesis de Maestría en Ciencia. Colegio de Postgraduados.Campus, Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- Hulbert, L., Peterson, S., Wallis, J. y Richmond, B. 2000. Stella research software. Hanover (USA): High Performance Systems Inc.
- INEGI. 2010 <<http://www.inegi.gob.mx>>/Consultado: 22 Abril de 2012/
- Jung, H., Samac, D., y Sarath, G. 2012. Modifying crops to increase cell wall digestibility.Plants Science.185, 65-77
- Kumar, R. y Wyman, C.E. 2009. Access of cellulase and lignin for poplar solids produced by leading pretreatment technologies. Biotechnol. Prog. 25, 807-819.
- Macey, R., Oster, G. y Zanhnley, T. 2000.Berkeley user's guide (version 8.01).California. University of California. USA.
- Martín, P.C. 2005. El uso de la caña de azúcar para la producción de carne y leche. Rev. Cubana Cienc. Agric. Tomo 39, Numero especial.
- Martín, P.C. 2004. La alimentación del Ganado con Caña de Azúcar y sus Subproductos. Editorial EDICA, La Habana.
- Martín, P.C., Rodriguez, D., Jordan, H., Vera, A.M. y Alfonso, F. 2002. Diferentes proporciones de harina de caña en raciones integrales para la finalización de toros Cebú. Foro Internacional La caña de azúcar y sus derivados en la producción de leche y carne, La Habana.
- Miléo, P.C., Mulinari, D.R., Baptista, C.A., Rocha, G.J. y Goncalves, A.R. 2011. Mechanical Behaviour of Polyurethane from Castor oil Reinforced Sugarcane Straw cellulose composites. Procedia Engineering. 10, 2068-2073.
- Molina, E., Boza, J. y Aguilera, J.F. 1983. Nutritive value for ruminants of sugar cane bagasse ensiled after spray treatment with different levels of NaOH. Anim. Feed Sci. Technol. 9, 1-17.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y., Holtzapple, M. y Ladisch, M. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. Biores. Technol. 96, 673-686.

- Nurfeta, A., Tolera, A., Eik, L.O. y Sundstol, F. 2009. Effect of ensent (Enseteventricosum) leaf supplementation of feed intake, digestibility, nitrogen utilization and body weight gain sheep fed untreated or urea and calcium oxide-treated wheat straw. *Livestock Science*. 122, 134-142.
- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clin. Chem*. 17:297-304.
- Montgomery, D.C. 2004. *Diseño y análisis de experimentos*. 2ª Ed. Limusa Wiley, México, D.F.
- Ojeda, F., Cáceres, O., Espererance, M. 1991. *Conservación de forrajes*. Ministerio de educación superior. Ed. Pueblo y Educación 80 p.
- Ørskov, E.R., Hovell, F.D. y Mould. 1980. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. *Prod. Anim. Trop.* 5: 195-213
- Pérez, P., Rojo, R., Álvarez, A., García, J. 2003. *Necesidades de investigación y transferencia de la cadena de bovino de doble propósito en el estado de Veracruz*. Fundación Produce Veracruz. Colegio de Postgraduado. 170 p.
- Pina, D.S., Tedeschi, L.O., Valadares, S.C., Azevedo, J.A., Detmann, E. y Anderson, R. 2009. Influence of calcium oxide level and time of exposure to sugarcane on *in vitro* and *in situ* digestive kinetics. *Anim. FeedSci. Technol.* 153, 101-112.
- PRONAC (2007). Programa Nacional de la Agroindustria de la caña de azúcar. Gobierno Federal en <<http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/discursos/2007/abril/Pronac.pdf>> /Consultado: 25 de Mayo de 2012/
- Ramírez, R., Ramírez, R.G. y López, F. 2002. Factores estructurales de la pared celular que afectan su digestibilidad. *Ciencia UANL*. 5:180
- Ramos, J.A., Elias, A. y Herrera, F. 2006. Procesos para la producción de un alimento energético-proteico para animales. Efecto de cuatro fuentes energéticas en la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 40:1

