



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GANADERÍA**

## **DIGESTIBILIDAD *in vitro* EN DIETAS INTEGRALES PARA BOVINOS CON INCLUSIÓN DE BAGAZO DE CAÑA Y UN SUBPRODUCTO ENERGÉTICO DERIVADO EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ETANOL**

**SANDOVAL ROMERO JOSÉ DOMINGO**

**T E S I S**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS**

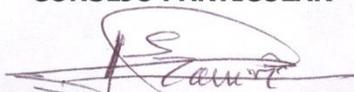
**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO  
2014**

La presente tesis titulada: **DIGESTIBILIDAD *in vitro* EN DIETAS INTEGRALES PARA BOVINOS CON INCLUSIÓN DE BAGAZO DE CAÑA Y UN SUBPRODUCTO ENERGETICO DERIVADO EN EL PROCESO DE OBTENCION DE ETANOL**, realizada por el alumno: JOSÉ DOMINGO SANDOVAL ROMERO bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA**

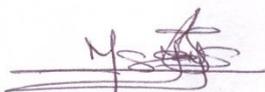
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO



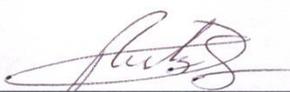
Dr. J. Efrén Ramírez Bribiesca

ASESOR



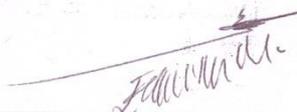
Dr. Marcos Meneses Mayo

ASESOR



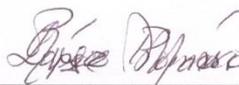
Dr. Arturo Pro Martínez

ASESOR



Dr. Eliseo Sosa Montes

ASESOR



Dra. Rosa María López Romero

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio 2014

## AGRADECIMIENTOS

A la **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por haberme brindado la oportunidad de estudiar un posgrado con el apoyo económico.

Al **Colegio de postgraduados** por ser mi casa de estudios y brindarme la oportunidad de estudiar el posgrado.

Al **Dr. Efrén Ramírez Bribiesca**, por su apoyo, consejos, confianza y sobre todo amistad otorgada durante la realización de este proyecto. Gracias por siempre apoyarme y creer en mí para salir adelante, lo cual me ayudo a crecer como persona.

Al **Dr. Marcos Meneses Mayo**, por estar siempre atento en la realización de la tesis. Gracias por su exigencia en clases que me ayudó mucho a sacar los compromisos adelante y saber que en la vida todo es posible y sobre todo gracias por su amistad.

Al **Dr. Arturo Pro Martínez**, por las asesorías brindadas en todo el proceso de la tesis y estar al pendiente de los análisis realizados.

Al **Dr. Eliseo Sosa Montes**, por su apoyo en la obtención de resultados y elaboración de análisis del proyecto en el laboratorio de nutrición de la Universidad Autónoma Chapingo y por contribución en la revisión y corrección del presente trabajo.

A la **Dra. Rosa María López Romero**, por sus consejos en la obtención de datos del trabajo, asesoría otorgada y su gran disponibilidad y cooperación para mejorar el contenido y presentación del trabajo.

A la **Dra. María Magdalena Crosby Galván y equipo de trabajo**, por su apoyo en la obtención de los resultados en el laboratorio, por siempre estar al pendiente y sobre todo por los consejos y enseñanzas brindadas para el crecimiento como persona.

**Esta tesis fue apoyada con el financiamiento de la Fundación PRODUCE  
Puebla, convocatoria 2013 y la Línea LP11 del Colegio de Postgraduados:  
Sistemas de Producción, Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y  
Pesquera**

## DEDICATORIAS

*A Dios, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles para poder salir adelante, ayudándome a entender los errores para ser mejor persona.*

*A mis padres Domingo Sandoval Cortes y Flor T. Romero Marín gracias por el apoyo incondicional otorgado en todo momento, por guiarme desde pequeño por un camino de bien lleno de consejos y sabiduría y sobre todo por su amor que me ha ayudado a salir adelante como persona y tener éxito en la vida.*

