



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

***CAMPUS* TABASCO**

**PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA
EN EL TRÓPICO**

**EVALUACIÓN DEL TEJIDO ADIPOSO DE
TORETES EN PASTOREO FINALIZADOS CON
ENSILADO DE CAÑA DE AZÚCAR
(*Saccharum officinarum L.*)**

MVZ. JOSÉ MANUEL CARO HERNÁNDEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO**

JULIO, 2007

La presente tesis titulada: **EVALUACIÓN DEL TEJIDO ADIPOSO DE TORETES EN PASTOREO FINALIZADOS CON ENSILADO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)**, realizada por el alumno **José Manuel Caro Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular señalado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

PROGRAMA EN:
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO.

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. EMILIO M. ARANDA IBÁÑEZ

ASESOR


DR. DAVID HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

ASESOR


DR. SALVADOR HERNÁNDEZ DAUMÁS

ASESOR


DR. MARIO A. COBOS PERALTA

H. Cárdenas, Tabasco, Julio de 2007.

DEDICATORIAS

A Dios

Por haberme permitido llegar hasta este segmento de mi vida, por lo espléndido que siempre ha sido conmigo, aportándome salud y amor.

A mis Padres

Lourdes y Manuel

Por todo el apoyo constante que durante toda mi vida me han brindado, por sus consejos y valores inculcados, valores como la responsabilidad, constancia y humildad. Por enseñarme a siempre luchar para superarme y no rendirme hasta llegar a la meta.

A mí amada Esposa

Nayelly

Por creer que era posible alcanzar esta meta, por su constante apoyo a mi lado día con día y por formar parte de mi vida, es una persona a la cual le debo una gran admiración por su entrega y dedicación a lo que se propone.

AGRADECIMIENTOS

Hace mucho que esperaba ver este momento, el momento de culminar una fase más de mi vida y poder expresar lo agradecido que estoy con todos los que hicieron posible esto y decirles:

“ G R A C I A S ”

A **Díos**, por dejarme llegar lejos para cumplir mis anhelos, por darme la oportunidad de conocer nuevas horizontes y amistades.

A mis padres **Manuel Caro Rupít y Ma. de Lourdes Hernández Sánchez**, les agradezco su apoyo constante, su guía y su confianza en la realización de mis sueños. Soy afortunado por contar siempre con su amor, comprensión y ejemplo. Esta tesis es suya.

A mi hermano **Luís Ángel Caro Hernández**, por su apoyo incondicional y los ratos de alegría, que en su momento me animaron a seguir adelante.

A mi esposa, **Nayelly Robles Alcántara**, quien a cada momento se preocupa por mí, porque siempre me ha hecho sentirme envuelto en amor a su lado, por su apoyo incondicional durante este largo pero exitoso trayecto y por estar conmigo en los mejores y aún más en los peores momentos. Te amo mi vida.

A mis Abuelitos **Irma Sánchez** por su cariño y **Ángel Hernández**, que aunque ya no esta presente entre nosotros, sigue siendo un ejemplo de persona y que fue una de las influencias para dirigir mi camino hacia el campo y los animales. Por esos recibimientos y abrazos llenos de calor y afecto verdadero que hacían palpar mi corazón agitadamente. Gracias mis viejitos.

A **David Hernández Sánchez** el “Tío pollo”, quien me apoyo desde el primer momento en que decidí hacer la maestría, además de proporcionarme un lugar donde llegar, brindarme buenos consejos y preocuparse siempre porque me la pasara a gusto. Gracias Vato, se que sin tu apoyo esto no hubiese sido posible.

A mis **Tíos, Primos y demás familiares** que se preocuparon por preguntar por mí cuando me encontré lejos de casa, por llamarme para preguntarme como estaba y darme ánimos de seguir adelante, eso es algo muy apreciado y más aún cuando uno se encuentra lejos del nido.

A mis **amigos** Ángel Miranda “Flash”, Eva y Ruth Hernández, Alfonso Ortiz, José Luís López, Emmanuel Ojeda, Natividad Alvarado, Joaquín Lucas, Ángel Miranda “Pipen”, Dulce Ojeda y en especial a Miguel A. Sánchez “El Tigre” por sus llamadas para animarme a seguir adelante y preocupación por mí persona. Gracias.

A mi amigo **Fernando Martínez López**, que junto con su familia me apoyaron en el momento en que más lo necesitaba, siendo también uno de los eslabones de esta cadena de personas que aportaron su granito de arena para alcanzar este objetivo. Gracias Fer.

A mi consejero y amigo **Dr. Emilio Aranda**, por transmitirme su experiencia y conocimiento adquirido, por ser una persona sencilla y abierta a nuevas ideas.

A los doctores **David Hernández Sánchez, Salvador Hernández Dáumas y Mario Cobos Peralta**, por dedicar su tiempo y apoyo para realizar esta tesis, además de participar en mi formación como maestro en ciencias.

A **José Luís Jiménez de Dios**, por su apoyo en laboratorio de ciencia animal del Colegio de Postgraduados *campus* Tabasco.

Al **Dr. Armando Gómez Vázquez** y al **M en C. Osvaldo Margarito Torres Chable**, por su apoyo determinante dentro de la fase experimental.

A **FOMIX- CONACYT** por su apoyo por medio del proyecto TAB 2003 CO 3-11 383 denominado “Valoración de la coloración de la grasa de la canal de bovinos en pastoreo suplementados con caña de azúcar”, gracias al que se realizó la investigación presente.

A **Todos** los que de alguna forma contribuyeron para la elaboración de esta investigación y que de alguna manera me apoyaron, así como a todas mis amistades dentro del Colegio de Postgraduados *Campus* Tabasco, por hacer que su amistad me sirviera para abrirme camino.

A mis profesores de la maestría de **Producción Agroalimentaria en el Trópico** que nunca se cansaron de transmitirme sus consejos y conocimientos, adquiridos en el largo camino de la vida y que han ayudado en mi formación profesional. Gracias de todo corazón.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos particulares.....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. Tendencias en la producción bovina a nivel mundial.....	5
4.2. La producción bovina nacional.....	9
4.3. Sistemas de producción ganadera.....	12
4.3.1. Engorda de ganado bovino en corral.....	12
4.3.2. Engorda de ganado bovino en pastoreo.....	14
4.4. Problemática de la grasa amarilla en la canal.....	16
4.5. β - Caroteno.....	19
4.6. β -Carotenos en la dieta del rumiante.....	22
4.7. Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.).....	26
4.7.1. Valor nutritivo de la caña de azúcar.....	27
4.7.2. Potencial forrajero de la caña de azúcar.....	30

4.7.3. Sustentabilidad del uso de la caña de azúcar en la ganadería bovina.....	31
4.8. Ensilado.....	38
4.9. Microorganismos en el proceso de fermentación del ensilaje.	40
4.9.1. Bacterias ácido lácticas.....	41
4.9.2. Bacterias formadoras de espora.....	42
4.9.3. Bacterias coliformes.....	43
4.9.4. Hongos y levaduras.....	43
4.10. Pasto estrella de África (<i>Cynodon plectostachyus</i>).....	44
4.11. Enzimas fibrolíticas en la alimentación del rumiante.....	45
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
5.1. Ubicación.....	48
5.2. Climatología.....	49
5.3. Animales.....	49
5.4. Alimentación de los toretes.....	50
5.5. Variables evaluadas.....	55
5.5.1. Evaluaciones en el ensilado de caña de azúcar.....	55
5.5.1.1. pH.....	55
5.5.1.2. Concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH ₃).....	55
5.5.1.3. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV).....	56

5.5.1.4. Concentración de lactato.....	56
5.5.2 Análisis bromatológico del pasto y del ensilado.....	57
5.5.2.1. Materia seca (MS).....	57
5.5.2.2. Proteína cruda (PC).....	57
5.5.2.3. Fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA).	57
	Pág.
5.5.3. Evaluaciones realizadas en el ensayo con los toretes	57
5.5.3.1. Consumo de materia seca del ensilado.....	57
5.5.3.2. Consumo de materia seca del forraje.....	58
5.5.3.3. Digestibilidad total del forraje.....	59
5.5.3.4. Digestibilidad <i>in situ</i>	60
5.5.3.5. Cambio de peso vivo.....	61
5.5.3.6. Colorimetría de la grasa en la canal.....	61
5.6. Análisis estadístico.....	63
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
VII. CONCLUSIONES.....	81
VIII. LITERATURA CITADA.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Países con mayor inventario de ganado bovino y su producción de carne en canal para el 2002.....	6
Cuadro 2. Producción mundial de carne bovina en los últimos seis años, (millones de toneladas).....	7
Cuadro 3. Análisis del consumo de carne bovina en el mundo en el periodo del 2001 al 2006, en millones de toneladas.....	8
Cuadro 4. Componentes de la caña de azúcar (%).....	32
Cuadro 5. Productos de procesamiento de 100 t de caña de azúcar (tallos limpios).....	33
Cuadro 6. Derivados de los azúcares de la caña.....	34
Cuadro 7. Tratamientos experimentales	50
Cuadro 8. Proporción de los ingredientes del ensilado de caña de azúcar utilizado en el experimento.....	53
Cuadro 9. Costos de producción del ensilado de caña de azúcar	54
Cuadro 10. Composición bromatológica del ensilado de caña de azúcar, antes y después del proceso de fermentación...	66
Cuadro 11. Composición bromatológica (%) de la pradera a la entrada y salida de los toretes.....	69

	Pág.
Cuadro 12. Consumo de materia seca (kg MS d ⁻¹) del pasto estrella y del ensilado de caña, y digestibilidad <i>in vivo</i> (DMS, %) de la materia seca.....	70
Cuadro 13. Digestibilidades <i>in situ</i> del pasto estrella (%).....	73
Cuadro 14. Digestibilidad <i>in situ</i> (%) del ensilado de caña de azúcar...	74
Cuadro 15. Ganancia de peso (kg animal ⁻¹ d ⁻¹) y conversión alimenticia (CA) de toretes en pastoreo suplementados con ensilado de caña de azúcar y enzimas fibrolíticas...	76
Cuadro 16. Coloración de la grasa en la canal de toretes en pastoreo suplementados con ensilado de caña de azúcar y enzimas fibrolíticas.....	77
Cuadro 17. Valor estándar de la grasa en la canal por colorimetría, transformado en porcentaje.....	78
Cuadro 18. Resultados de la pigmentación adquirida de acuerdo a la dieta que fueran sometidos los animales.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Producción de carne bovina en México de 2001 a 2006 (millones de toneladas).....	10
Figura 2. Estructura del β -caroteno.....	19
Figura 3. Mapa del estado de Tabasco y sus municipios.....	48
Figura 4. Diagrama de la elaboración del ensilado.....	52
Figura 5. Corraletas individuales para medir consumo de ensilado.....	53
Figura 6. Lectura sobre muestra de grasa por colorimetría.....	63

RESUMEN

Buscando alternativas de alimentación que permitan reducir la pigmentación amarilla de la grasa en la canal del ganado bovino, se realizó un experimento con toretes finalizados en pastoreo, en el cual se evaluó el efecto de suplementación con ensilado de caña de azúcar (EC) en la digestibilidad, comportamiento productivo y color de la grasa en la canal. Se utilizaron 40 toretes con encastes de Brahaman, Suizo y Beefmaster (376 ± 7.79 kg PV) mantenidos en pastoreo rotacional, en praderas establecidas con pasto estrella de África (*Cynododn plestostachyus*) por 90 d. Los tratamientos (T) fueron T1= Sólo pastoreo, T2= T1 + EC, T3= T1 + EC + 15 g de Fibrozyme[®], T4= T1 + EC + 30 g de Fibrozyme[®]. La suplementación se realizó en corraletas individuales proporcionando *ad libitum* EC y la enzima de acuerdo a los tratamientos establecidos. Se realizó el análisis bromatológico del pasto y EC, además de medir pH, concentración de AGV, lactato y amoníaco en el EC, antes y después del proceso de ensilaje. Se midió el consumo de materia seca (CMS), la digestibilidad del pasto y EC, la ganancia diaria de peso (GDP), la conversión alimenticia (CA) y al finalizar el experimento se sacrificaron los animales para hacer la evaluación de la pigmentación de la grasa en la canal por colorimetría. Los datos se analizaron mediante un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y diez repeticiones por tratamiento. Las medias de tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey. El contenido de MS, PC, FDN y lactato incrementaron después del proceso de fermentación en el ensilado, asimismo el pH disminuyó. El pasto estrella africano presentó 6.34 % de PC y 75.1 % de FDN. No se presentaron tendencias definidas en el CMS del pasto y del EC; sin embargo, la suplementación con EC y 15 g de enzima mejoraron ($P < 0.05$) el CMS total ($11.09 \pm 0.33b$, $14.76 \pm 0.29ab$, $17.22 \pm 0.29a$, $15.28 \pm 0.28ab$ kg animal⁻¹ d⁻¹, T1, T2, T3 y T4, respectivamente). La digestibilidad aparente de la MS fue incrementada ($P < 0.05$) por la adición de enzimas fibrolíticas en la dieta ($62.11b$, $62.17b$, $67.85a$, $65.55ab$ %, T1, T2, T3 y T4, respectivamente). El T2 mostró los niveles más altos ($P < 0.05$) de digestibilidad ruminal del pasto estrella entre las 6 y 24 h de incubación, y entre las 24 y 72 h de degradación ruminal, el T3 mejoró ($P < 0.05$) la digestibilidad del forraje. Después de las 6 h de incubación, el T3 y T4 mejoraron ($P < 0.05$) la digestibilidad ruminal del EC, por efecto de las enzimas exógenas. De manera general el T3 propició la mejor ($P < 0.05$) GDP ($0.405+0.06b$, $0.484 + 0.06b$, $0.702 + 0.05a$, $0.618+0.05ab$, T1, T2, T3 y T4, respectivamente) y CA ($36.5 + 10.71b$, $36.0 + 9.58b$, $24.4 + 9.42^a$, $29.2 + 9.19^a$, T1, T2, T3 y T4, respectivamente). Las evaluaciones en la pigmentación de la grasa en la canal mostraron mayor ($P < 0.05$) coloración amarilla ($46.35a$ %) en los toretes que permanecieron solamente en pastoreo (T1) y la menor pigmentación se registró en el T2 (46.0^a , 24.3^d , 31.9^b y 39.6^c %, T1, T2, T3 y T4, respectivamente), donde se alimentaron los toretes con EC. Diferencias en el sitio de muestreo fueron observadas cuando las muestras se obtuvieron de la escápula, resultando 2 % menos pigmentadas que las del área del lomo anterior. Se recomienda el uso del EC como una alternativa para reducir la coloración amarilla de la grasa en la canal del ganado bovino finalizado en pastoreo.

Palabras clave: Caña de azúcar, Ensilado, Carotenos, Colorimetría, Grasa amarilla, Toretos, Pastoreo, Enzimas fibrolíticas.

ABSTRACT

Yellow pigmentation on fat carcass has been a recent problem in México tropics areas where steers are finished on grazing as only feed resource, because of the high grass carotene content. This problem cause consumer refuse for bovine meat produced in tropical regions. In order to know the effect of sugar cane silage (EC) supplementation on dry mater digestibility, productive performance and carcass fat color of finished grazing steers, a study was carried out. Forty steers crossbreeding with Brahaman, Swiss and Beefmaster were used (376 ± 7.79 kg BW) in a 90 d study. Animals were on rotational grazing of star grass (*Cynodon plectostachyus*; 75.1 % NDF, 6.34 % CP). The treatments (T) were: T1 = only grazing, T2 = T1 + EC, T3 = T1 + EC + 15 g of Fibrozyme®, T4 = T1 + EC + 30 g of Fibrozyme®. The animals were housed in individual pens and fed *ad libitum* with EC, and enzyme according to the established treatments. Chemical composition was analyzed on EC samples before and after silage processing, and on star grass. Also pH, volatile fatty acids (VFA), lactate and ammonia nitrogen (N-NH₃). EC intake (ECI), forage intake (FI) and total dry matter intake (DMI), ruminal dry matter digestibility (RDMD), dry matter apparent digestibility (DMAD), feed efficiency (FE), and daily weight gain (DWG), were determined. When the trial concluded animals were sacrificed to record fat pigmentation on carcass (shoulder blade or Brisket shank and chuck or previous loin) using colorimetric method (Hunter lab). In a completely random design and Tukey test data were analyzed. Dry mater, crude protein, NFD and lactate content increased and pH diminished ($P < 0.05$) after EC fermentation occurred. Supplementation with SC and enzyme at 15 g level improved DMI (11.09 ± 0.33^b , 14.76 ± 0.29^{ab} , 17.22 ± 0.29^a and 15.28 ± 0.28^{ab} kg animal⁻¹ d⁻¹, T1, T2, T3 and T4, respectively). Fibrolytics enzyme addition increased DMAD (62.11^b , 62.17^b , 67.85^a , 65.55^{ab} %, T1, T2, T3 and T4, respectively). From 6 to 24 h, T2 showed the highest ($P < 0.05$) stars grass RDMD; although T3 improved ($P < 0.05$) forage RDMD between 24 and 72 h. Also EC RDMD increased ($P < 0.05$) after incubation by 6 h, in the treatments that implicated exogenous enzymes (T3 and T4). In general, T3 caused the best DWG ($0.405 + 0.06^b$, $0.484 + 0.06^b$, $0.702 + 0.05^a$, $0.618 + 0.05^{ab}$ g d⁻¹, T1, T2, T3 and T4, respectively) and FE ($36,5 + 10.71^b$, $36,0 + 9.58^b$, $24,4 + 9.42^a$, $29,2 + 9.19^a$, T1, T2, T3 and T4, respectively). The most yellow coloration on fat carcass was observed on T1; the yellowness fat carcass was found in T2 (46.0^a , 24.3^d 31.9^b and 39.6^c %, T1, T2, T3 and T4, respectively). Differences in sampling site were observed when the fat was taked from the shoulder blade, being 2 % less pigmented than those from the area of the previous loin. It is suggested the use of EC as supplement to reduce yellow pigmentation on fat carcass of finished grazing steers in the tropic.

Key words: Sugar cane, Silage, Carotene, Colorimetry, Yellow fat, Steers, Grazing, Fibrolytics enzyme.

I. INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina y la industria de la carne representan una de las principales actividades del sector agropecuario del país. Actualmente, existen más de un millón y medio de unidades de producción y ranchos ganaderos en el país. De acuerdo con datos del INEGI (2006), con base en cifras de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), reportan que la producción en canal de bovinos ha incrementado anualmente hasta llegar en el 2005 a 2,125,142 t. A pesar de estos datos, la población mexicana demanda más y mejor calidad en la carne, lo que se ha relacionado con un incremento en la importación de carne de res, por tanto, se requiere desarrollar investigaciones que conduzcan a mejorar la calidad y producción de las canales de bovinos en México.

Estudios realizados en el estado de Tabasco han identificado una problemática, aparentemente de poca relevancia a nivel nacional; pero que a nivel regional limita la actividad ganadera para los productores y está relacionada con la presencia de grasa amarilla en las canales. Se ha observado que el tejido adiposo de bovinos en pastoreo puede presentar una pigmentación amarilla, que provoca el rechazo del consumidor y genera pérdidas económicas para el productor (Mora *et al.*, 2000). Este color amarillo se debe a los carotenoides, provenientes de forrajes verdes consumidos por el ganado.

En bovinos en pastoreo, el principal pigmento responsable de la coloración amarilla en la canal es el β -caroteno y en segundo grado, la luteína (Yang *et al.*, 1992; Mora *et al.*, 2000). El color es un factor importante asociado con la calidad de los alimentos (Fergus, 1993); así, la apariencia, la inocuidad, las características sensoriales y la aceptabilidad se relacionan con el color de los alimentos. En este sentido la carne de bovino con un color amarillo frecuente, es rechazado por el consumidor, por sospecharse que pudiera estar en mal estado, tener defectos por un mal proceso de elaboración o estar adulterado (Tee, 1992).

En el sur del país la engorda en pastoreo es más usual y más redituable por la mayor capacidad de carga de las extensiones destinadas al pastoreo. Por lo anterior, la presencia del problema de la grasa amarilla en la canal en la región es constante y de importancia considerable (Barrón *et al.*, 2004).