- Robles, A.N. 2007. Desarrollo de un modelo conceptual para la simulación matemática de ensilados en el trópico mexicano. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- Rodríguez, Z., Boucourt, R., Elías, A. y Madera, M. 2001. Dinámica de fermentación de mezclas de caña (*Saccharum officinarum*) y boniato (*Ipomea batata Lam.*). Rev. Cubana Cienc. Agric. 35:147.
- Rotger, C.A. 2006. Fermentación ruminal, degradación proteica y sincronización energía-proteína en terneras en cebo intensivo. Tesis para obtener el grado de Doctor en Producción Animal. Departamento de Ciencia Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.
- Roque, R., Sosa, E., y Gómez, E. 2002. “La caña de azúcar” una opción para la sostenibilidad de la unidad productiva. En: Foro Internacional “La caña de azúcar y sus derivados en la producción de leche y carne. La Habana, Cuba.
- Salgado, G.S., Aranda, I.E., Castelán, E.M., Ortiz, L.H., Palma, L.D., Gómez, M.A. y Córdova, S.S. 2011. Rendimiento de paja en la cosecha mecanizada de caña de azúcar en Tabasco, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 10 p. (en prensa).
- Silva, V.M., Pereira, V.L. y Lima, G.S. 2004. Producción, conservación y utilización de alimentos para caprinos y ovinos. <<http://www.ipa.br/OUTR/CAPR/teproag.htm>> /Consultado: 07 de Mayo de 2012/.
- SIGMA. 1990. Lactate, quantitative, enzymatic determination of lactate in whole blood at 340 nm (Procedure No. 826-uv) USA. 31 p.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2010 <<http://www.siap.gob.mx>>/ Consultado: 27 de Abril de 2012/
- Software R, 2009. Foundation for statistical computing, versión 2.10.1.
- Sun, X., Andrew, I., Joblin, K., Harris, P., McDonald, A. y Hoskin, S. 2006. Polysaccharide compositions of leaf cell walls of forages chicory (*Cichorium intybus L.*) Plant. Science. 170, 18-27.

- Stapoint, Inc. 2007.STATGRAPHICS Centurion XV version 15.2.06.<<http://www.statgraphics.com>>
- Tukey, J. 1953. *The Problem of Multiple Comparisons*. Unpublished manuscript. Princeton University
- Urdaneta, J. 2005. La caña de azúcar una opción para el ganadero. En: Manual de ganadería de doble propósito. Fundación GIRARZ. Ed. Astro Data. Maracaibo, Venezuela. P 231-235.
- Valenciaga, D. y Chongo, B. 2004. La pared celular: Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. Rev. Cubana Cienc. Agric. 38:4
- Van Soest, P. J., Robertson, J. P. & Lewis, B. A. 1991. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. J. Dairy Sci. 74:3583 – 3597
- Vargas, V.L. 2012.Datos no publicados.
- Wang, Z., Ruyu, L., Xu, J., Marita, J.M., Hatfield, D.R., Qu, R. y Cheng, J.J. 2012.Sodium hydroxide pretreatment of genetically modified switchgrass for improved enzymatic release of sugars. Bioresour. Technol. 110, 364-370.
- Williams, K. 2003. The physiological and morphological effects of grazing on grasses.<<http://www.grc.uri.edu/programs/2003.hlm>>/Consultado: 28 de Abril de 2012/.
- Zaman, M.S. y Owen, E. 1995. The effect of calcium hydroxide and urea treatment of barley straw on chemical composition and digestibility in vitro. Anim. FeedSci. Technol. 51, 165-171.

X. ANEXO

Cuadro A- 1. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el pH, contenido de ácido láctico y N-NH₃