*A mis hermanos Luis Daniel, Sabino, Fermín y Beatriz por su apoyo incondicional, cariño, consejos y ejemplo de vida, por los regaños que me ayudan a seguir por un buen camino y por esos momentos que a su lado son inolvidables.*

*A mis sobrinos Luis Daniel, Said, Domingo Alexis, Hannia Camila, Misael, Santiago, Eduardo (+ los que faltan) por esos momentos de risas, cariño y amor que me hacen pasar, los cuales no cambiaría por nada.*

*A mi abuela Leonor Marín por el apoyo recibido, la confianza y por su cariño, para el cual no existen palabras que exprese lo que ha significado en el transcurso de mi vida.*

*A todos mis amigos que me ayudaron siempre a salir adelante con sus consejos, ayuda y comentarios que me hicieron ver las cosas de la manera adecuada para tener una vida de éxito.*

## CONTENIDO GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS .....	IV
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
INTRODUCCIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	2
OBJETIVO.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
Objetivos específicos .....	3
HIPÓTESIS .....	3
REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA .....	4
1. SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES.....	4
2. ESQUILMOS AGRÍCOLAS .....	5
3. CAÑA DE AZÚCAR.....	6
3.1 BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	7
3.2 MELAZA.....	8
3.3 PRODUCCIÓN DE ETANOL.....	9
4. DIGESTIBILIDAD EN ALIMENTACIÓN PARA RUMIANTES.....	11
5. PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD .....	12
5.1 TÉCNICA DE DIGESTIBILIDAD <i>in vivo</i> .....	12
5.2 TÉCNICA DE DIGESTIBILIDAD <i>in situ</i> .....	12
5.3 TÉCNICA DE DIGESTIBILIDAD <i>in vitro</i> .....	13
6. TÉCNICA DE PRODUCCIÓN DE GAS.....	13
7. ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES.....	14
LITERATURA CONSULTADA.....	15

ETAPA 1.- ANÁLISIS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MELAZA Y EL SUBPRODUCTO ALTEN-60.....	23
INTRODUCCIÓN .....	23
OBJETIVO.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
1. Características del experimento .....	24
2. Análisis de materia seca (MS).....	24
3. Análisis de cenizas .....	24
4. Análisis de proteína .....	25
5. Análisis de Fibra Detergente Neutro .....	25
6. Análisis de Fibra Detergente Ácida .....	26
7. Análisis de lignina.....	26
8. Cálculo de carbohidratos totales .....	26
9. Determinación de energía .....	27
10. Análisis estadístico .....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
1. Análisis proximal .....	28
CONCLUSIÓN .....	30
LITERATURA CONSULTADA.....	31

ETAPA 2.- COMPARACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD IN VITRO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR ADICIONADO CON MELAZA O ALTEN-60. ....	34
INTRODUCCIÓN .....	34
OBJETIVOS .....	34
MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
1. Características del experimento .....	34
2. Lugar del experimento.....	35
3. Preparación de los viales .....	35
4. Toma del líquido ruminal .....	36
5. Preparación de la solución buffer .....	36
6. Preparación del inóculo.....	36
7. Medición del gas .....	37
8. Obtención de la materia seca.....	37
9. Cinética de producción de gas .....	38

10. Diseño estadístico .....	38
CONCLUSIONES.....	49
LITERATURA CONSULTADA.....	50
ETAPA 3.- DIGESTIBILIDAD in vitro DE UNA DIETA PARA NOVILLOS CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR ADICIONADO CON MELAZA O ALTEN-60. .....	52
INTRODUCCIÓN .....	52
OBJETIVOS .....	52
MATERIALES Y MÉTODOS .....	52
1. Características del experimento .....	52
2. Lugar del experimento y preparación de las muestras (incisos 2 al 7 de la etapa 2) .....	53
3. Obtención de la materia seca.....	53
4. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) .....	54
6. Diseño estadístico .....	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
CONCLUSIONES.....	71
LITERATURA CONSULTADA.....	72
CONCLUSIONES GENERALES.....	73