Los ganaderos para tratar de resolver este problema, someten a los bovinos en finalización que han estado en sistemas de pastoreo, a un periodo de engorda en corral (previos al sacrificio) que van de 30 hasta 90 días, utilizando concentrados alimenticios; logrando así reducir parcialmente la pigmentación amarilla de las canales (Hidiroglou *et al.*, 1987), pero esto no constituye una alternativa económicamente viable, ya que, incrementa los costos de producción. Por lo anterior, es importante buscar alternativas para disminuir la pigmentación amarilla de la grasa y abatir los costos de producción por medio de la manipulación del forraje, a través de una suplementación estratégica. Una de las estrategias posibles, es incluir ensilado de caña de azúcar en la dieta de los bovinos, ya que la caña contiene una baja concentración de carotenoides en el momento de su cosecha y durante el proceso de ensilado se disminuye aun más la presencia de carotenos.

.II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar la respuesta productiva y la coloración del tejido adiposo de la canal de toretes finalizados en pastoreo, suplementados con ensilado de caña de azúcar.

2.2 Objetivos particulares

- Medir, el consumo y la digestibilidad de la materia seca, además, el cambio de peso vivo en toretes en pastoreo suplementados con ensilado de caña de azúcar
- Valorar colorimetricamente la presencia de grasa en la canal de toretes en pastoreo suplementados con ensilado de caña de azúcar

III. HIPÓTESIS

Toretos finalizados en pastoreo, suplementados con ensilado de caña de azúcar presentan mejor respuesta productiva y menor grado de amarillamiento del tejido adiposo en la canal que animales sin suplementación.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Tendencias en la producción bovina a nivel mundial

De acuerdo con información de la FAO (2003), el inventario mundial de bovinos para el 2002 fue de 1,366 millones de cabezas. En el Cuadro 1 se da información de los cinco países con mayor producción y en su conjunto, producen cerca del 61 % de la producción mundial. Los 10 países con los mayores inventarios producen aproximadamente el 74 % de la producción mundial de carne de bovino. La producción mundial aumentó en 9.16 % de 1992 a 2002, la producción total de carne de bovino para el 2002 fue de 51.24 millones de toneladas (FAO, 2003).

Entre los países que mostraron mayor tasa de crecimiento destaca China, con 22.15 % para el período citado, Brasil ha incentivado su producción durante la última década y que ha incrementado su participación en las exportaciones mundiales. En particular, la industria bovina de carne brasileña incremento su capacidad de producción a la cifra récord de 7.8 millones de toneladas de carne bovina producida en 2002 y se debió al mejoramiento genético y manejo del hato, una tasa de cambio monetario más estable y una mayor rentabilidad en la producción (FAO, 2003).

Cuadro 1. Países con mayor inventario de ganado bovino y su producción de carne en canal para el 2002.

País	Inventario, millones de cabezas	Producción de carne de bovino, millones de toneladas
India	221.90	1.46
Brasil	176.00	7.14
China	106.18	5.32
Estados Unidos de Norteamérica	96.70	12.44
Unión Europea	80.78	7.50
Argentina	50.67	2.70
México	30.60	1.45
Australia	30.50	2.03
Federación Rusa	27.11	1.86
Colombia	27.00	0.78

FAO, 2003.

Sin embargo, en la actualidad, la presencia de enfermedades determina la estructura del mercado internacional. El brote de fiebre aftosa en Brasil ha restado competitividad a la carne de res brasileña y ha creado oportunidades para Estados Unidos, aunque este último sigue enfrentando el impacto de la “Encefalopatía esponjiforme bovina” (vacas locas). De igual manera, las medidas del gobierno argentino para equilibrar su mercado ha favorecido a otros países exportadores, principalmente Australia (Ruiz, 2004).

Las negociaciones entre Estados Unidos y Japón aún no arrojan perspectivas claras ante las exigencias del gobierno nipón. En consecuencia, se estima que el comercio internacional de carne de res aumentará 2 % a fines del 2006 a 6.9 millones de toneladas, aunque el incremento en las ventas norteamericanas y de

Nueva Zelanda no será suficiente para cubrir los decrementos de Argentina y Brasil (FAPRI, 2002).

Brasil y Argentina ofrecerán conjuntamente 2.3 millones de toneladas, 12 % menos que en 2005 (Cuadro 2). No obstante, representan el 33 % del comercio mundial. Australia y Nueva Zelanda también han ampliado su mercado, especialmente en Japón y Corea del Sur. Se espera que los países importadores mantengan sus compras prácticamente sin cambios respecto al 2005, principalmente Corea del Sur, Filipinas, Taiwán, Hong Kong y Japón. La cifra mundial se proyecta en poco más de 5 millones de toneladas (USDA, 2006).

Cuadro 2. Producción mundial de carne bovina en los últimos seis años (millones de toneladas).

Producción	2001	2002	2003	2004	2005(p)	2006(F)
Brasil	6.895	7.240	7.385	7.975	8.592	8.810
Unión Europea	8.084	8.145	8.061	8.007	7.770	7.820
Estados Unidos	11.983	12.427	12.039	11.261	11.317	11.891
China	5.488	5.846	6.305	6.759	7.140	7.575
Argentina	2.640	2.700	2.800	3.130	3.200	3.100
India (1)	1.770	1.810	1.960	2.130	2.230	2.300
México	1.925	1.930	1.950	2.099	2.125	2.175
Australia	2.049	2.089	2.073	2.081	2.125	2.150
Rusia	1.760	1.740	1.670	1.590	1.525	1.470
Canadá	1.250	1.294	1.190	1.496	1.475	1.450
Nueva Zelanda	0.609	0.589	0.693	0.720	0.705	0.735
Otros (2)	5.193	5.431	3.969	4.079	4.043	4.116
Total	49.646	51.241	50.095	51.327	52.247	53.592

(1) Incluye el búfalo. (2) A partir de 2003 caen de la base de datos, Colombia, Costa Rica, República Dominicana, el Salvador, Honduras, Nicaragua y Venezuela, (p) preliminar; (f) pronóstico. USDA, 2006.

El consumo mundial de carne de res tiende a crecer 2.5 % a 51.7 millones de toneladas en 2006 (Cuadro 3), si las condiciones económicas son favorables. El desempeño de las economías asiáticas como China, Tailandia, Hong Kong y Taiwán jugarán un papel de suma importancia junto con el efecto de la gripe aviar en el consumo de carne de aves.

Cuadro 3. Análisis del consumo de carne bovina en el mundo en el periodo del 2001 al 2006, en millones de toneladas

Consumo	2001	2002	2003	2004	2005(p)	2006(f)
Unión Europea	7.658	8.187	8.315	8.292	8.145	8.200
China	5.434	5.818	6.274	6.703	7.051	7.478
Estados Unidos	12.351	12.737	12.340	12.667	12.666	13.061
Brasil	6.191	6.437	6.273	6.400	6.774	7.035
Argentina	2.514	2.362	2.426	2.512	2.446	2.604
México	2.341	2.409	2.308	2.368	2.419	2.505
Rusia	2.400	2.450	2.378	2.308	2.200	2.175
India (1)	1.400	1.393	1.521	1.631	1.610	1.625
Japón	1.419	1.319	1.366	1.181	1.195	1.237
Canadá	0.969	0.990	1.065	1.054	1.052	1.030
Australia	0.653	0.696	0.786	0.747	0.749	0.760
Otros (2)	5.378	5.467	3.965	3.954	3.966	4.033
Total	48.708	50.265	49.017	49.817	50.273	51.743

(1) Incluye el búfalo. (2) A partir del 2003, caen de la base de datos Colombia, Costa Rica, la República Dominicana, el Salvador, Honduras, Nicaragua y Venezuela. (p) preliminar; (f) pronóstico.

USDA, 2006

4.2. La producción bovina nacional

La producción de carne de bovinos, en términos generales ha experimentado un crecimiento continuo en los últimos seis años. En el 2005 la ganadería bovina Mexicana produjo 2 125,142 t, prácticamente 1.2 % más que el año 2004; sin embargo, si se consideran los datos de los últimos seis años, esta expansión ha sido mínima, presentando una tasa de crecimiento anual de 0.2 % (Figura 1). La ganadería en México utiliza cerca del 53.7 % de los 200 millones de hectáreas de tierra usadas en actividades agropecuarias y contribuye con aproximadamente 40 % del PIB del sector. La ganadería bovina ha mostrado cambios importantes en los últimos años, resaltando el crecimiento en la productividad como resultado de las mejoras tecnológicas en la ganadería intensiva del norte del país y en la ganadería extensiva del sur de México, y la adopción de sistemas de finalización de ganado en corrales de engorda. Aproximadamente el 60 % de la carne producida en el país se comercializa en forma de canal caliente; mientras que la participación de los productores de bovinos en el mercado de productos con valor agregado (hamburguesas, marinados, alimentos precocidos) todavía es limitada. (SIAP/SAGARPA, 2005) La carne producida es heterogénea en términos de su composición y grado de madurez, por causa de la variabilidad en la edad, el tipo de procesamiento, la especialización productiva del ganado y la gran variabilidad climática donde se produce, ha dificultado el establecimiento de un sistema nacional de clasificación en pie y en canal (Ruiz, 2004).

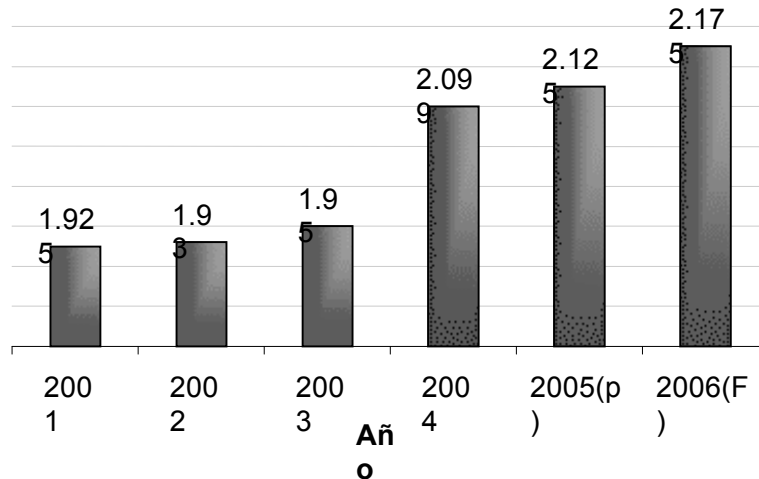


Figura 1. Producción de carne bovina en México de 2001 a 2006 (Millones de toneladas).

(p)= Preliminar (F)=Pronóstico

De acuerdo a una encuesta citada por SAGARPA (2002), del total de hogares que gastan una parte de sus ingresos en la compra de carnes en general, cerca del 72 % destina una parte de su gasto a la compra de carne de res y ternera, observándose la tendencia mayor ingreso—mayor gasto.

Un factor fundamental en la demanda de carne de bovino ha sido la preferencia de los consumidores de carne con grasa blanca proveniente de los corrales de engorda, ya que se ha asociado con carne proveniente de animales jóvenes, con mayor rendimiento de carne y menor contenido de grasa (FIRA, 2003).

El sacrificio del ganado bovino para carne se lleva a cabo principalmente en rastros municipales; sin embargo, en los últimos años se ha notado un aumento en el número de animales procesados en plantas de Tipo Inspección Federal (TIF). Las ventajas de sacrificar en rastros TIF son la estricta inspección sanitaria, las mejores

prácticas de insensibilización antes del sacrificio y la cadena de frío presente durante el procesamiento y transporte de la carne. Pero los cambios en la demanda han hecho que la tradicional comercialización de carne en canales, procedentes de rastros TIF quede en desventaja sobre la comercialización de carne deshuesada, empacada al vacío, en cortes primarios (Ruiz, 2004). Lo anterior ha provocado que las industrias (rastros TIF) principalmente en las regiones tropicales, se encuentren trabajando a muy baja capacidad de uso, lo cual eleva considerablemente sus costos fijos.

Este escenario ha creado una fuerte desventaja frente a la carne importada la cual ha impactado notablemente por sus ventajas en bajo precio y conveniencia, sobre todo en el nicho de cortes finos y supermercados, donde ha reforzado su tendencia de dominar el sector de consumo familiar. Los bajos precios obtenidos por el productor afectan la rentabilidad de la actividad, que constantemente se ve enfrentada a incrementos en las materias primas, situación que frena los esfuerzos de los productores de hacerse mas productivos (FIRA, 2003).

El principal mercado de carne roja en el país, es el de la Ciudad de México y las zonas conurbanas. Es en este mercado que se consume cerca del 40 % de la producción nacional; sin embargo, se comercializa el 70 % enviando carne a otras ciudades cercanas y centros de consumo. Durante el año 2002 arribaron al D.F. 386 mil cabezas de ganado bovino provenientes principalmente de los Estados de Veracruz, Chiapas, Querétaro, Jalisco, de México y Puebla. Asimismo, arribaron 194

mil canales, las que principalmente provinieron de los Estados de Veracruz, Tabasco, San Luís Potosí, Yucatán, Sinaloa y Aguascalientes. (FIRA, 2003; SAGARPA, 2005).

A pesar de las tendencias, en la actualidad, el ganado producido en el sur del país en su mayoría se finaliza en pastoreo; como resultado de las condiciones económicas, muchos ganaderos y engordadores no pueden adquirir ingredientes importados, la modernización e implantación de tecnologías de producción son limitadas (USDA, 2003).

4.3. Sistemas de producción ganadera

En la actualidad los sistemas de producción de carne se han intensificado y a pesar de que el forraje proveniente de las pasturas continúa siendo el principal componente de la dieta, han sido incorporados mayores niveles de distintos suplementos. Estos sistemas intensificados se caracterizan por una mayor carga animal que posibilita un mejor aprovechamiento del rebrote primaveral de las pasturas (Rearte, 2006). La necesidad de optimizar la utilización del forraje por los animales en pastoreo ha hecho que la suplementación alimenticia se considere estratégica, lo que permite categorizar los sistemas de producción en dos tipos que a continuación se describen.

4.3.1. Engorda de ganado bovino en corral

La engorda en corral es una actividad que por lo general se da en forma cercana a las zonas productoras de grano, principal insumo alimenticio, aunque en algunas ocasiones se han ubicado cercanos a los centros de consumo, puesto que la

mayoría del grano para la alimentación del ganado proviene de importación por tratarse de maíz amarillo o sorgo (FIRA, 2003).

Esta actividad ha mostrado un importante crecimiento debido al bajo costo de los granos forrajeros, la disponibilidad de becerros (rechazados para la exportación) y al bajo precio, mejor precio al de la carne engordada en pasto, con base a una mayor demanda de los consumidores.

Las regiones donde la engorda en corral ha mostrado crecimiento importante por su organización y volumen son: Sinaloa, Sonora, Nuevo León, Querétaro, Jalisco y en menor proporción, Yucatán, Tamaulipas, Coahuila, San Luís Potosí y Aguascalientes (SAGARPA, 2002).

El objetivo de la engorda en corral es obtener el máximo beneficio, en el menor tiempo, concentrando los medios de producción, mecanizando y racionalizando los procesos, para incrementar el rendimiento. Este proceso se rige por las leyes de la producción industrial.

Ventajas

- **Eficiencia:** obtiene la máxima producción con el dinero invertido en el menor tiempo posible.
- **Adaptación a la demanda del mercado:** se ajusta a la demanda de los consumidores.
- **Homogeneidad:** obtención de productos homogéneos o de características similares, para satisfacer las necesidades de la distribución y comercialización a gran escala.

Desventajas

- **Alto consumo de energía:** generalmente de origen fósil, en ocasiones hasta 20 kJ por kJ en el alimento obtenido.
- **Extremadamente contaminantes:** debido a la acumulación de masas de deyecciones, que no pueden ser recicladas en los agrosistemas convencionales, provocando contaminación atmosférica, contaminación del suelo y de las aguas con metales pesados, fármacos etc.
- **Efímero:** no es perdurable, es decir no puede mantenerse indefinidamente en el tiempo o es insostenible.

4.3.2. Engorda de ganado bovino en pastoreo

La alimentación de animales en pastoreo y su desarrollo hasta el sacrificio, ha sido la actividad más importante dentro de la ganadería bovina de carne, principalmente en las zonas tropicales y subtropicales de México, en las cuales la presencia de humedad marca los periodos de mayor o menor crecimiento del pasto y el crecimiento del ganado esta en función de la disponibilidad del forraje (FIRA, 2003).

La ciudad de México, es el principal destino de este tipo de carne, sin embargo, la oferta de carne importada, con grasa blanca, ha provocado el rechazo de la carne con grasa pigmentada. Esta situación afecta al sistema de producción en pastoreo, ya que, para obtener precios altos del producto, se deben finalizar los animales con una alimentación basada en granos. La inversión en este tipo de alimentación es costosa y requiere de conocimientos que en muchas ocasiones no manejan la mayoría de los productores, originando que gran número de ganaderos abandonen la actividad. Los principales Estados que utilizan este sistema de

producción son Tabasco, Veracruz, Campeche, Yucatán, Chiapas, Tamaulipas y Oaxaca (SAGARPA, 1998; FIRA, 2003).

La engorda en pastoreo es más sostenible, mantiene la producción sin perjudicar el ambiente. Este término es sinónimo de ganadería ecológica, que no daña al ecosistema, aunque se considera neutro y por tanto incorrecto, pues todas las ganaderías afectan un ecosistema. Según la LEY 17/1999, de 29 de abril, sobre aprovechamiento de pastos y rastrojeras para la protección de la ganadería extensiva, se considera extensiva la explotación ganadera que para la alimentación del ganado utiliza los aprovechamientos de los pastos procedentes de prados, pastizales, hierbas y rastrojos; propios, ajenos o comunales, de forma permanente o temporal. A continuación se presentan las ventajas y desventajas de un sistema de engorda en pastoreo.

Ventajas

- Requieren escaso aporte de energía fósil, en ocasiones se requiere 0.1 kJ o menos para obtener 1 kJ de alimento en la mesa del consumidor.
- Contribuye a conservar los agroecosistemas de los que forman una parte esencial, estando en armonía con el entorno y con la biodiversidad.
- En climas áridos o semiáridos, contribuyen al mantenimiento de la cubierta vegetal y evita la erosión.
- Prevenir los incendios forestales mediante el control arbustivo, la reducción de biomasa combustible, etc.

Desventajas

- Menor eficiencia.

- No puede ajustarse fácilmente a la demanda de los consumidores.
- No proporciona productos homogéneos como solicita la distribución y el mercado de los grandes centros comerciales.
- Producen una pigmentación amarilla en el tejido adiposo, el cual es indeseable por el consumidor y limita el mercado.

4.4. Problemática de la grasa amarilla en la canal

En el sur de México la mayor parte de los rumiantes son engordados y finalizados bajo condiciones de pastoreo (CEA, 1999), bajo estas condiciones, el tejido adiposo de los bovinos para abasto puede presentar coloración amarilla debido a los carotenoides provenientes de su ingesta en el pastoreo. A pesar de que la coloración de la grasa no afecta el sabor ni el valor alimentario de las porciones comestibles, la presencia de los pigmentos representa un problema económico serio como resultado del rechazo del producto por parte del consumidor, tanto nacional como extranjero. El ganadero ha tratado de superar el problema de la grasa amarilla mediante el confinamiento de sus animales durante algunos meses previos al sacrificio, lo que resulta en un incremento innecesario en los costos de producción, así como en la economía del consumidor final (Mora *et al.*, 2001).

En términos generales, la totalidad de la producción nacional de carne se destina al abasto interno, mercado demandante de cortes populares tipo español, además, existe un segmento limitado de consumidores exclusivos (que adquieren un volumen menor de cárnicos de alto valor económico) y que son demandantes de productos cuya especificidad no siempre puede cubrirse con la producción nacional, por lo que frecuentemente se complementa con productos importados (Ruiz, 2004).

En el frigorífico de la Unión Ganadera Regional de Tabasco (UGRT) el efecto de la pigmentación de las canales se traduce en una reducción de un punto en su clasificación. Debido a que el precio del ganado está en función del rendimiento en canal y del grado de clasificación, la pigmentación amarilla afecta negativamente su valor (Barrón *et al.*, 2004).

Una consulta realizada en 1998 en los archivos de sacrificio del rastro TIF de la Asociación Ganadera de Tabasco, reveló que el color amarillo de la grasa afectó a 5 % de las canales. Si esto sucediera en la población total de animales finalizados en pastoreo, implicaría que aproximadamente 54 000 t de carne provendrían de canales con grasa amarilla. Al considerar un consumo per capita de 16.3 kg de carne de bovino, la depreciación del 10 % del tonelaje mencionado equivaldría al consumo anual de carne bovina de cerca de 300 mil mexicanos o a una pérdida de 100 millones de pesos (Mora *et al.*, 2001).