Niveles Ca(OH) ₂ %	Conservación (días)	pH	Acido láctico, %	N-NH ₃ , %
0	0	5.47 ^h	2.92 ^f	0.24 ^h
0	20	3.56 ^j	5.17 ^c	4.43 ^f
0	40	4.26 ⁱ	6.35 ^a	4.75 ^e
0	60	4.58 ⁱ	6.05 ^b	5.10 ^d
3	0	10.76 ^d	1.63 ^h	0.31 ^h
3	20	7.25 ^g	4.59 ^d	8.36 ^b
3	40	7.71 ^g	4.09 ^e	8.72 ^a
3	60	7.65 ^g	5.77 ^b	7.39 ^c
6	0	12.90 ^a	1.22 ⁱ	0.22 ^h
6	20	10.39 ^d	2.00 ^g	1.50 ^g
6	40	9.28 ^e	2.70 ^f	1.72 ^g
6	60	8.50 ^f	4.34 ^{de}	4.57 ^{ef}
9	0	13.24 ^a	1.53 ^h	0.21 ^h
9	20	12.26 ^b	1.44 ^{hi}	0.22 ^h
9	40	12.26 ^b	1.66 ^h	0.26 ^h
9	60	11.43 ^c	1.39 ^{hi}	0.27 ^h
		EE±0.0035***	EE±0.0019***	EE±0.0019***

abcdefghij Medias con diferentes superíndice en la misma fila difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

***P<0.001

Cuadro A- 2. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada en el contenido de MS y PC

Niveles Ca(OH) ₂ %	Conservación (días)	Materia seca, %	Proteína cruda, %
0	0	61.43 ^{de}	11.71 ^{bcd}
0	20	60.43 ^g	15.93 ^a
0	40	61.57 ^{de}	16.11 ^a
0	60	56.67 ⁱ	16.16 ^a
3	0	63.17 ^b	10.48 ^e
3	20	62.63 ^{bc}	11.22 ^d
3	40	62.67 ^{bc}	11.84 ^{bc}
3	60	59.53 ^h	11.32 ^{cd}
6	0	64.33 ^a	11.47 ^{cd}
6	20	61.47 ^{de}	12.30 ^b
6	40	61.73 ^{de}	11.79 ^{bcd}
6	60	61.30 ^{ef}	11.35 ^{cd}
9	0	64.30 ^a	11.48 ^{cd}
9	20	61.50 ^{de}	11.50 ^{cd}
9	40	62.13 ^{cd}	11.39 ^{cd}
9	60	60.57 ^{fg}	11.35 ^{cd}
		EE±0.0054***	EE±0.0041***

abcdefghi Medias con diferentes superíndice en la misma fila difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

***P<0.001

Cuadro A- 3. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el contenido de cenizas y MO

Niveles Ca(OH) ₂ %	Conservación (días)	Cenizas, %	Materia orgánica, %
0	0	16.59 ^l	83.41 ^a
0	20	18.38 ^{hi}	81.62 ^{de}
0	40	17.28 ^k	82.72 ^b
0	60	17.84 ^j	82.16 ^c
3	0	20.16 ^g	79.84 ^f
3	20	18.20 ^{ij}	81.80 ^{cd}
3	40	22.42 ^f	77.58 ^g
3	60	18.80 ^h	81.20 ^e
6	0	22.48 ^f	77.52 ^g
6	20	25.62 ^e	74.38 ^h
6	40	26.49 ^d	73.51 ⁱ
6	60	28.14 ^c	71.86 ^j
9	0	35.89 ^a	64.11 ^l
9	20	27.93 ^c	72.07 ^j
9	40	29.77 ^b	70.23 ^k
9	60	29.86 ^b	70.14 ^k
		EE±0.0036***	EE±0.0036***

abcdefghijkl Medias con diferentes superíndice en la misma fila difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

***P<0.001

Cuadro A- 4. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el contenido de FDN y CC

Niveles Ca(OH) ₂ %	Conservación (días)	Fibra detergente neutro, %	Contenido celular, %
0	0	61.31 ^a	38.69 ^k
0	20	53.36 ^b	46.64 ^j
0	40	53.33 ^b	46.67 ^j
0	60	53.44 ^b	46.56 ^j
3	0	52.40 ^c	47.60 ⁱ
3	20	51.53 ^d	48.47 ^h
3	40	45.57 ^e	54.43 ^g
3	60	44.42 ^f	55.58 ^f
6	0	42.40 ^g	57.60 ^e
6	20	37.31 ^h	62.69 ^d
6	40	31.64 ⁱ	68.36 ^c
6	60	31.69 ⁱ	68.31 ^c
9	0	36.77 ^h	63.23 ^d
9	20	25.44 ^j	74.56 ^b
9	40	25.31 ^j	74.69 ^b
9	60	24.38 ^k	75.62 ^a
		EE±0.0051***	EE±0.0051***

abcdefghijk Medias con diferentes superíndice en la misma fila difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