Para reducir los efectos indeseables de la pigmentación amarilla de las canales, se utilizan las siguientes estrategias: a) someter los bovinos provenientes de pastoreo a periodos cortos de engorda en corral; b) cubrir las canales con mantas empapadas con una solución alcalina (efecto teóricamente decolorante); c) comercializar canales pigmentadas en cortes; d) comercializar este tipo de canales en mercados menos exigentes, por ejemplo, colonias populares. Cualquiera de estas estrategias tiene desventajas, ya que sólo resuelven el problema parcialmente y se incrementan los costos de producción, infraestructura y mano de obra (Barrón *et al.*, 2004).

De los cerca de 120 millones de hectáreas susceptibles de ser pastoreadas en México (SAGAR, 1994), alrededor de 60 % están en el trópico húmedo, subhúmedo, y seco, que incluyen la región costera del Golfo de México (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco), la península de Yucatán (Yucatán, Campeche y Quintana Roo), y parte de la región costera del Pacífico (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas). En la región tropical del país se localiza más de 53 % del inventario bovino y se produce 57 % de la carne en canal (INEGI, 1998). De esa forma, si la producción de carne en canal para México durante 1999 fue 1 390 330 t, la participación de la región tropical fue, aproximadamente, con 793 000 t. (Barrón *et al.*, 2004).

Mora *et al.* (2001), reportaron que datos del frigorífico de la UGRT indican que para 1999 la carne en canal provino en 82.9 % de toretes, 4.3 % de novillas, 2.2 % de toros y 10.7 % de vacas. Extrapolando dicha información a los datos nacionales, 793, 141.7 t en la región tropical se originaron del sacrificio de 2, 689, 634 toretes, 182, 409 novillas, 48, 276 toros y 393, 169 vacas. Así, para 1999 el número de canales de bovinos pigmentadas habría sido de 16, 236 y el volumen de carne en canal con problemas de comercialización para ese año de 3, 866.1 t, lo que permite estimar pérdidas aproximadas de 10 millones de pesos. Se espera que para los próximos años el problema se incremente debido a la globalización de la economía y ante la intención que tiene México de incursionar en los mercados extranjeros con productos de mayor calidad.

4.5. β Carotenos

Los Carotenos son pigmentos anaranjados, constituidos por cuarenta carbonos dispuestos en forma de cadena no saturada, que carecen de oxígeno y del anillo pirrólico. El β -caroteno (Figura 2) es un carotenoide vegetal, precursor de la vitamina A. El termino carotenoide proviene del latín carota (zanahoria). Los pigmentos que comprenden a los carotenos son de color amarillo, anaranjado o rojo y a las xantofilas son de color amarillo. El β -caroteno es el carotenoide más abundante en la naturaleza y el más importante para la dieta humana, por lo que da su nombre a todo un grupo de compuestos bioquímicos. Su estructura fue determinada en 1930 por Paul Karrer, trabajo que le brindó el Premio Nobel de Química. El espectro de absorción del β -caroteno muestra dos picos de absorción entre los 400 y 500 nm, correspondiente al azul y verde, por lo que la luz roja-anaranjada-amarilla que refleja le proporciona su color característico (Rodríguez, 1999).

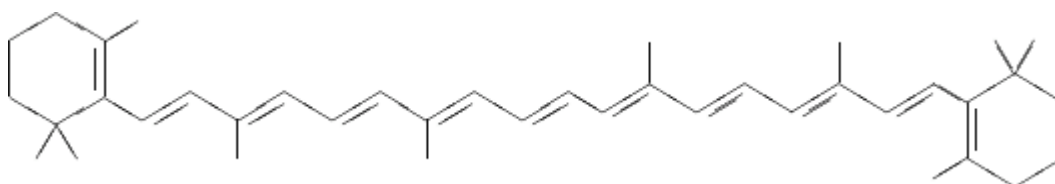


Figura 2. Estructura del β -caroteno

Una vez ingerido el β -caroteno es transformado en vitamina A en la mucosa del intestino delgado, y ésta es almacenada principalmente en el hígado en forma de ésteres de retinol. El β -caroteno también puede ser absorbido y almacenado en el tejido graso sin ser modificado, produciendo una coloración ligeramente amarilla o anaranjada (Stahl y Sies, 1996).

Estudios conducidos para determinar el efecto del β -caroteno en la salud, han mostrado que puede reducir la probabilidad de ataques cardíacos, funciona como antioxidante liposoluble y aumenta la eficiencia del sistema inmunológico. Además, se ha demostrado que reduce la probabilidad de incidencia de algunos tipos de cáncer; sin embargo, puede aumentar la probabilidad de cáncer de pulmón en personas fumadoras (Diplock *et al.*, 1998).

Entre los carotenos más importantes destaca la luteína, la cual se adiciona a cereales de desayuno y suplementos nutrimentales para prevenir la degradación macular, una de las principales causas de ceguera asociada con la edad (Fullmer y Shao, 2001). El licopeno y las xantofilas están sustituyendo a los colorantes artificiales en pastas de tomate, jugos y productos cárnicos para prevenir ciertos tipos de cáncer. En la actualidad los licopenos se consideran como uno de los compuestos con más reconocida capacidad anticancerígena de próstata. También, el procesamiento térmico de los alimentos incrementa la bioactividad de los licopenos. Las fuentes ricas de carotenos son la zanahoria, chile, tomate, maíz amarillo y algunas flores (Rodríguez, 1999).

Algunas plantas se utilizan en forma natural para proporcionar una pigmentación que permita colocar con mayor facilidad en el mercado un producto, por ejemplo el uso de la flor de muerto o cempasúchil (*Tagetes erecta*) en piensos para aves. El contenido de xantofila del cempasúchil también conocido como colorante natural amarillo, está constituido por una mezcla de pigmentos que pertenecen al grupo general de los carotenoides, que tienen gran demanda en el mercado nacional e internacional para la avicultura, ya que permite mejorar la

coloración en la piel, pico y patas en los pollos de engorda y las yemas de los huevos de gallinas de postura (Martínez *et al.*, 2004).

Los carotenos también se pueden producir biotecnológicamente mediante el cultivo de microorganismos que expresan altas cantidades de estos antioxidantes. Recientemente, mediante ingeniería genética se desarrolló el arroz dorado o rico en β -carotenos, con el objetivo de abatir la ceguera endémica en las zonas subdesarrolladas del continente Asiático (Nash, 2000).

Investigadores suizos lograron introducir al genoma del arroz genes productores de β -caroteno o provitamina A procedentes de una flor. Los genes se introdujeron mediante el uso de la bacteria *Erwinia uredovora*. Los genes productores de β -carotenos y promotores fueron insertados en plásmidos que ocurren dentro de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* que fueron cultivados *in vitro* junto con embriones de este cereal. Las plantas transgénicas resultantes se cruzaron mediante fitomejoramiento tradicional con variedades de arroces altamente productivos y adaptados a diferentes regiones para obtener un arroz con alto contenido de provitamina A. El consumo de este arroz beneficia por lo menos a un millón de niños que perecían anualmente por debilidad y carencia de vitamina A y a 350 mil más que desarrollan ceguera permanente (Hernández y Serna, 2003).

Las vitaminas A, E y C poseen actividad antioxidante. La vitamina A o retinol es considerada la vitamina liposoluble más importante en salud humana, el cuerpo humano tiene la capacidad de transformar a una molécula de β -caroteno en dos

unidades de retinol. Está demostrado científicamente que la ingesta de este nutriente previene la ceguera nocturna y la permanente, el cáncer, enfermedades cardiovasculares y refuerza el sistema inmunológico (Farmacodivulgación, 2000).

4.6. β -Carotenos en la dieta del rumiante

Los bovinos consumen el β -caroteno en el forraje verde, aunque también puede estar presente en menor cantidad en los concentrados y alimentos balanceados (Furr y Clark, 1997). Antes de su absorción los carotenoides deben ser liberados de la matriz celular de los alimentos que los contienen, y esto ocurre durante los procesos físicos y químicos que sufre el alimento antes de ser ofrecido; además de la masticación, la fermentación ruminal y la digestión en el abomaso (Seal y Parker, 1996).

Cuando llega al rumen, el β -caroteno es liberado parcialmente, pero por la presencia de dobles enlaces escapa de manera intacta al intestino delgado (Van Soest, 1994). Algunos autores mencionan que las pérdidas de β -caroteno en rumen ocurren entre 20 y 40 % (King *et al*, 1962; Van Soest, 1982). Sin embargo, se ha encontrado que las pérdidas no son mayores a 10 % y que se asocian mejor a la pérdida por incidencia de luz durante la incubación, o por la pérdida de materia orgánica a nivel ruminal, más que a su degradación (Mora *et al.*, 1999).

En el intestino delgado, el β -caroteno junto con los otros carotenoides liberados del alimento se solubiliza por la acción de los componentes biliares y en conjunto con otros lípidos pasa a formar parte de las micelas que el organismo

absorbe en las vellosidades intestinales (Goodman y Huang, 1965). La principal diferencia entre la absorción de los carotenoides y los ácidos grasos de la dieta está en que los primeros requieren incorporarse en micelas por acción de las sales biliares (Hollander y Ruble, 1978), mientras que los ácidos grasos son absorbidos sin que estén contenidos en micelas (Carey y Hernell, 1992).

Elevadas concentraciones de β -caroteno en la dieta afecta la absorción de otros carotenoides y de la vitamina E (Seal y Parker, 1996). También, niveles bajos de grasa en la dieta reducen la capacidad de absorción de β -caroteno en el intestino, ya que la grasa provee un medio hidrofóbico para solubilizar los carotenoides, además de que estimula la liberación de sales biliares (Furr y Clark, 1997).

Diferentes reportes (Gaziano *et al.*, 1995; Stahl *et al.*, 1995; You *et al.*, 1996; During *et al.*, 2002) han demostrado la absorción selectiva de β -caroteno con relación a otros carotenoides, lo cual refuerza la teoría de la existencia de un transportador de β -caroteno en la membrana celular de los enterocitos. En este sentido, se ha identificado una secuencia de ADN complementario en mamíferos, homóloga a la de un receptor encontrado en *Drosophilla melanogaster*, el cual interviene mediando la entrada de carotenoides a la célula (Kiefer *et al.*, 2002).

Una vez dentro de las células de la mucosa intestinal el contenido de las micelas es liberado. El transporte intracelular del β -caroteno en los bovinos se realiza a través de vesículas o por su unión a proteínas de la membrana (Gugger y Erdman, 1996). Dentro del citosol el β -caroteno es expuesto a la actividad de la enzima

denominada β -caroteno 15-15'dioxigenasa, siendo éste el primer sitio de actividad de la enzima formadora de retinal. A continuación el retinal recién formado y el β -caroteno que no fue transformado en el enterocito, así como otros carotenoides, apocarotenales y retinoides, son incorporados dentro de los quilomicrones, complejos moleculares que se encargan de su transporte por vía linfática (Goodman y Huang, 1965).

En los enterocitos, al igual que en otros tipos celulares, se ha descrito la presencia de otras enzimas que continúan el metabolismo del β - caroteno, como es el caso de la retinol deshidrogenasa (RoIDH) que convierte el retinal en retinol, y la enzima lecitin-retinol-acil-transferasa (LRAT), formadora de ésteres de retinilo a partir de retinol. Los compuestos sintetizados también son empaquetados y transportados por vía linfática en los quilomicrones (Paik *et al.*, 2004).

Aun no está claro el mecanismo que regula la incorporación de los carotenoides en los quilomicrones y tampoco se ha resuelto cómo se controla su movilización dentro del enterocito, ya que no se han aislado proteínas específicas que se unan a los carotenoides dentro de estas células (Furr y Clark, 1997).

La mayoría del β -caroteno y retinoides de los quilomicrones son transportados al hígado, aunque cerca del 25 % de estos compuestos pueden continuar su circulación por vía extrahepática (Goodman y Huang, 1965).

El β -caroteno es liberado de los quilomicrones en el hígado, donde también es alcanzado por la actividad de las citoquinas, dentro de los hepatocitos, siendo éste

el segundo sitio en donde se forma retinal a partir de los carotenoides de la dieta después del duodeno (Goodman y Huang, 1965).

En el hígado ocurren reacciones relacionadas con el metabolismo del β -caroteno y de la vitamina A. La enzima retinaldehído deshidrogenasa (RaIDH) cataliza la conversión del retinal recién formado en retinol (RoI) este compuesto se une a la proteína ligadora de retinol (RBP), sintetizada también en el hígado. A su vez, la RBP se une a otra proteína denominada transtiretina (TTR), este complejo RoI-RBP-TTR es el medio de transporte del retinol recién formado para llegar por vía sanguínea a los tejidos blanco en donde es liberado para cumplir con sus funciones específicas. En los hepatocitos también se forma el todo-trans ácido retinoico a partir del retinal y la acción de la RaIDH. Este ácido retinoico se une a albúmina para viajar por la circulación sistémica. Otros compuestos formados en los hepatocitos son los ésteres de retinilo a partir del retinol y de la enzima retinil éster hidrolasa (REH), para ser liberados a la circulación los ésteres de retinilo se unen a lipoproteínas (Paik *et al.*, 2004). Los retinoides unidos a proteínas circulantes son una fuente importante de vitamina A en el organismo. Sin embargo, se ha visto que ratones incapaces de sintetizar adecuadamente RBP obtienen esta vitamina a partir de los carotenoides que reciben en la dieta y movilizan por vía extrahepática unidos a albúmina, sin presentar signos por deficiencia de RBP (Goodman y Huang, 1965).

A pesar de que en el hígado se presenta una actividad enzimática intensa sobre el β -caroteno y sus productos, una parte del β -caroteno y de otros carotenoides, no alcanzan a ser transformado en retinal, y se une a lipoproteínas de

alta y baja densidad para su circulación por vía sanguínea a los diferentes tejidos en donde sea requerido (Paik *et al.*, 2004). De esta manera se ha reportado la presencia de β -caroteno y luteína en cuerpo lúteo de bovino, tejido adiposo, glándulas adrenales, piel, riñón, pulmón, hipófisis, músculo, bazo, estómago, colon, vejiga, cerebro y ojo (Furr y Clark, 1997).

En los bovinos el β -caroteno es transportado en plasma unido principalmente a lipoproteínas de alta densidad (HDL), contrario a lo que sucede en cabras, borregos, e incluso humanos, en donde el β -caroteno es transportado en las fracciones de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) (Ashes *et al.*, 1984; Yang *et al.*, 1992).

4.7. Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

La caña de azúcar es una especie originaria de Oceanía, es una planta que desarrolla dos tipos de tallos: el subterráneo y el aéreo, este último es el que almacena los azúcares. El tallo se desarrolla a partir de las yemas de otro tallo mediante propagación asexual a través de estacas, las yemas se desarrollan y originan un tallo primario, cuyas yemas producirán tallos secundarios. El número, diámetro, color y hábito de crecimiento del tallo dependen de la variedad. La longitud de los tallos depende de las condiciones ambientales de la zona y el manejo del cultivo. La cepa está constituida por una aglomeración de tallos, el primero de los cuales se origina de una yema de la semilla vegetativa (estaca). Al procesar la caña se pueden obtener hasta 50 subproductos diferentes, entre estos los principales son:

melazas o mieles, bagazo, cachaza de los filtros, ceniza de los hornos y gases de la combustión (Suárez y Morín, 2005).

4.7.1. Valor nutritivo de la caña de azúcar

La caña que generalmente se utiliza en la alimentación animal, es caña madura de 12 a 18 meses de edad y la composición nutricional varía, incrementando el número de tallos con respecto a las hojas, un aumento en la concentración de azúcares totales en jugo, conversión de azúcares reductores en sacarosa y lignificación creciente de los carbohidratos estructurales de la pared celular. La caña de azúcar posee propiedades excepcionales para su utilización como forraje (López *et al.* 1977). Por ejemplo, disminuye su contenido de nutrientes digestibles totales (TND) durante el periodo de crecimiento y se incrementa con el estado de mayor madurez cuando el contenido de azúcar es más alto; sin embargo, la presencia de hojas, cogollo y paja en la planta completa incrementa apreciablemente el contenido de fibra y disminuye la concentración de carbohidratos de fácil fermentación (Elías *et al.*, 1990).

A medida que transcurre la edad de la caña de azúcar integral, de su tallo y hojas, el contenido de proteína y extracto etéreo se reduce y el contenido de lignina y azúcares aumenta (Banda y Valdez, 1976). El contenido de proteína en la hoja es mayor que en el tallo, pulpa y cáscara, siendo esta última la que muestra la mayor concentración de lignina (Aranda y Losada, 1980). Los tallos tienen menos de 1 % de proteína cruda (Ferreiro *et al.*, 1977a), las puntas menos del 3 %, mientras que, las

hojas pueden tener de 4 a 5 % de proteína, dependiendo de la edad de la planta (Preston, 1977).

La digestibilidad de la materia seca se incrementa con la edad debido a que hay mayor acumulación de azúcares solubles (Banda y Valdez, 1976; Aranda y Losada, 1980). Se han reportado valores entre 9.5 y 21.6 Grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$: cantidad de sólidos solubles presentes en un jugo o pulpa expresados en porcentaje de sacarosa) (Ferreiro *et al.*, 1977b), aunque varios estudios muestran concentraciones superiores a 16 $^{\circ}\text{Bx}$ (Montpellier y Preston, 1977). La caña de azúcar acumula gran concentración de carbohidratos solubles, constituyendo de 30 al 40 % de la materia seca (Gooding, 1982). La digestibilidad *in vivo* de la MS de la caña es relativamente alta varía de 60 a 70 % (Preston, 1977; Ffoulkes y Preston, 1979). Estudios *in situ* muestran valores cercanos a 50 % (Valdéz *et al.*, 1977). A pesar de esto, algunos investigadores han señalado la baja digestibilidad de la fibra como una de las limitantes del uso de caña de azúcar (Preston, 1977; Leng, 1989). Esta aparente contradicción se explica por la relación entre tasa de digestión y tasa de pasaje (Allen y Mertens, 1988), de manera que un forraje con mayor tiempo de retención tiene una digestibilidad elevada. Algunos estudios han mostrado una reducción de la digestión de MS y de fibra, con niveles mayores a 50 % de caña en la ración (Gooding, 1982; Molina, 1990).

Banda y Valdéz (1976) estimaron una correlación positiva entre la digestibilidad *in vitro* y los $^{\circ}\text{Bx}$ en la caña de azúcar, indicando que a mayor contenido de $^{\circ}\text{Bx}$ o azúcares, hay una mayor digestibilidad, también se ha determinado una correlación negativa entre $^{\circ}\text{Bx}$ y el contenido de fibra detergente

ácido, lignina, celulosa y pared celular. La pulpa de la caña en la variedad B-4362 es la parte de mayor digestibilidad *in vitro* (69 %), seguida por el tallo (55.5 %) y la hoja (37.0 %) (Aranda y Losada, 1980). La digestibilidad *in vitro* de la FDN disminuyó de 50 a 29 % en 168 días, mientras que la de la materia orgánica se incrementó ligeramente de 55 a 60 % por los azúcares solubles (Pate, 1977). Se ha reportado que la fracción de la FDN potencialmente digerible es de 23 % en el bagazo y de 27 % para la punta de caña, considerándose bajo en comparación con otros forrajes (Amjed *et al.*, 1992).

Experimentos con álcalis y peróxido de hidrógeno muestran que la remoción de la lignina puede duplicar la fracción de FDN potencialmente digerible y la tasa de digestión, sin alterar la fase lag. Se ha demostrado una relación lineal negativa entre la digestibilidad *in vitro* de la FDN y la proporción FDN: lignina (Pate, 1977). Por otro lado, se ha encontrado que el tratamiento con álcalis incrementa diez veces el número de bacterias adheridas a la pared celular (Latham *et al.*, 1979).

Con el crecimiento de la caña, hay cambios en las paredes celulares. La concentración de lignina se incrementa con la madurez de la planta de 4 a 6 % de la MS (Aranda y Losada, 1980). Las puntas de caña y el bagazo muestran concentraciones elevadas de lignina (11.4 %) y de FDN (13.1 %). La concentración de calcio y fósforo en la caña y sus fracciones es baja, por lo que debe de considerarse la suplementación mineral en raciones basadas en caña (Amjed *et al.*, 1992).

4.7.2. Potencial forrajero de la caña de azúcar

México, ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en producción de caña de azúcar, con un rendimiento promedio de 59.2 t ha^{-1} , lo que representa el 3.3 % de la producción mundial. La producción promedio mundial es de 60.8 t ha^{-1} . En el estado de Tabasco se reportaron 25 512 ha sembradas con caña de azúcar, de las cuales el 78.9 % fue producido en ejidos (INEGI, 1991).

El potencial forrajero de la caña de azúcar radica en la productividad del cultivo. Para Tabasco se tiene un rendimiento promedio de $65 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, y existen reportes de 89 a $158 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Salgado *et al.*, 1993). Al igual que otros cultivos, los rendimientos de caña son variables, en el orden de 56 hasta 397 t ha^{-1} de materia verde (Molina, 1990). La máxima masa de tallos cosechables es alrededor de $225 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ en peso fresco, equivalente a 45 t de materia seca, y se estima que se pueden obtener hasta 61 t de biomasa seca por hectárea. (Tijerina y Crespo, 1998).

Aranda y Losada (1980) evaluaron plantas de caña de la variedad B- 4362 de 5 a 20 meses de crecimiento. El peso de las plantas se incrementó con la edad siendo de 0.46 hasta 2.30 kg para las cañas de 5 a 20 meses, respectivamente, con un incremento en el número de canutos (4.45 a 25.33) y de hojas (9.75 a 11.4). El peso del cogollo se incrementó de 180 a 1,767 g.

4.7.3. Sustentabilidad del uso de la caña de azúcar en la ganadería bovina.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es un cultivo de extraordinaria capacidad productiva, que con el manejo adecuado, produce volúmenes superiores a

las 100 t ha⁻¹ de tallos, y si se incluyen las hojas y puntas, que no se emplean para la producción de azúcar; el volumen de biomasa vegetal se incrementa en 20 %. Esa productividad se explica por su elevada eficiencia fotosintética, que le permite una mayor utilización de la energía solar y consecuentemente, un mayor coeficiente de absorción del CO₂ atmosférico, en comparación con otros cultivos comerciales (Alexander, 1985 y 1986). Desde inicios de la década de los 90's, se ha trabajado sistemáticamente para lograr una agricultura cañera ecológica, orgánica, menos dependiente de insumos químicos y basada en el más moderno desarrollo científico-técnico con racionalidad ecológica y sustentabilidad económica (Rhodes y Rank, 1991).

El uso de la caña de azúcar durante más de 400 años como materia prima para la producción de azúcar, representa una de las actividades más conocidas, sin embargo, de las 250 millones de toneladas de caña que se producen anualmente en el mundo, dos terceras partes se destinan a la producción de alcohol etílico usado como combustible automotor, y como aditivo de gasolina. Pensando en un aprovechamiento integral de la caña como fuente de biomasa, hay que tener en cuenta que además de los tallos, que es la fracción empleada para la producción azucarera, la caña está integrada también por cantidades apreciables de hojas y cogollo (puntas). Al momento de la cosecha, la fracción puntas (cogollos) más hojas (verdes y secas), es un residuo que se quema o desaprovecha casi universalmente (Suárez y Morín, 2005). El Cuadro 4 muestra la composición química de ambas fracciones.

Cuadro 4. Componentes de la caña de azúcar (%)

Componentes	Tallos	Puntas y Hojas
Materia Seca	29.0	26.0
Azúcares Totales	15.4	0.2
Sacarosa	14.1	-
Lignocelulosa (fibra)	12.2	19.8
Cenizas	0.5	2.3
Otros componentes	0.8	2.4
Agua	71.0	74.0

Noa, 1982.

Hoy en día, se busca combinar el aprovechamiento integral de la caña y la utilización de los subproductos de la industria azucarera. La diversificación se relaciona con el uso integral de la caña de azúcar, la optimización del uso de los subproductos de la fabricación de azúcar y su empleo como materias primas para su transformación a otros productos valiosos con repercusión económica y social. Con los esquemas actuales de procesamiento de caña para producción de azúcar, por cada 100 t de tallos limpios que entran a la fábrica, se pueden obtener elevadas cantidades de productos, como se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Productos de procesamiento de 100 t de caña de azúcar (tallos limpios)

Productos	Cantidad, t
Azúcar, 96 % Pol	11.0
Bagazo, 50 % humedad	27.5

Miel Final, 88 % Sólidos	3.5
Cachaza, 75 % humedad	2.5
Residuos agrícolas	20.0

Casanova, 1982.

Se busca combinar el aprovechamiento integral de la caña y la utilización de los subproductos de la industria azucarera. La diversificación se relaciona con el uso integral de la caña de azúcar, la optimización del uso de los subproductos de la fabricación de azúcar y su empleo como materias primas para su transformación a otros productos valiosos con repercusión económica y social.

Los azúcares solubles, principalmente sacarosa, glucosa y fructuosa, pueden extraerse en solución acuosa mediante molinos o difusores, tal como se hace para la producción de azúcar o alcohol, las posibilidades de transformación de estos azúcares por vía química o biotecnológica en otros productos, darían un listado prácticamente interminable (Cuadro 6).

La rentabilidad de los productos derivados de la miel final depende del precio de ésta. Pueden emplearse mieles intermedias del proceso azucarero, e incluso partir del azúcar como materia prima, tal como se hace en Cuba para la producción de dextrana, glucosa y sirope de fructuosa, tensoactivos biodegradables, entre otros (Cordovés, 1978).

Cuadro 6. Derivados de los azúcares de la caña

Producto	Proceso		Utilización en
	Químico	Biotechnológico	
Azúcar	X		Alimentación
Glucosa	X		Alimentación y farmacéutica
Fructuosa	X		Alimentación y farmacéutica
Alcohol etílico		X	Combustible, bebidas, químicos
Levaduras		X	Piensos, panadería, bebidas
L-lisina		X	Piensos y alimentos
Acido cítrico		X	Alimentación y farmacéutica
Acido láctico		X	Químicos y farmacéutica
Acido acético		X	Varias industrias
Acido oxalico	X		Químicos y construcciones
Glutamato mono-Na		X	Alimentación
Acetona y butanol		X	Químicos
Dextrana y xantano		X	Aglutinante, espesante
Sorbitol y manitol	X		Alimentación y farmacéutica

Suárez y Morín, 2005

Por su parte, la fracción lignocelulósica de la caña, el bagazo residuo resultante al extraer el jugo azucarado, o la paja (hojas y puntas), pueden tener diversas aplicaciones. El bagazo es un combustible que en los esquemas actuales de producción de azúcar se emplea para obtener la energía que requiere la fábrica. Con esquemas térmicos eficientes, un ingenio azucarero puede autoabastecerse

energéticamente y obtener sobrantes de bagazo hasta de 30 %, disponibles para otros usos (Cordovés, 1978).

Los dos problemas fundamentales a considerar en el diseño de una base alimentaria para cualquier tipo de animal son los requerimientos de la energía metabolizable y la proteína. El modelo que podemos llamar clásico o tradicional resuelve estos problemas a partir del uso de pastos con altos rendimientos, cereales y fuentes de proteína. La caña de azúcar y los subproductos de la industria azucarera, ofrecen alternativas de solución para la energía metabolizable y para el suministro de proteínas. Estas alternativas tienen importancia económica para los países de clima tropical y representan una contribución estratégica a largo plazo para aliviar la competencia entre el hombre y la ganadería en el consumo de cereales y energía (Pimentel, 1997; Preston, 1997).

Las experiencias de más de 15 años en varios países han llevado a establecer la posibilidad técnica y las ventajas económicas de la caña de azúcar como base energética para la alimentación del ganado vacuno y la producción de carne y de leche (Preston, 1977; Murgueitio, 1990).

Estos sistemas adquieren especial relevancia para los países de clima tropical durante el período de seca, pues coincide que ésta es la época óptima para la cosecha de la caña y a su vez la de más crítica disponibilidad de pastos y forrajes. Cuando se satisfacen algunos requerimientos de complementación, las dietas basadas en caña integral molida permiten producciones de leche de 10 a 12 L d⁻¹ y

ganancias en peso superiores a los 800 g d⁻¹ diarios (Álvarez, 1986; Preston y Murgueitio, 1988).

Incrementar el contenido de proteína verdadera de la caña mediante fermentación sólida de los carbohidratos solubles presentes en la misma es un aspecto de interés. Experiencias recientes en Cuba generaron resultados alentadores y comienza a generalizar el uso de un producto denominado saccharina, que llega a tener un contenido de proteína de 6 a 8 % de la materia seca (Torres, 2003).

El empleo exitoso de melaza o caña integral como fuente de energía en rumiantes, depende de una adecuada complementación o combinaciones de forrajes y concentrados proteicos restringidos como aporte de nutrientes sobrepasantes (Preston, 1977). El uso de mieles para ganado vacuno se emplea en Cuba desde hace años al igual que en otros países; sin embargo, en las dietas a base de mieles se suministra urea como fuente de nitrógeno fermentable y se complementan con forraje, minerales y proteína verdadera (Figueroa y Ly, 1990).

La cosecha de la caña sin quemar constituye un aspecto de importancia para la protección del medio ambiente. Esto es técnica y económicamente viable e introduce beneficios adicionales a partir del aprovechamiento de los residuos agrícolas. El llamado Sistema Cubano de Cosecha está diseñado con esta concepción y se ha perfeccionado a lo largo de muchos años de explotación extensiva (Acosta, 1992), éste tiene un tremendo impacto en múltiples aspectos de la

producción cañera; que inciden favorablemente, ya sea desde el punto de vista tecnológico, económico, como de protección del medio ambiente; pues se reducen labores de cultivo, consumo de agrotóxicos y los costos de producción, además del efecto benéfico al medio ambiente por reducción de la contaminación del aire y de la degradación de los suelos. Para lograr esto se ha recorrido un largo camino en el cual se ha buscado el manejo de variedades que permitan el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en las zonas tropicales, así como presentar una alta resistencia a enfermedades, con el objetivo de disminuir costos en insumos químicos, otra actividad es la consulta de dosis necesarias para nutrir la tierra, evitando uso intensivo e innecesario además de dañino para el suelo, esta se hace mediante pruebas de laboratorio que determinan que y cuánto necesita la tierra para expresar una producción deseable. El manejo de compostas empieza a manejarse; sin embargo, aun son pocos los sitios que llevan a cabo su aplicación, con esta aplicación se espera disminuir aun más los costos de producción e incrementar el aprovechamiento del cultivo. De acuerdo con las experiencias adquiridas, se puede deducir que es posible desarrollar una agricultura cañera con técnicas orgánicas y con bajos insumos químicos contaminantes. Para lograr esta aspiración, resultan factores vitales la aplicación de los adelantos científicos y técnicos; además, de una fuerte integración entre el campo y la industria (Suárez y Morin, 2005).

La diversificación del uso de la caña, además de representar una alternativa a la crisis del mercado azucarero, constituye una estrategia lógica y económicamente ventajosa de desarrollo. El abanico de productos de alto valor que pueden obtenerse de la caña y sus derivados de la industria, es muy variado. La caña de azúcar y los

subproductos de la industria azucarera permiten crear una base alimentaria para la ganadería en las condiciones tropicales, comparable, a los esquemas tradicionales de pastos y granos utilizados en las regiones templadas (Suárez y Morín, 2005).

4.8. Ensilado

El ensilado es un método de conservación de forrajes o subproductos alimenticios, en el cual se presenta poca pérdida de nutrimentos, obteniéndose un producto con un valor nutricional similar al producto inicial (Bolsen *et al.*, 1992; Kung *et al.*, 1993). Para lograr este propósito es necesario mantener en el material ensilado condiciones anaeróbicas, lo cual se logra mediante la compactación y la eliminación del aire (Rees, 1982). En un ambiente anaeróbico se favorece el desarrollo de bacterias ácido lácticas, las cuales fermentan azúcares solubles como glucosa, fructosa, sacarosa, fructosanas y pentosanas, originando productos finales como ácido láctico, en mayor proporción y ácidos acético, propionico y butírico en menor grado (Ostling y Lindgren, 1993). El proceso de fermentación en el ensilaje se realiza mediante una fase aeróbica y una anaeróbica.

En la fase aeróbica o de respiración, la presencia de oxígeno atrapado en la masa del forraje compactado y el existente en el espacio intersticial, permite que las células continúen respirando provocando la oxidación de almidones y azúcares, produciendo agua y calor, originando una pérdida de materia orgánica y energía (Woolford *et al.*, 1982; Cleale *et al.*, 1990).

La fase anaeróbica inicia cuando el oxígeno desaparece estimulando el desarrollo de las bacterias anaeróbicas facultativas, cuya actividad fermentativa sobre los azúcares hidrosolubles genera ácido láctico (Bolsen *et al.*, 1992), iniciándose así el descenso de pH. La disminución rápida del pH y la acidificación del material ensilado, permiten obtener un producto de buena calidad con poca pérdida de nutrientes; cuando no se cumplen las condiciones anteriores resulta un ensilado de mala calidad, caracterizado por alta concentración de amonio y butirato, y baja concentración de lactato (Wilkins, 1981; Moon, 1983). Una vez que el material ensilado alcanza un pH entre 3.5 y 4.0, los microorganismos responsables de la acidificación detienen su actividad, al igual que las enzimas vegetales presentes. El producto obtenido se considera estable a cambios bioquímicos en sus constituyentes nutritivos.

El manejo de forraje ensilado provee la oportunidad de cosechar los forrajes a un nivel de digestibilidad deseado para ofrecerlo como alimento al ganado. La producción de ensilaje minimiza los riesgos de pérdidas en el campo, las cuales pueden ser ocasionadas por las lluvias durante la fabricación de heno. Los procesos de fabricación de ensilados no están libres de riesgo, ya que ocurren pérdidas durante el secado, la fermentación y el destape del silo. Se ha estimado que las pérdidas pueden representar de 10 a 50 % de la materia seca ensilada (Harrison *et al.*, 1994).

El forraje ensilado, después de una buena fermentación, se caracteriza por un pH menor a 4.5, predominio de ácido láctico sobre el ácido acético, contenido de

nitrógeno amoniacal menor a 1 % de la materia seca (MS) y ácido butírico menor a 0.5 % en base seca. (Harrison *et al.*, 1994).

La exclusión rápida del aire y la promoción de un medio anaeróbico es indispensable para minimizar pérdidas durante el almacenaje y durante el destape del silo. Si se establecen especies de microorganismos como clostridia o listeria durante el ensilaje, el producto final puede causar problemas de salud en los animales y disminución en su productividad. Durante el destape del silo, ciertos microorganismos pueden causar un deterioro aeróbico, por ejemplo bacterias ácido acéticas y levaduras. Aproximadamente, 15 % de la materia seca ensilada se pierde en condiciones cuando se destapa el silo y si la cantidad de ensilado descubierta es excesiva, por lo que se sugiere cortes de 10 a 15 cm de espesor (Harrison *et al.*, 1994).

4.9. Microorganismos en el proceso de fermentación del ensilaje

Entre los principales microorganismos involucrados en el proceso de fermentación del ensilaje están bacterias lácticas, formadoras de endosporas, coliformes, propiónicas y hongos y levaduras (Lin *et al.*, 1992a).

4.9.1. Bacterias ácido lácticas

Estas bacterias confieren un pH menor a 4.0 al material ensilado (Lin *et al.*, 1992b), siendo fundamental para una óptima preservación del ensilaje y reducción de la pérdida de nutrimentos (Seale, 1986; Cleale *et al.*, 1990). Las bacterias ácido lácticas son Gram positivos, microaerofilicos, no motiles, fermentadores de azúcares

y pueden tener una fermentación homofermentativa o heterofermentativa. En la ruta homofermentativa se forman dos moles de ácido láctico por mol de glucosa fermentada; en tanto que en la vía heterofermentativa se produce un mol de ácido láctico, un mol de etanol y un mol de CO₂ , por mol de glucosa fermentada (Seale, 1986). La ruta homofermentativa es más deseable que la heterofermentativa, porque es más eficiente en la producción de ácido láctico, considerado como un compuesto conservador de alimentos de fácil asimilación por el animal que se asocia con una buena palatabilidad (Henderson y McDonald, 1984). Los géneros más importantes de bacterias ácido lácticas son: *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* y *Pediococcus* (Lin *et al.*, 1992a; Westby *et al.*, 1993).

Los productos finales del metabolismo de *Lactobacillus spp*, incluyen lactato, acetato, etanol, CO₂, formato o succinato; no producen ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono. La temperatura óptima para su crecimiento, oscila entre 30 y 40 °C con un pH inicial entre 4.5 y 6.5, pero el crecimiento cesa cuando el pH es inferior a 4.0 ó 3.6 (Sneath *et al.*, 1986). Las principales especies de *Lactobacillus* encontradas en ensilajes son *L. plantarum*, *L. brevis*, *L. homohiochii* y *L. celobiosus* (Fenton, 1987).

La mayoría de los *Streptococcus* son anaerobios facultativos, catalaza negativos, algunos requieren CO₂ para su crecimiento y otros suelen ser anaerobios estrictos. Fermentan carbohidratos con producción de ácido láctico y algunas especies fermentan ácidos orgánicos y aminoácidos. Crecen en medios con carbohidratos fermentables suplementados con extracto de levadura (Sneath *et al.*,

1986). Las principales especies de *Streptococcus* presentes en ensilados son *S. faecium*, *S. lactis*, *S. raifinolactis* y *S. cremoris* (Burghardi *et al.*, 1980; Fenton, 1987).

4.9.2. Bacterias formadoras de espora

En orden de importancia, los géneros asociados con el ensilaje son *Clostridium* (condiciones anaerobias) y *Bacillus* (condiciones aerobias) y se clasifican de acuerdo al sustrato fermentado. El tipo sacarolítico (*C. butyricum*, *C. paraputrificum*, *C. sphenoides* y *C. tyrobutyricum*) utiliza azúcares, ácido láctico; mientras que, el tipo proteolítico (*C. bifermentans* y *C. sporogenes*) desdobla proteínas y aminoácidos (Woolford, 1984). Estas bacterias son catalasa positivas, presentan motilidad y requieren de condiciones estrictamente anaeróbicas (Sneath *et al.*, 1986). La presencia de *Clostridium spp* en el material ensilado se debe a contaminantes provenientes de partículas de suelo; por tanto su presencia no se puede evitar pero se debe controlar, ya que afecta negativamente la calidad del ensilado (Henderson, 1993). Ensilajes con menos de 28 % de MS son susceptibles a la putrefacción por fermentación de clostridios, lo cual reduce la calidad del producto. Esto sucede con valores de pH mayores a 4.2 (Ward *et al.*, 2001).

Algunos microorganismos del género *Bacillus* participan en el deterioro aerobio del ensilado una vez que se abre el silo, durante el almacenamiento de ensilados mal sellados y durante el retiro del material del silo. Las especies aisladas de los ensilados son *Bacillus cereus*, *B. coagulans* y *B. subtilis* (Fenton, 1987).

4.9.3. Bacterias coliformes

Dentro de este grupo destacan por su importancia las enterobacterias que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*; son bacterias Gram negativas anaeróbicas facultativas, catalasa positivas, frecuentemente móviles, fermentan glucosa y otros carbohidratos, transforman el ácido en alcohol. Reducen nitratos a nitritos, hidrolizan urea produciendo amoníaco y tienen la capacidad para desaminar aminoácidos, afectando el valor nutritivo del material ensilado (Henderson, 1993). Las enterobacterias son microorganismos indeseables en el ensilaje porque compiten con las bacterias productoras de ácido láctico por carbohidratos solubles en los estados iniciales del proceso de fermentación. En ciertas circunstancias, por ejemplo, cuando el proceso de fermentación es lento estas bacterias pueden sobrevivir en el ensilado, favoreciendo una fermentación etanólica o butírica y una alta concentración de amoníaco en los forrajes ensilados (Henderson, 1993; Heron *et al.*, 1993; Ostling y Lindgren, 1993).

4.9.4. Hongos y levaduras

Los hongos y las levaduras se asocian más con efectos nocivos que benéficos, por su capacidad para utilizar el ácido láctico del ensilado (Moon y Ely, 1979; Jonsson y Pahlow, 1984). En condiciones anaeróbicas, las levaduras crecen rápidamente produciendo la oxidación de los carbohidratos hasta CO₂ y agua (Woolford *et al.*, 1982). Se ha determinado que tanto las levaduras como los hongos filamentosos son los principales agentes responsables del deterioro aeróbico en los ensilados. Hongos filamentosos de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Mucor* son importantes en el proceso de deterioro aeróbico (Britt y Huber, 1975). Aunque también se ha reportado, que los principales agentes directamente responsables del

deterioro aeróbico son las levaduras (Moon y Ely, 1979; Woolford *et al.*, 1982; Jonsson y Pahlow, 1984; Woolford, 1990; Phillip y Fellner, 1992).