***P<0.001

Cuadro A- 5. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en el contenido de FDA y hemicelulosa

Niveles Ca(OH) ₂ %	Conservación (días)	Fibra detergente acida, %	Hemicelulosa, %
0	0	33.34 ^a	27.97 ^a
0	20	29.43 ^b	23.93 ^c
0	40	29.23 ^b	24.10 ^c
0	60	28.26 ^c	25.18 ^b
3	0	29.37 ^b	23.02 ^d
3	20	28.35 ^c	23.18 ^d
3	40	25.28 ^e	20.29 ^e
3	60	24.51 ^f	19.91 ^e
6	0	27.44 ^d	14.96 ^f
6	20	23.71 ^g	13.60 ^g
6	40	21.38 ^h	10.26 ⁱ
6	60	20.23 ⁱ	11.46 ^h
9	0	17.23 ^j	19.55 ^e
9	20	16.44 ^k	8.99 ^j
9	40	16.62 ^{jk}	8.69 ^j
9	60	13.41 ^l	10.97 ^{hi}
		EE±0.0051***	EE±0.0051***

abcdefghijkl Medias con diferentes superíndice en la misma fila difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

***P<0.001

Cuadro A- 6. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIFDN y DIFDA a las 31:45 h de incubación ruminal

Niveles Ca(OH) ₂ %	Conservación (días)	Degradación Fibra Detergente Neutro, %	Degradación Fibra Detergente Acida, %
0	0	27.95 ^g	12.45 ^k
0	20	24.41 ^{hi}	11.83 ^k
0	40	23.88 ^{hi}	12.52 ^k
0	60	22.14 ⁱ	6.07 ^l
3	0	33.58 ^f	25.03 ⁱ
3	20	38.03 ^e	27.98 ^h
3	40	32.60 ^f	21.06 ^j
3	60	24.89 ^h	11.60 ^k
6	0	39.45 ^{de}	39.79 ^e
6	20	43.26 ^c	42.76 ^d
6	40	45.42 ^{bc}	47.84 ^b
6	60	34.88 ^f	33.75 ^g
9	0	40.78 ^d	36.03 ^f
9	20	46.16 ^b	45.30 ^c
9	40	48.60 ^a	49.60 ^a
9	60	46.51 ^{ab}	37.29 ^f
		EE±0.0157***	EE±0.0114***

abcdefghijkl Medias con diferentes superíndice en la misma fila difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

***P<0.001

Cuadro A- 7. Efecto de niveles de Ca(OH)₂ y días de conservación en los residuos de la cosecha mecanizada de caña de azúcar en la DIMO y EM a las 31:45 h de incubación ruminal

Niveles Ca (OH) ₂ %	Conservación (días)	Degradación Materia Orgánica, %	Energía metabolizable (Mcal/kg MS)
0	0	42.61 ^k	1.54 ^k
0	20	46.46 ^j	1.68 ^j
0	40	46.30 ^j	1.67 ^j
0	60	43.07 ^k	1.56 ^k
3	0	54.55 ^h	1.97 ^h
3	20	57.06 ^g	2.06 ^g
3	40	55.33 ^h	2.00 ^h
3	60	52.86 ⁱ	1.91 ⁱ
6	0	62.72 ^f	2.27 ^f
6	20	69.84 ^d	2.52 ^d
6	40	73.51 ^b	2.66 ^b
6	60	67.05 ^e	2.43 ^e
9	0	72.04 ^c	2.61 ^c
9	20	78.25 ^a	2.83 ^a
9	40	78.22 ^a	2.85 ^a
9	60	77.67 ^a	2.81 ^a
		EE±0.0093***	EE±0.00034***

abcdefghijk Medias con diferentes superíndice en la misma fila difieren a P<0.05 (Tukey 1953).

***P<0.001