4.10. Pasto Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*)

Es un pasto proveniente del este de África, se expandió rápidamente, hacia la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales del país, fue introducido a México hace más de cuatro décadas, puede producir anualmente 12 a 15 t ha⁻¹ en suelos con poca materia orgánica. El contenido de proteína total en base seca y la digestibilidad de la MS varían de 5.7 a 15 % y de 35.4 a 55.7 % lo cual depende de la edad, época de corte y tipo de suelo (Meléndez *et al.*, 1980). Responde muy bien a los fertilizantes nitrogenados y puede producir hasta 25 t ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca (Meléndez, 1996). Resiste muy bien la sequía y exceso de humedad temporal, se le considera prudentemente tolerante a la mosca pinta y la principal plaga de este pasto es el gusano “falso medidor”. El pasto Estrella de África es sumamente agresivo, compite bien con las malezas, es fácil de establecer y de alta resistencia a la salinidad del suelo (Meléndez, 1996).

El pasto Estrella de África se adapta a una gama muy amplia de suelos; sin embargo, ha tenido problemas de persistencia en los suelos muy ácidos (pH menor de 5) y con altos niveles de aluminio intercambiable. También tiene problemas en suelos inundables, que presentan láminas de agua superior a 20 cm por períodos de más de cuatro semanas; no obstante tolera las condiciones de los suelos llamados “huachirnosos” o muy húmedos. Este pasto no produce semillas fértiles, por lo que

únicamente se puede establecer empleando trozos de tallos o guías, dependiendo del método que se emplee para la siembra (Meléndez, 1996; Gómez, 2003).

Este pasto se considera de una calidad intermedia pero, con un buen manejo, se puede emplear en cualquier sistema de producción de leche o carne, cuando se emplean suplementos fertilizantes. Puede sostener 1 a 1.5 cabezas ha^{-1} año^{-1} ; sin embargo, con la aplicación de 300 kg ha^{-1} año^{-1} de urea, la carga animal se puede elevar de 3 a 3.5 cabezas ha^{-1} año^{-1} . Hay que tomar también en cuenta que durante la época de lluvias el Estrella de África se recupera en 20 a 25 días, en época de nortes requiere 35 días y en la seca 25 a 30 días (Meléndez, 1996; Gómez, 2003).

4.11. Enzimas fibrolíticas en la alimentación del rumiante

Las enzimas fibrolíticas son utilizadas para incrementar la utilización de los alimentos fibrosos y representan una estrategia usada cada vez con más frecuencia en la alimentación de rumiantes. Las enzimas fibrolíticas aisladas de cultivos de hongos y bacterias han mostrado efectos positivos al adicionarse en el proceso de ensilaje de algunos forrajes (Stokes, 1992).

Los complejos enzimáticos, obtenidos de hongos aeróbicos, levaduras naturales o modificadas por ingeniería genética, representan una importante alternativa para incrementar la productividad y reducir los costos en la alimentación de los rumiantes, ya que es factible reducir el uso de granos, debido al mayor aporte de energía de los sustratos fibrosos (Gómez, 2003).

En el sistema digestivo de los rumiantes existen condiciones que permiten la acción de las enzimas fibrolíticas exógenas, siempre y cuando resistan la degradación de su estructura realizada por enzimas proteolíticas de microorganismos ruminales. Las enzimas exógenas se pueden proteger de la degradación microbiana ruminal mediante reacciones de glucosilación. Las enzimas fibrolíticas exógenas se suministran asperjándolas en los forrajes al momento de ofrecerlos en comederos, para incrementar la digestibilidad de la fibra (Feng *et al.*, 1996).

Un producto enzimático fibrolítico exógeno (Fibrozyme[®], Alltech, INC, USA), consiste en una combinación de extractos de la fermentación de *Aspergillus niger* y *Trichoderma viride* y fermentos solubles, protegidos por glucosilación. Este producto tiene una actividad xilanásica de 100 U g⁻¹ (una unidad xilanásica es la cantidad de enzima necesaria para liberar un micromol de xilosa). Como esta enzima está protegida puede permanecer activa en el rumen por 12 h, aproximadamente (Harris, 1998; Lyons, 1998). Estudios *in vitro* de esta enzima han demostrado efectos benéficos de la adición de Fibrozyme en la digestión de caña integral y sus componentes fibrosos FDN y FDA. Asociados con un mayor crecimiento de microorganismos ruminales (Aranda 2000). Esto explica que las enzimas modifican la solubilidad y la digestibilidad de la fibra, al permitir una mayor actividad de los microorganismos ruminales. Los resultados de Beauchemin *et al.* (1995) con enzimas celulolíticas exógenas, muestran que es posible mejorar en 30 % la respuesta productiva de toretes, a pesar de que las enzimas son degradadas en el rumen.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación

El experimento se realizó en el municipio de Macuspana (Figura 3), estado de Tabasco, en el rancho del Sr. Javier Zermeño, ubicado en la Carretera Federal 186 Villahermosa–Escárcega km 60.1, a orillas del río Tulijá, dentro de la ranchería Pedro C. Colorado, perteneciente al poblado San Diego, localizado en el paralelo 17° 43' 08'' norte y el meridiano 92° 23' 08'' oeste. Con una altitud de 7 msnm.

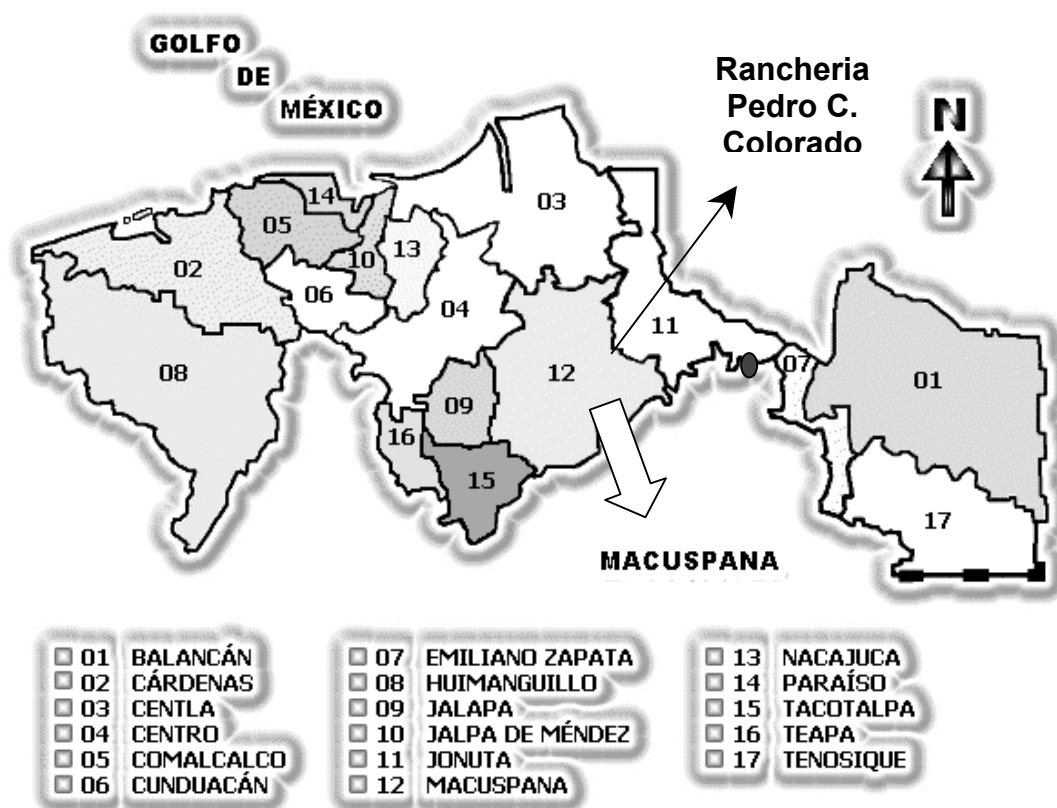


Figura 3. Mapa del estado de Tabasco y sus municipios (INFDM, 2005).

5.2. Climatología

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1981), el clima en la zona es Am (f)'' (i ') gw'', correspondiente a cálido húmedo, con lluvias en verano, con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 a 10.2, con relación a la lluvia total y la precipitación del mes más seco menor de 60 mm. Existe una oscilación térmica entre 5 y 7 °C. Se identifica una época seca marcada en primavera y una de menor duración en verano. El periodo más caliente del año ocurre entre los meses abril y mayo, la temperatura media anual es de 26.2 °C, la precipitación pluvial de 1868.9 mm y la humedad relativa promedio de 80 %, con una máxima de 90 y mínima de 68 %. Los suelos corresponden al grupo de los vertisoles, son muy arcillosos y presentan fuertes agrietamientos en la época de secas, con problemas de drenaje. La mayor velocidad del viento ocurre en los meses de noviembre y diciembre, alcanzando los 35 km h⁻¹, y en junio y julio se presentan las menores corrientes de aire con velocidad de 18 km h⁻¹.

5.3. Animales

Se usaron 40 toretes con cruza genéticas de brahmán, suizo, y beefmaster con peso vivo inicial de 376 ± 7.79 kg. Antes de iniciar el experimento, los animales fueron pesados, desparasitados con ivermectina al 1 % (Ivomec[®], 10 mg por cada 50 kg de peso vivo); y vitaminados (Vitamina ADE inyectada, Adevin[®], 5 mL animal⁻¹); además, cada 20 días los animales se bañaron por aspersion para control de parásitos externos empleando Amitraz al 12.5 % (Bovitraz[®]). Los toretes se

identificaron con aretes de plástico numerados progresivamente del 1 al 40, aleatorizando la asignación de estos. Una vez identificados, se asignaron 10 toretes en cada tratamiento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Tratamientos experimentales.

Tratamientos (T)	Descripción
T1	Sólo pastoreo
T2	T1 + Ensilado de caña (EC) + 0 g enzima ¹
T3	T1 + EC + 15 g enzima ¹
T4	T1 + EC + 30 g enzima ¹

1. Fibrozyme[®].

5.4. Alimentación de los toretes

De acuerdo con los tratamientos planteados para este trabajo, el manejo de la alimentación fue pastoreo y suplementación con ensilado de caña de azúcar. La enzima Fibrozyme[®] se utilizó como aditivo para mejorar la digestibilidad ruminal.

Se estableció un sistema de pastoreo rotacional, en una pradera de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) de 3.6 ha, dividida en 22 potreros. Once potreros de 830 m² cada uno, se emplearon para los animales que se mantuvieron sólo en pastoreo (T1; Cuadro 8); los 11 potreros restantes, con superficie individual de 2500 m², se destinaron para los animales que recibieron suplementación con ensilado de caña de azúcar (T2, T3 y T4). Los potreros fueron delimitados perimetralmente con

alambre de púas y las divisiones internas con cerco eléctrico. El periodo de ocupación fue de tres días y 30 días de descanso.

El experimento se condujo del 17 de septiembre al 16 de diciembre, periodo comprendido entre la época de lluvias y de nortes de la región, con una duración de 90 días, tiempo estimado para que los animales alcanzaran el peso de mercado (450 a 500 kg). Durante este periodo, los animales permanecieron todo el día en la pradera, solamente dejaban el potrero por periodos cortos para recibir el ensilado y agua.

El ensilado se elaboró en el Campo Experimental del Colegio de Posgraduados Campus Tabasco, ubicado en el Km. 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, municipio de Cárdenas, Tabasco. El ensilado se hizo con caña de azúcar (12 a 18 meses de edad) picada, la cual se mezcló con maíz molido, urea, sales minerales y sulfato de amonio (Cuadro 8); la mezcla se empaquetó en bolsas de polietileno de 40 kg, y se extrajo el aire con una aspiradora y se amarraron con cinturones de plástico para evitar la entrada de aire (Figura 4) y favorecer el proceso de fermentación que duró 25 días. Para fines del presente trabajo se elaboraron 15 t de ensilado, las cuales se trasladaron del campo experimental del Colegio de Postgraduados al rancho del Sr. Javier Zermeño, donde se realiza el ensayo con los toretes.

Corte de la caña



Molido de la caña



Expandir la caña



Preparar los ingredientes



Mezclarlos y añadirlos
a la caña



Revolver la mezcla



Embolsar



Extraer el aire



Amarrar y almacenar



Figura 4. Diagrama de la elaboración del ensilado

Cuadro 8. Proporción de los ingredientes del ensilado de caña de azúcar utilizado en el experimento.

Ingredientes	kg	% Base Fresca
Caña picada	40	87.9
Urea	0.600	1.5
Minerales	0.200	0.5
Sulfato de amonio	0.012	0.03
Maíz molido	4.0	10

El ensilado se ofreció dos veces al día (7:00 y 16:00 h), en corraletas individuales de madera (Figura 5), en las que se midió el consumo. Las corraletas se construyeron en un punto central a todos los potreros, para facilitar el manejo del ganado.



Figura 5. Corraletas individuales para medir consumo de ensilado

El ensilado se proporciono *ad limitum*; sin embargo, se cuantificó lo ofrecido y el rechazo para estimar el consumo individual. El periodo de finalización con ensilado se planeo de tal forma que el costo por suplementación no afectara los costos de producción (Cuadro 9).

Cuadro 9. Costos de producción del ensilado de caña de azúcar

Ingredientes	Cantidad	Costo del ensilado, \$ t ⁻¹
Caña, kg	1000	400.00
Urea, kg	15	57.00
Sales Minerales, kg	5	43.00
Sulfato de amonio, g	300	0.50
Maíz molido, kg	100	216.66
Bolsa, 60 x 90 cm	25	22.5
Cinturón de plástico, 30 cm	25	15
Jornales	3	210
Gasolina, L	4	26.8
Costo Total		991.46

Modificado de Aranda, 2000.

El producto Fibrozyme[®], consiste en una mezcla de enzimas fibrolíticas exógenas, obtenidas de extractos de la fermentación de *Aspergillus niger* y *Trichoderma viride* y fermentos solubles protegidos por glucosilación. Para asegurar el consumo del producto enzimático, este se ofreció mezclado con 1 kg de ensilado, antes de proporcionar todo el suplemento.

Se tomaron muestras de ensilados al momento de elaborarlo, al abrir las bolsas para ofrecerlo a los animales y del material rechazado. Los potreros también se muestrearon al momento de entrar los toretes a un potrero (cada 30 d). Las muestras colectadas fueron sometidas a análisis químico y bromatológico, en los

laboratorios de Ciencia Animal y de Suelos y Plantas y Agua, pertenecientes al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en el km 3.5, periférico Carlos A. Molina, H. Cárdenas, Tabasco.

5.5. Variables evaluadas

5.5.1. Evaluaciones en el ensilado de caña de azúcar

5.5.1.1. pH

Se determinó el pH del ensilado al momento de elaborarlo y al final del periodo de fermentación. Para esto, una muestra de 10 g de ensilado se mezcló con 90 mL de agua destilada, se agitó durante 5 minutos y posteriormente se tomó la lectura con un potenciómetro marca Orión (modelo SA 210) (Hardy *et al.*, 1977).

5.5.1.2. Concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH₃)

De la solución elaborada para medir el pH se determinó la concentración de nitrógeno amoniacal mediante la técnica de McCullough (1967). La muestra se filtró con gasa, se almacenó en frascos de 50 mL, se acidificó con 2 mL de ácido clorhídrico al 25 % y se refrigeró a 4 °C hasta el momento de su análisis. Para el análisis de las muestras se tomaron 4 mL para mezclarlo con 2 mL de ácido metafosfórico al 25 % (proporción 4:1 v/v). Se centrifugaron a 3 500 rpm durante 10 min en viales con un volumen aproximado de 6 mL, se tomó 1 mL del sobrenadante y se almacenó en refrigeración a 4 °C.

Posteriormente, 20 μL del sobrenadante se vertieron en tubos de 10 mL, a los cuales se adicionó 1 mL de fenol y 1 mL de hipoclorito de sodio basificado con NaOH (5 g de NaOH y 10 mL de hipoclorito de sodio), y se adicionaron 5 mL de agua destilada. Los tubos se incubaron a 37 °C durante 30 min y posteriormente se agitaron con un vortex. La absorbancia se registró en un espectrofotómetro con luz ultravioleta visible (VARIAN, Modelo CARY 1-E) a 630 nm.

Para conocer la concentración final de amoniaco de las muestras se preparó una curva estándar, para lo cual se desecó NH_4Cl a 105 °C por una hora y se uso una solución de 3.82 g 1000 mL^{-1} , de la cual se tomaron alícuotas de 500 μL , 1, 2, 3, 4 y 5 mL para llevarlas a un volumen de 10 mL; estas diluciones equivalen a una concentración de N- NH_3 expresada como mg dL^{-1} .

5.5.1.3. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)

De las muestras procesadas para la determinación de nitrógeno amoniacal, se determinó la concentración de AGV por cromatografía de gases en un cromatógrafo marca Varian, empleando la metodología descrita por Erwin *et al.* (1961).

5.5.1.4. Concentración de lactato

Se determinó por espectrofotometría a partir de las muestras fijadas con ácido metafosfórico al 25 % de acuerdo a el método descrito por Madrid *et al.* (1999).

5.5.2. Análisis bromatológico del pasto y del ensilado

5.5.2.1. Materia seca (MS)

Se determinó pesando 400 g de materia verde e introduciéndolas en una estufa de aire forzado a 65 °C por 48 horas y por diferencia de peso se obtuvo el contenido de MS (AOAC, 1990).

5.5.2.2. Proteína cruda (PC)

Se pesó 0.1 g de muestra de MS de cada una de las muestras y se determinó el porcentaje de nitrógeno total, por el método Microkjeldhal AOAC (1990).

5.5.2.3. Fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA)

Se pesaron 0.4 g de MS de cada muestra y se determinó de acuerdo a la metodología propuestas Van Soest *et al.* (1991).

5.5.3. Evaluaciones realizadas en el ensayo con los toretes

5.5.3.1. Consumo de materia seca del ensilado

Se calculó como la diferencia entre el alimento ofrecido y el rechazado por día. Para ajustar los datos a materia seca, se obtuvo una muestra del suplemento y se determinó el contenido de humedad.

5.5.3.2. Consumo de materia seca del forraje

Se utilizó la técnica de dos marcadores, usando óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador externo y las cenizas insolubles en ácido (CIA) como marcador interno (Geerken *et al.*, 1987). A los 70 días de haber iniciado el periodo experimental, se dosificó 6 g de Cr_2O_3 durante 15 días. En los últimos cinco días de la dosificación con óxido de cromo se colectaron muestras de heces directamente del recto para determinar la concentración de Cr y CIA. Las muestras de heces se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C por 72 horas. En un molino de martillos marca Thomas Willey® con malla de 1 mm, las heces fueron molidas y se formó una muestra compuesta de los cinco días de colecta por cada animal.

El contenido de cenizas insolubles en ácido (CIA) se determinó mediante la metodología desarrollada por Keulen y Young (1977) y la concentración de Cr en heces se determinó en un espectrofotómetro de absorción atómica utilizando la técnica de Williams *et al.* (1962).

La producción de materia seca fecal se calculó con la fórmula descrita por Church (1988).

$$\text{Producción fecal}(\text{g d}^{-1}) = \frac{\text{Dosis del marcador}(\text{g d}^{-1})}{\text{Concentración del marcador en heces}(\text{g g}^{-1}\text{MS})}$$

El consumo de forraje (Kg MS d^{-1}) para cada animal se estimó con la fórmula descrita por Geerken *et al.* (1987) con CIA.

$$\text{Consumo de MS del pasto (g d}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{CIA}_H \times \text{PTH}) - (\text{CIA}_S \times \text{CTS})}{\text{CIA}_P}$$

Donde:

CIA_H = Concentración de cenizas insolubles en ácido (CIA), en heces, g Kg^{-1} MS

PTH = Producción total de heces, obtenida por la fórmula descrita anteriormente usando el Cr_2O_3 como marcador externo, g d^{-1}

CIA_S = Concentración de CIA del suplemento, g Kg^{-1} MS

CTS = Consumo total del suplemento, g MS

CIA_P = Concentración de CIA en el pasto, g g^{-1} MS

De esta forma se estimó el consumo de forraje restando la contribución de cenizas insolubles en ácido provenientes del consumo de suplemento (Geerken *et al.*, 1987).

5.5.3.3. Digestibilidad total del forraje

Se estimó a través del procedimiento utilizado por Geerken *et al.* (1987), asumiendo una contribución de la materia seca para cada suplemento (cantidad acorde a la digestibilidad *in situ*), a la excreción total. El valor de la digestibilidad del suplemento varió con relación a la prueba de digestibilidad *in situ*, que se realizó para el suplemento a las 72 h de incubación. Esta variable se estimó con la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad total del pasto} = \frac{\text{CMS Forraje (kg)} - \text{Heces Forraje (Kg)}}{\text{CMS Forraje (kg)}} * 100$$

Donde:

CMS = consumo de Materia Seca

5.5.3.4. Digestibilidad *in situ*

Se determinó mediante la técnica de Vanzant *et al.* (1998) usando bolsas de nylon (5 x 7.5 cm; tamaño de poro de $52 \pm 10 \mu\text{m}$) que contenían 5 g de muestras (MS) de los suplementos (ensilado de caña y enzimas) y del pasto Estrella africana que fueron previamente molidas en un molino de martillos, marca Thomas Willey® con malla de 1 mm. Se colocaron dos bolsas de cada suplemento dentro del rumen de un bovino mantenido 15 días antes de iniciar las incubaciones en pastoreo de Estrella africana y suplementado (3 % PV base húmeda) con ensilado de caña de azúcar.

Las bolsas se incubaron durante 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48 y 72 h. Posteriormente las bolsas se lavaron con agua corriente, agitando manualmente hasta que el efluente de las bolsas se tornó claro, se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C por 48 horas. Se midió el contenido de MS en el residuo de cada bolsa, y la digestibilidad *in situ* se estimó como el porcentaje de desaparición calculándolo de la siguiente forma:

$$\text{DISMS del Pasto} = \frac{(\text{DISMS}_{\text{T}}) - (\text{DISMS}_{\text{ca}}) (\text{aporte de MS caña})}{\text{Aporte de MS pasto}}$$

Donde:

DISMS = Digestibilidad *in situ* de la materia seca, %

DISMS_T = Digestibilidad *in situ* de la materia seca total, %

DISMS_{ca} = Digestibilidad *in situ* de la materia seca de la caña, %.

5.5.3.5. Cambio de peso vivo

Se determinó la ganancia diaria de peso (GDP) mediante el pesaje de los animales al inicio del experimento y posteriormente cada 28 días (8:00 h), obteniendo el promedio del peso de tres días consecutivos. El pesaje se realizó con una báscula digital modelo EC-2000, con barras GP600, marca Tru-Test.

5.5.3.6. Colorimetría de la grasa en la canal

Los animales se sacrificaron cuando alcanzaron un peso promedio de 481 ± 5.92 . El sacrificio se realizó en el rastro de la Unión Ganadera Regional de Tabasco (UGRT), ubicado en Villahermosa, Tabasco. Se siguió el proceso de matanza, hasta llegar al cuarto frío, para obtener muestras de grasa de la canal de la zona de la paleta (escápula) y las agujas (lomo anterior).

En las muestras de grasa colectadas se evaluó inmediatamente el grado de pigmentación con un colorímetro portátil de reflectancia, marca Hunterlab, modelo Miniscan XE plus LAV 45/0. El equipo proporcionó los resultados en la escala CIE $L^* a^* b^*$ (Manual MiniScan® XE Plus User`s Guide), con un patrón de observación de 10° y una intensidad de luz de D65 (*Luz solar* de atardecer), sugerido por las recomendaciones de la CIE (Comisión Internacional de Iluminación).

Se usó la escala CIE $L^* a^* b^*$ la cual presenta una amplia gama en el color amarillo, adecuada para medir pigmentación en la grasa. Los valores que emite la escala CIE $L^* a^* b^*$ se describen a continuación:

- Eje L^* (luminosidad) donde: 0 es negro, 100 es blanco.

- Eje **a*** (rojo-verde) donde: los valores positivos son rojos; los valores negativos son verdes y 0 es el neutro.
- Eje **b*** (amarillo-azul) donde: los valores positivos son amarillos; los valores negativos son azules y 0 es el neutro.

Paralelamente al muestreo de la grasa, se realizó una estandarización de colores de la grasa de diferentes gamas presentes en las canales de animales sacrificados dentro del rastro frigorífico, para esto se colectaron muestras de canales producidas bajo distintos tipos de alimentación, se averiguó dentro de la asociación ganadera los nombres de los socios, dueños de los animales enviados a sacrificio y que se seleccionaron como candidatos a ser muestreados, esto fue posible por medio de la numeración interna del frigorífico que se asigna a cada canal, misma que portan las canales hasta llegar a la zona de despiece. Una vez localizado el productor, se le cuestionó acerca del tipo de alimentación durante el tiempo de engorde, si existió alguna suplementación, o aditivos en la dieta, cuál era la base de la alimentación y todo lo concerniente a la dieta que recibió el animal antes de ser sacrificado, con el objetivo de hacer una secuencia de colores de acuerdo a la alimentación, también se le preguntó sobre la edad y peso promedio al sacrificio de sus animales.



Figura 6. Lectura sobre muestra de grasa por colorimetría

Las muestras para la estandarización se obtuvieron de distintas zonas de la canal, para posteriormente sacar un valor representativo por animal, con el que se clasifico de acuerdo al tipo de alimentación y la edad presentada al sacrificio.

Los resultados de estandarización como de los tratamientos, se obtuvieron por triplicado con el colorímetro, por cada muestra adquirida de acuerdo al tratamiento al que fueron sometidos los animales y a la zona muestreada. Para analizar las muestras se tomó en cuenta el valor emitido por el equipo con la variable b^* (amarillo-azul); con base en el porcentaje de pigmentación. Éste se asigno por regla de tres tomando como 100 % el valor más alto de pigmentación que es el de los animales con niveles de pastoreo mayores a cinco años.

5.6. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y 10 repeticiones por cada tratamiento. Los animales se asignaron de forma aleatoria a

los tratamientos. Para el análisis de los datos se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \xi_{ij} \quad \text{Ó} \quad Y_{ij} = \mu + T_i + \beta (X_{ij}...) + \xi_{ij}, \text{ cuando se usó covariable.}$$

Donde: Y_{ij} = Observación j -ésima bajo el tratamiento i -ésimo

β = Coeficiente de regresión

μ = Media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ξ_{ij} = Error experimental

Los datos se analizaron con el procedimiento PROC GLM (SAS, 2003) y la comparación de medias de tratamientos se hizo utilizando la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1988). Para las variables cambio de peso vivo y consumo de suplemento se utilizó el peso vivo inicial como covariable.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 10 se presentan los resultados de la composición química y bromatológica del ensilado, antes y 25 días después del proceso de ensilaje. Los análisis mostraron que a los 25 días los valores de las variables evaluadas se observa acidez considerablemente aceptable, lo cual es un buen indicador del proceso de fermentación. Dentro de las variables que mostraron incrementos durante el proceso de ensilaje, destacan los aumentos en el contenido de MS, PC, FDN y FDA, los cuales se relacionan con un producto de mayor calidad que el observado al momento de elaborar el ensilado.

El aumento en el valor de PC se relaciona con el proceso de síntesis de proteína microbiana a partir de nitrógeno no proteico (NNP) proveniente de la urea, y los carbohidratos de fácil fermentación de la caña de azúcar. Este resultado superior al observado por Batista *et al.* (2001), quienes incrementaron el contenido de PC en 8 %, después de agregar 0.5% de urea a la caña de azúcar. Asimismo, Monroy (2004) reporta valores máximos obtenidos de 14% PC, al adicionar distintos niveles de inclusión de melaza o pulido de arroz en saccharina con 1.5% de urea ensilada. Brown y Adjei (1995) reportaron un aumento de 4.3 a 10.5 % de PC al tratar heno de pasto Guinea con una solución de 4 % de urea, con este dato podemos sugerir que los incrementos observados se encuentran dentro de la capacidad de los microorganismo para sintetizar proteína a partir de NNP, sin importar el tipo de forraje utilizado y que el animal esta adaptado para consumir estas cantidades sin correr algún riesgo de intoxicación, siempre y cuando la urea se encuentra

perfectamente bien mezclada con los demás ingredientes. También Haddad *et al.* (1995) obtienen resultados similares, incrementando el contenido de PC en 3.7 % en paja de trigo, después de agregar una solución acuosa de 3 % de urea.

Cuadro10. Composición química y bromatológica del ensilado de caña de azúcar, antes y después del proceso de fermentación

Componentes	Periodo de muestreo	
	<i>Día de la elaboración</i>	<i>Después de 25 días</i>
Materia Seca, %	32.6 ^b	51.2 ^a
Proteína cruda, %	7.7 ^b	15.5 ^a
FDN, %	37.9 ^b	59.5 ^a
FDA, %	21.4 ^b	31.4 ^a
Hemicelulosa %	16.5 ^b	28.1 ^a
Cenizas, %	1.9 ^b	5.7 ^a
Nitrógeno Amoniacal, **	—	117.7
Lactato, *	73.1 ^b	187.6 ^a
Ácido acético, *	—	116.1
Ácido Propiónico *	—	0.19
Acido butírico, *	—	0.67
pH	5.83 ^b	3.79 ^a

a, b Medias con diferente literal en la misma fila indican diferencias (Tukey, P < 0.05). * g kg⁻¹ de materia seca, ** g kg⁻¹ N total

La comparación de resultados del análisis bromatológico antes y después del proceso de fermentación, permitió determinar que durante el proceso de ensilado incrementa ($P < 0.05$) en 21.6 y 10 % el contenido de FDN y FDA, respectivamente; donde la fracción de hemicelulosa aumentó de 16.5 a 28 %. En contraste, Elias y Lezcano (1993) observaron valores similares en el contenido de FDN (59.9 %), con un valor más elevado en el contenido de FDA (41.63 %), al evaluar el efecto de la fuente de nitrógeno y algunos factores de crecimiento en la población de levadura que se establece en la producción de saccharina. En otro estudio, Cárdenas (2006) encontró valores de FDN de 76.8 %, en saccharina después de 60 días de ensilada, siendo superior al reportado en esta investigación. Monroy (2004) reporta valores de 42.22 % y 21.96 % para FDN y FDA respectivamente, en ensilado de saccharina a base de caña integral, con 10% de melaza a los 70 días de ensilada, y de 32.83 (FDN) y 17.17 (FDA) al agregar a esta 15% de pulido de arroz, mostrando resultados por debajo de los hallados en la presente investigación. El efecto es atribuible a que durante el periodo de ensilado el forraje sufre una deshidratación concentrando aún más los valores de fibra detergente neutro y ácido, no puede existir otra explicación, ya que no fue adicionado el ensilado con algún producto que influyera para incrementar la fibra.

El pH es un factor importante en la calidad del ensilado y de este depende una óptima preservación, reducción en la pérdida de nutrientes y el desarrollo de bacterias benéficas. En este sentido, valores de pH de 3.5 a 4.0 son ideales para un buen proceso de fermentación. Congruente con lo anterior, el pH determinado en el ensilado de este trabajo fue adecuado. En un estudio conducido por Monroy (2004)

en el cual evaluó un ensilado de saccharina, encontró un pH similar a los 20 días de fermentación. En contraste, Elias *et al.* (1990) y Lezcano *et al.* (1994) en experimentos con saccharina, encontraron valores de pH superiores (4.3 a 4.5) a los obtenidos en este estudio. Estos resultados se explican por el aporte apropiado de carbohidratos fácilmente fermentables presentes en la caña de azúcar, los cuales estimulan el crecimiento bacteriano y la formación de ácido láctico en un ambiente anaeróbico.

Los resultados obtenidos al hacer la evaluación de la pradera, en base a su composición bromatológica (Cuadro 11), permiten identificar diferencias en las variables evaluadas al entrar y salir los toretes de los potreros, lo cual se relacionó con la defoliación del pasto estrella, quedando tallos y material muerto remanentes al finalizar el pastoreo. Los valores de PC y FDN determinados en el pasto estrella son similares a los reportados por Mata (2004); sin embargo, Cabrera (1996), determinó valores superiores de PC (7 y 12.4 %), a los observados en este estudio, relacionándose con los niveles de fertilización aplicados en cada estudio. Por otro lado, el mismo autor reportó resultados para FDN dentro del rango de 81.1 y 67.5 %, similares a los obtenidos en el presente estudio.

Cuadro 11. Composición bromatológica (%) de la pradera a la entrada y salida de los toretes

Concepto	Momento del pastoreo	
	Entrada	Salida
Humedad	48.12	50.71
Materia seca	51.88	49.28
Proteína cruda	6.34	5.76
FDN	75.19	69.59
FDA	39.40	38.99

Los datos de consumo de materia seca del pasto estrella y ensilado se presentan en el Cuadro 12. Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el consumo de pasto; la diferencia más marcada se presenta entre el tratamiento T2 ($P < 0.05$) y el T3, esto puede ser por el efecto de una aplicación de enzimas adecuadas y constante dentro del rumen, ya que mejora la digestibilidad del animal; por lo tanto, existe un mayor consumo por parte del animal al existir espacio en el rumen para una mayor cantidad de forraje propiciado por una degradación del alimento más elevada.

Se observaron diferencias ($P > 0.05$) al comparar el consumo del ensilado entre tratamientos T2, T3 y T4; de acuerdo a niveles de suplementación, los toretes consumieron dentro de 9.62 y 8.94 kg MS animal⁻¹ d⁻¹, superiores a los reportados por Cano *et al.* (2003) cuando alimentó toretes con caña de azúcar integral y saccharina, observando niveles de consumo de 7 kg MS animal⁻¹ d⁻¹.

Cuadro 12. Consumo de materia seca (kg MS d⁻¹) del pasto estrella y del ensilado de caña, y digestibilidad *in vivo* (DMS, %) de la materia seca

Tratamientos	Consumo de MS			DMS
	Pasto	EC	Total	
T1	11.09 ^b	0	11.09 ^c	62.11 ^b
T2	9.96 ^c	9.6 ^a	19.56 ^b	62.17 ^b
T3	12.40 ^a	9.62 ^a	22.02 ^a	67.85 ^a
T4	10.81 ^b	8.94 ^b	19.75 ^b	65.55 ^{ab}
E.E.	0.30	0.14	0.29	2.67

a, b, c Medias con diferente literal en la misma columna indican diferencias (Tukey, P < 0.05). T1= Pastoreo, T2= T1 + Ensilado de caña, T3= T1 + Ensilado de caña + 15 g de Fibrozyme, T4= T1 + Ensilado de caña + 30 g de Fibrozyme, EC= ensilado de caña, E.E.= Error estándar.

Torres (2003) en un experimento con vacas de doble propósito en pastoreo y suplementadas con saccharina reportó un consumo de pasto estrella de 10.6 kg MS animal⁻¹ d⁻¹, similar al observado en esta investigación; asimismo, Gómez (2003) al trabajar con toretes en pastoreo suplementados con caña de azúcar y 15 g de enzimas fibrolíticas, reportó consumos de pasto estrella de 9.5 kg MS animal⁻¹ d⁻¹ cuando la dieta incluía caña de azúcar y de 11.5 kg MS animal⁻¹ d⁻¹ al alimentarlos solamente con pasto estrella.

Alonso y Serna (1992) obtuvieron consumos de caña de azúcar de 5 a 10 kg MS animal⁻¹ d⁻¹ en vacas productoras de leche en pastoreo restringido y suplementadas con concentrado. Reportes en la literatura relacionados con el uso de la caña de azúcar como forraje en vacas lecheras, señalan consumos del orden de

3.8 a 11.6 kg MS animal⁻¹ d⁻¹, los cuales varían de acuerdo al genotipo, niveles y fuentes de proteína, proporciones de urea y de concentrados utilizados al elaborar alimentos basados en caña de azúcar (Martín, 1997).

Dado que los resultados del consumo de ensilado de caña (Cuadro 12) reflejaron diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$), la contribución al consumo total del pasto estrella y el ensilado propiciaron que el T3 superara el consumo observado en el tratamiento testigo (T1).

En un estudio conducido por Carreón (2003) se logró mejorar la conversión alimenticia en 19.8 % para dietas con rastrojo de maíz picado y 44.1% para dietas con rastrojo de maíz molido, por efecto de la adición de enzimas fibrolíticas. Stokes (1992) menciona que las enzimas fibrolíticas exógenas aceleran la ruptura de los polímeros estructurales de la pared celular, transformándolas en moléculas más pequeñas y disponibles para el animal, contribuyendo a una mayor disponibilidad de nutrientes y a obtener una mejor conversión alimenticia.

Los resultados de digestibilidad *in vivo* (Cuadro 12) mostraron diferencias ($P < 0.05$) entre el tratamiento testigo (T1) y el tratamiento que implicó 15 g de enzima (T3); sin embargo, no existieron diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos con enzimas (T3 y T4). De acuerdo a los niveles de enzimas evaluados en este trabajo, se esperaba que al incrementar la cantidad de enzima, aumentara la digestibilidad y el consumo de MS; sin embargo, esto no ocurrió. Al respecto Tricarico *et al.* (2002) afirmaron que niveles altos de inclusión de enzimas en la dieta, disminuyen su

efectividad al provocar una interferencia con los mecanismos de adhesión de los microorganismos ruminales al sustrato.

La digestibilidad *in situ* del pasto (Cuadro 13), mostró los niveles más altos ($P < 0.05$) entre las 3 y 6 horas de incubación, presentando la mejor digestibilidad el T1, al suplementar con ensilado de caña (T2, T3, T4) la digestibilidad se mejora a partir de las 12 horas y se mantiene hasta las 72 horas de incubación ruminal. La suplementación con ensilado de caña mas 15 g de enzima (T3) mantuvo la digestibilidad más alta del pasto estrella entre las 48 y 72 h de incubación ruminal. El T4 presentó la digestibilidad más baja ($P < 0.05$) del pasto estrella de las 3 a las 48 horas de incubación, superando al T1 a las 72 h.

Congruente con estos resultados, Cabrera y Carvajal (1988), encontraron valores de digestibilidad del pasto estrella de 55.7 % en la temporada de invierno y de 50.7 % en primavera. Asimismo, Meléndez (1980) reportó valores de digestibilidad *in situ* para el pasto estrella de 35.4 y 55.7 %, los cuales varían en función de la edad del forraje, época de consumo y el tipo de suelo. Considerando la ubicación del experimento y la edad del pasto, se aprecia que la digestibilidad encontrada en los tratamientos con ensilado (T2, T3, T4) es aceptable y rentable para la producción animal, ya que se encuentran por arriba de los parámetros estipulados; sin embargo, sobresalta la digestibilidad encontrada al adicionar 15g de enzimas (T3) ya que presenta un 10 % superior a T2 y T4, a las 72 h de incubación ruminal.

Cuadro 13. Digestibilidad *in situ* del pasto estrella (%)

Tiempo de incubación, h	T1	T2	T3	T4	EE
3	20.80 ^a	13.36 ^b	12.47 ^c	12.36 ^d	0.31
6	22.4 ^a	20.98 ^b	14.21 ^c	13.04 ^d	2.47
12	30.0 ^b	36.22 ^a	28.68 ^c	17.57 ^d	5.41
24	32.8 ^c	40.21 ^a	36.18 ^b	24.58 ^d	4.68
48	42.8 ^c	48.96 ^b	51.18 ^a	36.96 ^d	4.41
72	44.0 ^c	55.45 ^b	66.18 ^a	55.44 ^b	3.57

a, b, c, d: Medias con distinta literal en la misma fila indican diferencias (Tukey, $P < 0.05$), T2.= Pastoreo + Ensilado de caña, T3= Pastoreo + Ensilado de caña + 15 gramos de Fibrozyme, T4= Pastoreo + Ensilado de caña + 30 gramos de Fibrozyme.*= Significativo, NS= no significativo, EE= error estándar.

Con excepción de los datos obtenidos a las 6 h de incubación, la digestibilidad ruminal del ensilado de caña de azúcar (Cuadro 14) se incrementó ($P < 0.05$), por efecto de la adición de Fibrozyme, aunque no se determinó una diferencia ($P > 0.05$) entre los tratamientos que contenían 15 ó 30 g del producto enzimático.

Resultados similares a los observados en este trabajo fueron reportados por Montepiller y Preston (1977), quienes encontraron valores de digestibilidad de la caña de azúcar de 50 y 63 %. Por su parte, Geerken *et al.* (1994) reportaron valores similares de digestibilidad para la saccharina, los cuales se encuentran entre 45 y 64 % a las 48 y 72 horas de incubación, respectivamente. Aranda y Losada (1980) sostienen que la pulpa de la caña es la parte de mayor digestibilidad (69 %), seguida

del tallo (55.5 %) y la hoja (37.0 %). En este sentido, es importante destacar que para la elaboración del ensilado empleado en este experimento se utilizó el tallo como forraje y su digestibilidad resultó aceptable.

Cuadro 14. Digestibilidad *in situ* (%) del ensilado de caña de azúcar

Tiempo de Incubación, h	T2	T3	T4	EE
3	21.66 ^b	27.24 ^a	25.24 ^a	1.63
6	30.22 ^a	30.65 ^a	27.59 ^a	1.01
12	33.44 ^b	39.34 ^a	43.06 ^a	2.80
24	37.81 ^b	43.69 ^a	45.00 ^a	2.21
48	46.83 ^b	47.35 ^a	47.74 ^a	0.26
72	52.46 ^b	55.71 ^a	56.18 ^a	1.16

a, b: Medias con distinta literal en la misma fila indican diferencias ($P < 0.05$), T2= Pastoreo + ensilado de caña, T3= Pastoreo + ensilado de caña + 15 g de Fibrozyme, T4= Pastoreo + ensilado de caña + 30 g de Fibrozyme, EE= error estándar.

No obstante, los resultados de este experimento, difieren con los reportados por Gómez (2003) quien evaluó la digestibilidad de la caña de azúcar con toretes pastando en estrella Africana con la adición de enzimas fibrolíticas exógenas, observando que la digestibilidad del pasto estrella y de la caña de azúcar más urea fue similar ($P > 0.05$), 62.98 y 63.51 respectivamente. En contraste, Muñoz y González (1998) mencionan que la digestibilidad de la materia seca de la caña de azúcar es mayor que la de los pastos tropicales, debido a la presencia de carbohidratos solubles de fácil fermentación.

Los toretes que recibieron ensilado de caña de azúcar y enzima fibrolítica (T3 y T4) presentaron una tendencia a mejorar la ganancia diaria de peso (Cuadro 15) durante los tres meses de evaluación; esto propicio que la ganancia diaria promedio (GDP) resultará más alta ($P < 0.05$) en el T3 con respecto a T1 y T2 y similar ($P > 0.05$) a la registrada en T4. De forma análoga la conversión alimenticia (CA) fue mejorada ($P < 0.05$) por la adición de enzimas (T3 y T4). Estos resultados se explican por el incremento en el consumo de materia seca y la digestibilidad observados en los tratamientos T3 y T4.

Resultados similares fueron encontrados por Gómez (2003), quien reportó ganancias de peso de $634 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ al adicionar 15 g de enzima fibrolítica, en una dieta basada en caña de azúcar. Por su parte, Torres (2003) al evaluar una dieta que contenía caña de azúcar, reportó ganancias de peso de $297 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Los resultados obtenidos en cambio de peso en este estudio permiten sugerir una alternativa para la alimentación del ganado bovino en la región tropical durante las épocas críticas de producción forrajera. De acuerdo con Meléndez *et al.* (1980) los animales pierden peso en temporadas de escasez de forrajes, y dentro de las metas en estos sistemas de producción está el alcanzar ganancias de peso de $700 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Cano *et al.* (2003) reportaron ganancias de peso de $600 \text{ g animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en toretes de 240 kg de peso vivo alimentados con una dieta que contenía 70 % de caña de azúcar, 15 g de enzimas fibrolíticas mas un concentrado comercial; a pesar

de haberse incluido un suplemento comercial, la ganancia diaria de peso fue mejor en este experimento.

Cuadro 15. Ganancia de peso ($\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$) y conversión alimenticia (CA) de toretes en pastoreo suplementados con ensilado de caña de azúcar y enzimas fibrolíticas

Tratamientos	Mes de evaluación			GDP	CA
	1	2	3		
T1	0.491	0.213	0.510	0.405 ^b	36.5 ^a
T2	0.432	0.426	0.594	0.484 ^b	36.0 ^a
T3	0.561	0.641	0.905	0.702 ^a	24.4 ^b
T4	0.554	0.520	0.780	0.618 ^{ab}	29.2 ^b
E.E.	0.80	0.09	0.12	0.06	9.72

a, b: Medias con diferente literal en la misma columna indican diferencias (Tukey, $P < 0.05$). T1= Sólo pastoreo, T2= T1 + ensilado de caña, T3= T1 + ensilado de caña + 15 g de Fibrozyme, T4= T1 + ensilado de caña + 30 g de Fibrozyme, E.E.= Error estándar GDP=Ganancia diaria de peso promedio, CA= Conversión alimenticia.

En un estudio conducido por Carreón (2003) se logro mejorar la conversión alimenticia en 19.8 % para dietas con rastrojo de maíz picado y 44.1% para dietas con rastrojo de maíz molido, por efecto de la adición de enzimas fibrolíticas. Stokes (1992) menciona que las enzimas fibrolíticas exógenas aceleran la ruptura de los polímeros estructurales de la pared celular, transformándolas en moléculas más pequeñas y disponibles para el animal, lo que resulta en una mayor disponibilidad de nutrientes y conversión alimenticia.

Los resultados del análisis de pigmentación de la grasa en la canal se presentan en el Cuadro 16. La variable de mayor importancia es b^* , la cual se

relaciona con la medición del color amarillo en la grasa, se presentan también los valores obtenidos en L* y a*, los cuales son de menor importancia para el estudio, pero pueden presentar importancia, en el caso de existir alguna secuencia del experimento posteriormente.

Cuadro 16. Coloración de la grasa en la canal de toretes en pastoreo suplementados con ensilado de caña de azúcar y enzimas fibrolíticas






Tratamiento	L*	a*	b*
Paleta			
T1	75.342	1.586	10.389
T2	77.934	2.216	5.281
T3	78.647	2.049	7.064
T4	75.238	1.295	8.820
Lomo			
T1	74.111	1.921	10.876
T2	77.875	1.676	5.748
T3	80.79	2.127	7.591
T4	75.34	1.584	9.352

L*= Luminosidad, donde: 0 es negro, 100 es blanco. a= rojo-verde, donde: los valores positivos son rojos, los valores negativos son verdes y 0 es el neutro. b*= Amarillo-azul, donde: los valores positivos son amarillos, los valores negativos son azules y 0 es el neutro. T1= Sólo pastoreo, T2= T1 + ensilado de caña, T3= T1 + ensilado de caña + 15 g de Fibrozyme, T4= T1 + ensilado de caña + 30 g de Fibrozyme.

La secuencia de colores(Cuadro 17) permitió asignar las muestras obtenidas de los tratamientos dentro de un rango en el cual se pueda tener una idea aproximada del color y el porcentaje de amarillamiento en base a el valor emitido por

el colorímetro mediante la variable b^* . Asimismo, se presentan los resultados en porcentaje, relacionando el valor más alto de b^* con un grado de pigmentación amarilla total (100 %).

Cuadro 17. Valor estándar de la grasa en la canal por colorimetría, transformado en porcentaje

Tipo de Muestra	Colorímetro, b^*	Pigmentación %	Color de la grasa
Caña (90 días)+ Pastoreo (3 años)	5.536	23.610	
Concentrado (70 días) + Pastoreo (3 años)	8.563	36.520	
Pastoreo (3 años)	12.881	54.936	
Pastoreo (4 años)	18.039	76.935	
Pastoreo (> 5 años)	23.447	100	

b^* = Amarillo-azul, donde: los valores positivos son amarillos, los valores negativos son azules y 0 es el neutro.

Dentro de los valores de pigmentación (Cuadro 18) se observaron diferencias entre tratamientos ($P < 0.05$), donde el T1 (sólo pastoreo) presentó los niveles de pigmentación amarilla más altos ($P < 0.05$). En contraste, el T2 que implicó la

suplementación con ensilado de caña de azúcar, presentó los valores más bajos de b* que se relacionan con un menor amarillamiento de la grasa en la canal.

Cuadro 18. Resultados de la pigmentación adquirida de acuerdo a la dieta que fueran sometidos los animales.

Tratamientos	Valores de b*	Pigmentación	Valores de b*	Pigmentación
	Paleta	%	Lomo	%
T1	10.389 ^a	44.308 ^a	10.876 ^a	46.385 ^a
T2	5.281 ^c	22.523 ^d	5.748 ^c	24.515 ^d
T3	7.064 ^{bc}	30.127 ^c	7.591 ^{bc}	32.375 ^c
T4	8.820 ^{ab}	37.616 ^b	9.352 ^{ab}	39.886 ^b
EE.	0.89	3.64	0.74	2.95

a, b, c, d: Medias con diferente literal en la misma columna indican diferencias (Tukey, P < 0.05). T1= Sólo pastoreo, T2= T1 + ensilado de caña, T3= T1 + ensilado de caña + 15 g de Fibrozyme, T4= T1 + ensilado de caña + 30 g de Fibrozyme. E.E.= Error estándar

Barrón *et al.* (2006) al evaluar la pigmentación amarilla del tejido adiposo de bovinos, indicaron que el color de la grasa subcutánea de los bovinos, independientemente del sitio de muestreo, está relacionado positivamente con la concentración de carotenoides; aunque, la concentración de carotenos depende del sitio de muestreo. Congruente con esto, en este trabajo se observaron diferencias entre sitio de muestreo; muestras procedentes de la paleta resultaron menores en 2 % en el nivel de pigmentación con relación a los muestreos en el área del lomo.

Los tratamientos que incluyeron enzimas (T3 y T4) presentaron porcentajes superiores (P < 0.05) a los animales que se sometieron al ensilado de caña más pastoreo (T2), aunque los animales que recibieron enzimas presentaron porcentajes

de pigmentación muy aproximados a los observados en animales finalizados con concentrados, esto se puede asociar a que al adicionar las enzimas en los tratamientos T3 y T4 se elevo la digestibilidad y el consumo de forraje, por consiguiente el consumo de β -carotenos presentes en pasto estrella.

Torre y Caja (2000) mencionaron que la fermentación ocurrida durante el proceso del ensilaje disminuye en 40 ó 60 % la cantidad de β -carotenos, relacionándose con una menor pigmentación del tejido adiposo. Duke y Atchley, (1984) reportaron valores mínimos (0.1 mg) de β -carotenos en caña de azúcar, señalando que en la maduración la caña contribuye a eliminar casi en su totalidad el contenido de β -carotenos durante el procesos de ensilado, los carotenos se eliminan en su totalidad. Estos datos refuerzan los resultados presentados en los tratamientos T2, T3, y T4, donde la pigmentación se presenta en menor porcentaje a la adquirida por animales sometidos a una alimentación total en pastoreo.

Los animales que se mantuvieron en el T2 y T3, se mantuvieron porcentajes bajos de pigmentación amarilla y los animales sometidos al T4 presentaron un incremento de 3 % en pigmentación amarilla, superior a los animales alimentados con concentrado; pero sin llegar al porcentaje observado en animales en pastoreo (46 %). A pesar de existir diferencias en cuanto a la pigmentación entre los tratamientos, Rearte (2006) ha observado que el pastoreo, con un correcto manejo, puede lograr un alto rendimiento animal sin afectar la composición de la canal, ni las características organolépticas de la carne producida.

VII. CONCLUSIONES

Con base a los objetivos establecidos en este trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente:

El ensilado de caña de azúcar presenta un efecto positivo sobre el color de la grasa al momento del sacrificio de los animales, siendo esta de mejor apariencia que incluso los animales alimentados con concentrados, probando que sí disminuye el grado de pigmentación en la grasa de la canal en animales alimentados con pastos, eliminando el problema de grasa amarilla que estos suelen presentar, aceptándose la hipótesis planteada en esta investigación.

Usar enzimas fibrolíticas a dosis de 15 g, en la alimentación de bovinos con ensilado de caña de azúcar mejora la digestibilidad y el consumo en los toretes, aunque incrementa minimamente el grado de pigmentación, obteniendo resultados aproximados a los observados en animales alimentados con concentrados.

Si se opta por usar enzimas fibrolíticas, es recomendable la dosificación adecuada de enzimas, de acuerdo a la alimentación ofrecida al rumiante, es muy importante, debido a que dosis excesivas implican un mayor costo en la alimentación e inhiben el buen funcionamiento del rumen afectando la adhesión de los microorganismos endógenos y bajas dosis disminuyen la efectividad enzimática en el rumen.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta, R. 1992. La caña de azúcar: una biomasa efectiva para disminuir las emisiones netas de CO₂. IPCC/AFOS Canberra Workshop. Australia.
- Alexander A. G. 1985. The Energy Cane Alternative. Sugar Series No. 6. Elsevier. USA.
- Alexander, A. G. 1986. Producción de caña para energía. Memorias del Seminario Interamericano de la Caña de Azúcar. Miami, U S.A.
- Allen, M.S. and Mertens D. R.. 1988. Evaluating constrains on fiber digestion by rumen microbes. J. Nutr. 118:261.
- Alonso, J. R. y Serna, A. 1992. Sistema de producción con vacas lecheras en condiciones de secano con forraje de caña de azúcar entera en periodo seco. Producción y composición de leche y comportamiento del peso vivo. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 26: 125-132
- Álvarez, F. J. 1986. Experiencias con la caña de azúcar integral en la alimentación animal en México, FAO Expert Consultation on Sugar Cane as Feed, Sto. Domingo.
- Amjed, M., H.G. Jung and J.D. Donker. 1992. Effect of alkali hydrogen peroxide treatment on ceil wall composition and digestion kinetics of sugarcane residues and wheat straw. J. Anim. Sci. 70:2877-2884.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analisis. (12th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C. 1018 p.

- Aranda, E. M. 2000. Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis Doctoral. FMVZ, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 90 p.
- Aranda, I. E. y Losada C. H. 1980. Efecto de la edad de diferentes secciones de la caña de azúcar sobre la composición, digestibilidad y valor nutritivo. Informe Departamento de Nutrición. CSAT.
- Ashes, J. R.; Burley, R. W.; Siduh, G. S.; Sleight, R. W. 1984. Effect of particle size and lipid composition of bovine blood high density lipoprotein on its function as a carrier of b-carotene. *Biochim. Biophys. Acta* 797: 171-177
- Banda, M. y R.E. Valdez. 1976. Efecto del estado de madurez sobre el valor nutritivo de la caña de azúcar. *Prod. Anim. Trop.* 1:96-99.
- Barrón G. S. García B. C. Mora I. O. y Shimada M. A. 2004. Impacto económico de la pigmentación del tejido adiposo en bovinos en pastoreo en el trópico. *Agrociencia* 38: 173-179
- Barrón G. S., Mora I. O. Castaño M. V. y Shimada M. A. 2006. La pigmentación amarilla del tejido adiposo de bovinos finalizados en pastoreo y su relación con su concentración de carotenoídes y el perfil de ácidos grasos. *Tec. Pec. Mex.* 44(2): 231-240
- Batista, A. J, Ferrari, J. E e Braun, G. 2001. Valor nutritivo da silagem de cana – de – açúcar tratada com uréia e acrescida de roloa de milho. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 36 (9): 1169 – 1174
- Beauchemin, K. A., Rode L. M. and Sewalt V. J. H. 1995. Fibrolytic enzymes increase fiber digestibility and growth rate of steers fed dry forages. *Can. J. Anim. Sci.* 75:641-644.

- Bolsen, K. K., Lin C., Brent B. E., Feyerhem A. M., Usban J. E. and Aimutis W. R. 1992. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. *J. Dairy Sci.* 75:3066-3083.
- Britt, D. G. and Huber, J. T. 1975. Fungal growing during fermentation and refermentation of nonprotein nitrogen treated corn silage. *J. Dairy Sci.* 58: 1666-1671
- Brown, W.F. and Adjei, M. B. 1995. Urea ammoniation effects on the feeding value of Guinea grass (*Panicum maximum*) hay. *J. Anim. Sci.* 73:3085-3093.
- Burghardi, S. R., Goodrich R. and Meiske J. 1980. Evaluation of corn silage treated with microbial additives. *J. Anim. Sci.* 50:729-736.
- Cabrera, E. I. 1996. Efecto de la suplementación nitrogenada y la adición de cultivo microbiano de *Saccharomyces cerevisiae* en el comportamiento de toretes en praderas tropicales. Tesis de Maestría. Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Cabrera, C. D. y Carvajal, V. A. 1988. Valor nutritivo de la dieta de bovinos en pastoreo en potreros de Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*) a diferentes intensidades e intervalos de defoliación. Reunión de Investigación Pecuaria en México, México. 104 p.
- Cano A. L; Aranda I. E. M; Mendoza M. G. D; Pérez P. P. J y Ramos J. J. A. 2003. Comportamiento de toretes en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar y enzimas fibrolíticas. *Tec. Pec. Méx.* 41 (2): 153 – 164.

- Cárdenas S. J. R., 2006. Mejoramiento del valor nutritivo del bagacillo de retorno con la inclusión de inoculos y pulido de arroz para alimento de rumiantes. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Cárdenas, Tabasco, México. 91p.
- Carey M, Hernell O. 1992. Digestion and absorption of fat. *Semin Gastrointest Dis*; 3: 189-208.
- Carreón, L. L. 2003. Efectos de enzimas fibrolíticas en dietas con rastrojo de maíz en la digestibilidad *in situ* y fermentación ruminal en toretes. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 183 p.
- Casanova, E. 1982. Eficiencia agroindustrial azucarera, Ed. Científico-Técnica, La Habana. Cuba.
- CEA (Centro de Estadística Agropecuaria). 1998-1999. Indicadores de producción de carne en canal. México (DF): Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- Church. 1988. El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. Traducción al español por Maluenda, D. P. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 625 p.
- Cleale, R. M., Firkins J. L., Van Der Be F., Clark J. H., Jaster E. H., Mc Coy G. C. and Klusmey T. H. 1990. Effect of inoculation of whole plant corn forage with *Pediococcus acidilactici* and *Lactobacillus xilosus* on preservation of silage and heifer growth. *J. Dairy Sci.* 73:711-718.
- Cordovés, M. 1978. Nuevos azúcares competidores: Respuesta de la industria azucarera-cañera. Seminario Internacional de los Derivados de la Caña de Azúcar, La Habana, Cuba.

- Diplock, A. T., Charleux, J. L., Crozier-Willi, G., Kok, F. J, Rice-Evans, C., Roberfroid, M., Stahl, W. & Vina-Ribes, J. 1998. Functional food science and defence against reactive oxidative species. *Br. J. Nutr.* 80: S77–S112.
- Duke, J.A. y Atchley, A.A. 1984. Proximate analysis. In: Christie, B.R. (ed.). *The handbook of plant science in agriculture*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- During, A., Hussain, M. M., Morel, D. W. & Harrison, E. H. 2002. Carotenoid uptake and secretion by CaCo2 cells: beta-carotene isomer selectivity and carotenoid interactions. *Journal of Lipid Research*, 43, 1086 - 1095.
- Elias A. y Lezcano, O. 1993. Efecto de la fuente de N y algunos factores de crecimiento en la población de levaduras que se establecen en la producción de saccharina. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 27: 227.
- Elías, A., O. Lezcano., P. Lezcano., J. Cordero., y L. Quintana. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico en la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (*Saccharina*). *Rev. Cubana Ciencia Agric.* 24:1-12.
- Erwin E. S., Marco G. J. and Emery E. 1961. Volatile fatty acids analysis of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 44: 1768-1771.
- FAO. 2003. Información estadística. Consultado el 18 de mayo de 2006. <http://apps.fao.org>
- Farmacodivulgación. 2000. Suplementos vitamínicos. *Rev Cubana Farm*, ene-abr., 34 (1) :.78-80. ISSN 0034-7515.
- FAPRI. 2002. World meat: FAPRI 2002. *Agricultural Outlook*.

- Feng, P; Hunt W. C; Pritchard T. G y Julien E. W. 1996. Effect of enzyme preparations on in situ and in vitro digestive characteristics of mature cool season grass forage in beef steers. *J. Anim. Sci.* 74: 1349 - 1357
- Fenton, M. P. 1987. An Investigation into the sources of lactic acid bacteria in grass silages. *Journal of Applied Bacteriology*, 62:181-188.
- Fergus, M. C. 1993. Color as a factor in food choice. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 33: 83-101.
- Ferreiro, H. M., Preston T. R. and Sutherland T. M. 1977a. Investigation of dietary limitations on sugar cane based diets. *Trop. Anim. Prod.* 2:56-61.
- Ferreiro, H. M., Preston T. R. and Sutherland T. M. 1977b. Digestibility of stalk and tops mature and immature sugar cane. *Trop. Anim. Prod.* 2:100-104.
- Ffoulkes, D. and Preston T. R. 1979. Effect on voluntary intake and digestibility of supplementing chopped sugar cane stalk with cane tops, banana leaves or cassava forage. *Trop. Anim. Prod.* 4(1):37-41.
- Figueroa V. y Ly J. 1990. Alimentación porcina no convencional. México: Geplacea, Serie Diversificación. 215 p.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en relación con la agricultura). 2003. Perspectivas de la red carne de bovino. Morelia, Michoacán. 18 p.
- Fullmer, L.A., and Shao, A. 2001. "The role of lutein in eye health and nutrition". *Cereal Foods World* 46(9):408.
- Furr, H. C., and Clark R. M. 1997. Intestinal absorption and tissue distribution of carotenoids. *Nutritional Biochemistry*, 8:364-377.

- Gaziano, J. M., Johnson, E. J., Russell, R. M., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Ridker, P. M., Frei, B., Hennekens, C. H., and Krinsky N. I. 1995. "Discrimination in absorption or transport of α -carotene isomers after oral supplementation with either all-trans- or 9-cis- β -carotene" *Am. J. Clin. Nutr.*, 61: 1248-1252,
- García E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. 217 p.
- Geerken, C. M., Calzadilla D. y González R. 1987. Aplicación de la técnica de dos marcadores para medir el consumo de pasto y la digestibilidad de la ración de vacas en pastoreo suplementadas con concentrado. *Pastos y Forrajes*. 10:266-273.
- Geerken, C. M., D. Delgado y J. Cairo. 1994. Efecto del tamaño de partícula de la Saccharina suministrada a carneros como forraje en el consumo y comportamiento alimentario. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 28:301.
- 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 presentada para obtener el grado de doctor en ciencias. Colegio de Postgraduados, Edo. de Mex., México.
- Gooding, E. G. B. 1982. Efecto de la calidad de la caña sobre su valor como alimento para bovinos. *Prod. Anim. Trop.* 7:76-97.
- Goodman, D. S. and Huang, H S. 1965 Biosynthesis of vitamin A with rat intestinal enzymes. *Science* 149:879-880.

- Gugger, E. T. and Erdman, J. W. 1996. "Intracellular beta-carotene transport in bovine liver and intestine is not mediated by cytosolic proteins." *Journal of Nutrition* 126 1470 - 1474,
- Haddad, S. G., Grant, R. J. and Klopfstein, T.J. 1995. Digestibility of alcalitreated wheat straw measure in vitro or in vivo using Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 73:3258-3265.
- Hardy, C. R. Romero y A. Elias. 1977. Una nota sobre los cambios fermentativos de dietas preparadas semanalmente con ensilaje de excreta y miel final para pollos en crecimiento. *Rev. Cubana Ciencia. Agric.* 10:197-203.
- Harris, B. 1998. The emerging role of enzymes in ruminants diets: at long last, a breakthrough. *Udder information. Dr. Harris Guide to maximizing dairy performance.* Visitada el 18 de enero del 2006
<http://www.Altech-bio.com/sder98.html> pp:1-13.
- Harrison, J. H., Blauwiekel R. and Stokes M. R. 1994. Symposium: Utilitation of grass silage. Fermentation and utilitation of grass silage. *J. Anim. Sci.* 77:3209-3235.
- Henderson, A. R. and Mcdonald, P. 1984. The effect of range of commercial inoculants on the biochemical changes during the ensilage of grass in laboratory studies. *Research and Development in Agriculture*, v.1, n.1, p.171
- Henderson, N. 1993. Silage additives. *Anim. Feed Sci. Technol.* 45:35-36.
- Hernández B. C. y Serna S. S., 2003. Alimentos nutraceuticos, el futuro de nuestra alimentación. Tecnológico de Monterrey. Transferencia. Revista digital de postgrado investigación y extensión del *Campus Monterrey*. Año 16 número 61. <http://transferencia.mty.itesm.mx>

- Heron, S. J. E., J. F. Wilkinson and C. M. Duffus. 1993. Enterobacteria associated with grass and silages. *J. Appl. Bacteriol.* 75:13-17.
- Hidiroglou, N., L. R. McDowell, and D. D. Johnson. 1987. Effect of diet on performance, lipid composition of subcutaneous adipose and liver tissue of beef cattle. *Meat Sci.* 20: 195-200.
- Hollander, D; Ruble, P.E. Jr 1978. β -carotene intestinal absorption: Bile, fatty acid, pH and Flow rate effects on transport. *Am. J. Physiol.*, 235: E686-E691.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1991. Resultados Definitivos del VII Censo Agropecuario. Censos Agrícola, Ganadero y Ejidal. INEGI. ISBN 970-13-0487-X. Núm. de Cat. 115725.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1998. Boletín de Información Oportuna del Sector Alimenticio. Núm. 169. pp. 5-40.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. estadísticas económicas. Producto interno bruto trimestral. Octubre, 2006 consultada en Internet en noviembre de 2006.
- www.inegi.gob.mx
- INFDM, (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal) 2005, Gobierno del Estado de Tabasco. Visitada el día 29 de junio del 2006
- <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/tabasco>
- Jonsson, A. and Pahlow G. 1984. Systematic classification and biochemical characterization of yeast growing in grass silage inoculated with *Lactobacillus* cultures. *Anim. Res. Dey.* 20:8-22.
- Keulen, J. V. and Young B. A. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 44: 282-287.

- Kiefer S. M., McDill B. W., Yang J., Rauchman M. 2002. Murine Sall1 represses transcription by recruiting a histone deacetylase complex. *J Biol Chem* 277:14869–14876
- King, T. B., Lohman, T. and Smith, G. S. 1962. Evidence of rumen-reticular losses of vitamin A and carotene. *J. Anim. Sci.* 21: 1002-1013.
- Kung, I. Jr., Chen J. H., Kreck E. M. and Knutsen K. 1993. Effect of microbial inoculants on the nutritive value of corn silages for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:3763-3770.
- Latham, M.J., Hobbs, D.G., and P.J. Harris. 1979. Adhesion of rumen bacteria to alkali-treated plant stems. *Ann. Rech. Vet.* 10: 244-245.
- Leng, R. A. 1989. Restricciones metabólicas para la utilización de la caña de azúcar y sus subproductos para el crecimiento y producción de leche en rumiantes mayores. Colección Geplacea, Serie Diversificación PNND. Grupo de países Latinoamericanos y del Caribe exportadores de azúcar. Pp 23-57.
- Lezcano P; Elías A; Martí J y Rodríguez Y. 1994. Nota sobre el efecto de la altura de la capa de fermentación de caña molida en la producción de saccharina rústica. *Rev. Cub. Cien. Agric.* (28): 327 - 329.
- Lin, C., Bolsen K., Brent B. and Fung D.. 1992a. Epiphytic lactic acid bacteria succession during the pre-ensiling and ensiling periods of alfalfa y maize. *J. Appl. Bacteriol.* 73:375-387.
- Lin, O., Bolsen K., Brent B., Hart R., Dikerson J., Feyerherm A., and Aimutis W. 1992b. Epiphytic microflora on alfalfa and whole-plant corn . *J. Dairy Sci.* 75:2484-2493.

- López, J. M., Priego A., Wilson A. and Preston T. R. 1977. Rice polishings as a supplement in sugarcane diets: effect of giving it as a separate meal or mixed with the sugarcane. *Trop. Anim. Prod.* 2: 323-327
- Lyons, T. P. 1998. The consumer is king: where will it all end for the feed industry. In: *Biotechnology in the Feed Industry*. Lyons, T.P. and K.A. Jacques (eds.). Proceedings of the Fourteenth Annual Symposium Nottingham University Press. Loughborough, Leics, UK. pp: 3-29.
- Madrid, J., Martínez-Teruel, A.M., Hernández, F. and Mejías, M. D. 1999. A comparative study on the determination of lactic acid in silage juice by colorimetric high performance liquid chromatography and an enzymatic method. *Journal of the Science of food and Agriculture* 79: 1722-1726
- Manual MiniScan XE plus, 2005, User guide version 2.4, Noviembre, ISO 9001: 2000 A60-1010-352
- Martín C. P. 1997. Forraje de caña en la alimentación de ganado vacuno. *Rev. Cub. Cien. Agríc.* 31: 237 - 246.
- Martínez P. M., Cortés C. A., Ávila G. E., 2004. Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tajetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel en pollos de engorda. *Téc. Pecu. Méx.*, 42 (1): 105 – 111.
- Mata, E. M. A. 2004. Harina de cocoíte (*Gliricidia sepium*), morera (*Morus alba*) y tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*) como suplemento para corderos en pastoreo. Tesis de Maestría en Ciencia. Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 89 p
- McCullough H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clin. Chem. Acta.* 17: 297-304.

- Meléndez N. F. 1996. El alimento básico. El pasto. Siembra y manejo de algunos pastos del trópico. Manual de producción bovina de doble propósito (Carne y Leche) en el trópico “ La Rejegería “.pp: 18-19
- Meléndez N. F., González J. A., y Pérez J. R. 1980. El pasto Estrella Africana. Boletín No. 7. Rama de Ciencia Animal. Colegio Superior de Agricultura tropical. SARH. H. Cárdenas Tabasco. 99 p.
- Molina, A. 1990. Potencial forrajero de la caña de azúcar para la ceiba de ganado bovino. Producción de carne en el trópico Edica. Cuba. 225 p.
- Monroy, H. J. M. 2004. Elaboración y conservación de saccharina a partir de caña de azúcar integral con la adición de melaza y pulido de arroz. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 50 p.
- Montpellier, F. A. and Preston T. R.. 1977. Digestibilidad de punta, corteza, tallo descortezado y caña de azúcar integral. Prod. Anim. Trop. 2:13-17.
- Moon, N. J. 1983. Inhibition of growth of acid tolerant yeast by acetate, lactate and propionate and their synergistic mixtures. J. Appl. Bacteriol. 55:453-460.
- Moon, N. J. and Ely L. O. 1979. Identiflcation and proprieties of yeast associated with the aerobic deterioritation of wheat and alfalfa silages. Mycopathologia. 69:153-156.
- Mora O., Romano J., González E., Ruíz F., and Shimada A. 1999. In vitro and in situ disappearance of b-carotene and lutein from lucerne (*Medicago sativa*) hay in bovine and caprine ruminal fluids. J. Sci. Food Agric. 79: 273 - 276.

- Mora O., Romano J., González E., Ruíz F., and Shimada A. 2000. Low cleavage activity of 15,15'-dioxygenase to convert β -carotene to retinal in cattle compared with goats, is associated with the yellow pigmentation of adipose tissue. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 70: 199-205.
- Mora O. y Shimada A. 2001. Causas del color amarillo de la grasa de canales de bovinos finalizados en pastoreo. *Vet. Mex.* 32 (1): 63 – 71
- Muñoz, E. y González, R. 1998. Caña de azúcar para estimular el consumo a voluntad de alimentos voluminosos en vacas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 31: 33-40
- Murgueitio, E. 1990. La caña integral en la alimentación de rumiantes, En: GEPLACEA: Sistemas Alternativos para Alimentación: 81.
- Nash, J. M. 2000. Grains of hope. Genetically engineered crops could revolutionize farming. Protesters fear they could also destroy the ecosystem. *Pubmed.* 156(5)38-46
- Noa, H. 1982. La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar, GEPLACEA, México.
- Ostling, C. E. and Lindgren S. E. 1993. Inhibition of Enterobacteria and Listeria growth by lactic, acetic and formic acids. *J. Appl. Bacteriol.* 75:18-24.
- Paik J. W., Kim C. S., Cho K. S., Chai J. K., Kim C. K. and Choi S. H. 2004. Inhibition of cyclosporin A-induced gingival overgrowth by azithromycin through phagocytosis: an in vivo and in vitro study. *J Periodontol* 75(3):380–7.
- Pate, F. M. 1977. Nutritive value of sugar cane at different stages of maturity. *Trop. Anim. Prod.* 2:108-109.

- Phillip, L. E. and Fellner, V. 1992. Effects of bacterial inoculation of high-moisture ear corn on its aerobic stability, digestion, and utilization for growth by beef steers. *J. Anim. Sci.*, 70: 3178-3187.
- Pimentel, C., 1997. Sostenibilidad de los Sistemas Pecuarios Industrializados. Taller FAO Hacia una Agricultura con menos uso de Energía Fósil. La Habana. Cuba.
- Preston, T. R. 1977. Nutritive value of sugar cane for ruminants. *Trop. Anim Prod.* 2:125-142.
- Preston, T. R. 1997. Sistemas integrados para pequeños Agricultores en el Sudeste Asiático. Taller FAO "Hacia una agricultura Tropical con menos uso de Energía Fósil. La Habana.
- Preston T. R y Murgueitio E. 1988. La caña de azúcar como base para la producción pecuaria en el trópico. Colección GEPLACEA. Serie diversificación México D. F. Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe. Subproductos y Derivados de la Agroindustria Azucarera. pp. 413 – 426
- Rearte, D. 2006. Calidad de carnes en los sistemas pastoriles. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Balcarce, Buenos Aires, Argentina. pp. 13 – 18
- Rees, D. 1982. The aerobic deterioration of grass silage and its effect on the water soluble carbohydrate and the associated heat production. *J. Sci. Food Agric* 33 499-508
- Rhodes, R. y Rank B. 1991. Algunos factores que influyen sobre la fotosíntesis de la caña de azúcar. *Revista cubana de Ciencias Biológicas*. U. H., Sept.

- Rodríguez A. D. B. 1999. Carotenoides y preparación de alimentos. Universidad Estadual de Campinas, Campinas S. P., Brasil. 105 p.
- Ruíz F. A. 2004. Impacto del TLCAN en la cadena de valor de bovinos para carne. UACH., visitada el día 18 de junio del 2006 http://207.248.177.15/pics/p/p1763/CARNE_DE_BOVINO_010304.pdf.
- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). 1994. Compendio Estadístico de la Producción Pecuaria 1989-1993. México. pp: 55-70.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 1998. Datos básicos del sistema nacional de información agropecuaria. México, D. F. 146 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2002. Situación actual de la producción de carne de bovino en México. Claridades Agropecuarias 109:3-32.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2005. Programa Nacional Pecuario del año 2005. Definitivo 17 de agosto del 2005, Coordinación General de Ganadería.
- Salgado G., S., R. Núñez E., y L. Bucio A. 1993. Manejo del cultivo de la caña de azúcar con alta tecnología en el CEICADES C. P. Memoria Avances de Investigación. CEICADES. Cárdenas, Tabasco. pp 92-93.
- SAS. 2003. User`s Guide: Statistics, Copyright, Version 9.1.3 by SAS. Institute Inc., Cary, NC, USA.

- Seal, C.J., and D.S. Parker. 1996. The effect of intraruminal propionic-acid infusion on metabolism of mesenteric-drained and portal-drained viscera in growing steers fed a forage diet. 2. Ammonia, urea, amino acids and peptides. *J. Anim. Sci.* 74:245-256.
- Seale, D. R. 1986. Bacterial inoculants as silage additives. *J. Appl. Bacteriol.* 61 (Suppl.):9s-26s.
- SIAP - SAGARPA (Sistema Integral de información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2005. Comportamiento de la balanza comercial agroalimentaria de México con el resto del mundo.
www.siap.sagarpa.gob.mx
- Sneath, H., N. Mair, M. Sharpe and J. Holt. 1986. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Williams and Wilkins. Baltimore. U. S. A. 2634 p.
- Stahl, W.; Schwarz, W., Larr, J., Sies H., 1995. "All-trans-beta-carotene preferentially accumulates in human chylomicrons and very low density lipoproteins compared with the 9-cis-geometrical isomer". *J. Nutr.*, 125: 2128-2133
- Stahl W. and Sies H. 1996. Lycopene: A biologically important carotenoid for humans? *Archives of Biochemistry and Biophysics* 336, 1-9.
- Steel, R. G. y Torrie J. H. 1988. *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. 2ª, ed, McGraw Hill. México. 622 p.
- Stokes, M. R. 1992. Effects of an enzyme mixture, an inoculation and their interaction on silage fermentation and dairy production. *J. Dairy Sci.* 75:764-773.

- Suárez, R. R. y Morín, B. R. 2005. Caña de azúcar y sostenibilidad. Enfoques y experiencias cubanas. Transformando el campo cubano. Habana, Cuba. 127 - 143
- Tee, E. S. 1992. Carotenoids and retinoids in human nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 31: 103-163.
- Tijerina, L. y Crespo P. G. 1998. Análisis a nivel nacional de la producción de caña de azúcar, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática - Colegio de Postgraduados. 115 p.
- Torre C. y Caja G. 2000. Utilización de aditivos en rumioantes: Vitaminas y aminoácidos protegidos. XIV Curso de especialización. Avances de nutrición y alimentación animal. FEDNA. Barcelona, España. 34 p.
- Torres, S. N. 2003. Comportamiento productivo de vacas de doble propósito alimentadas con saccharina elaborada con caña de azúcar quemada. Tesis de Maestro en Ciencia. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 70 p.
- Tricarico J; Johnston D. J; and Dawson K. A. 2002. The influence of low concentrations of supplemental enzymes on ruminal fermentation end milk production in dairy cows. *J. Dairy. Sci.* Vol. 85, Suppl. 1
- USDA (United States Department of Agriculture). 2003. GAIN Report Number MX3114. USDA. Foreign Agriculture Service.
- USDA (United States Department of Agriculture). March 2006 Datos reportados por la USDA-FAS. Livestock and Poultry: World Markets and Trade,

- Valdéz, R.E., Alvarez F. J., Ferreiro H. M., Guerra, F. López J., Priego A., Blackburn T. H., Leng R. A. and Preston T. R. 1977. Rumen function in cattle given sugar cane. *Trop. Anim. Prod.* 2:260-272.
- Van Soest, P.J., 1982. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Corvallis, Oregon, O & B Books. 374 p.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd. ed. Comstock Publishing, Cornell University Press. NY. pp. 40-125.
- Van Soest, P. J., Robertson J. and Lewis B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Vanzant, E. S., Cochran, R. C. and Titgemeyer E. C. 1998. Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuff evaluation. *J. Anim. Sci.* 76: 2717-2729.
- Ward, J. D., Redfearn D. D., McCormick M. E., and Cuomo G. J. 2001. Chemical composition, ensiling characteristics, and apparent digestibility of summer annual forages in a subtropical double-cropping system with annual ryegrass. *J. Dairy Sci.* 84:177-182.
- Westby, A., Nuraida L., Owens J. and Gibbs P. 1993. Inability of *Lactobacillus plantarum* and other lactic acid bacteria to grow on D-ribose as sole source of fermentable carbohydrate. *J. Appl. Bacteriol.* 75:168-175.
- Wilkins, R. S. 1981. The nutritive value of silage. In: W. Haresing and D. J. A. Cole (eds.) *Recent Developments in Ruminant Nutrition*. Butterworths, London, pp. 268-282.

- Williams, C. H., David D. J. and Lisma O. 1962. The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic spectrophotometry. *J. Agric. Sci. (Camb)* 59: 381-382.
- Woolford, M. K. 1984. *The silage fermentation*. Marcel-Dekker Inc. New York U. S. A. 456 p.
- Woolford, M. K. 1990. The detrimental effects of airon silage. *J. Appl. Bacteriol.* 68:101-116.
- Woolford, M., Bolsen K., and Peart L. A. 1982. Studies on the aerobic deterioration of Whole-crop cereal silages. *J. Agric. Sci. Camb.* 98:529-535.
- Yang, A., T. W. Larsen, and R. K. Tume. 1992. Carotenoid and retinol concentrations in serum, adipose tissue and liver and carotenoide transport in sheep, goats and cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 1809-1817.
- You, C. S., Parker, R. S., Goodman, K. J., Swanson J. E. and Corso T.N. 1996. "Evidence of cis-trans isomerization of 9-cis-beta-carotene during absorption in humans" *Am. J. Clin. Nutr.*, 64: 177-183.