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Composición química de algunos residuos agroindustriales .....	4
<b>Cuadro 2.</b> Principales estados de la República Mexicana productores de caña de azúcar reportados por SIAP-SAGARPA, en el ciclo productivo 2012-2013. .	6
<b>Cuadro 3.</b> Composición química de la melaza de la caña de azúcar .....	9
<b>Cuadro 4.</b> Composición de los ingredientes utilizados en la etapa 1.....	28
<b>Cuadro 5.</b> Tratamientos de la etapa 2 con 0.5 g de muestra.....	35
<b>Cuadro 6.</b> Producción de gas por g de materia seca (mL/gMS) en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza ALTEN-60.....	40
<b>Cuadro 7.</b> Producción de gas por g de materia seca degradada (mL/gMSD) en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60. ....	44
<b>Cuadro 8.</b> Digestibilidad de la materia seca inicial en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60. ....	48
<b>Cuadro 9.</b> Dietas integrales utilizadas como tratamientos en la etapa 3 con diferentes % de los subproductos evaluados (0, 7, 14, 21, 28%).....	53
<b>Cuadro 10.</b> Porcentajes de los nutrientes en los tratamientos utilizados.....	56
<b>Cuadro 11.</b> Producción de gas en materia seca inicial en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60. ....	58
<b>Cuadro 12.</b> Producción de gas por gramo de materia seca degradada en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60.....	62
<b>Cuadro 13.</b> Digestibilidad de la materia seca inicial en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60. ....	66
<b>Cuadro 14.</b> Producción de ácido acético con tratamientos que contenían melaza y ALTEN-60. ....	68
<b>Cuadro 15.</b> Producción de ácido propiónico con tratamientos que contenían melaza y ALTEN-60. ....	69
<b>Cuadro 16.</b> Producción de ácido butírico con tratamientos que contenían melaza y ALTEN-60. ....	70

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de melaza.....	41
<b>Gráfica 2.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60. ....	42
<b>Gráfica 3.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de melaza. ....	45
<b>Gráfica 4.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60. ....	46
<b>Gráfica 5.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de melaza.....	59
<b>Gráfica 6.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60. ....	60
<b>Gráfica 7.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de melaza. ....	63
<b>Gráfica 8.</b> Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Integración productiva de la industria azucarera ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	7
<b>Figura 2.</b> Producción de ALTEN-60 a partir de la caña de azúcar.....	11

**DIGESTIBILIDAD *in vitro* EN DIETAS INTEGRALES PARA BOVINOS CON INCLUSIÓN DE BAGAZO DE CAÑA Y UN SUBPRODUCTO ENERGÉTICO DERIVADO EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ETANOL**  
**RESUMEN**

Sandoval Romero José Domingo

En pruebas de fermentación *in vitro* se utilizó como sustrato el bagazo de caña, para evaluar un subproducto energético obtenido de la producción de etanol conocido como (ALTEN-60). Se utilizó como producto comparativo la melaza se utilizó en todas las pruebas, con el propósito de realizar comparaciones con el ALTEN-60 debido a su similitud en sus propiedades bromatológicas. Se realizaron 3 etapas en la investigación, en la primera se realizó el análisis proximal de los productos: La melaza mostro mayor porcentaje de materia seca y energía ( $P<0.05$ ) que ALTEN-60, el contenido de proteína, cenizas y extracto etéreo del ALTEN-60 fueron más altos que en la melaza ( $P<0.05$ ). En la etapa número 2 se midió la producción de gas en los 2 subproductos energéticos, se pesó 0.5 gramos de bagazo de caña y se fue sustituyendo en diferentes cantidades de los 2 subproductos (25, 50, 75 y 100%); los tratamientos con melaza produjeron más cantidad de gas ( $P<0.05$ ) que los tratamientos con ALTEN-60. Sin embargo la digestibilidad fue mayor en los tratamientos con 75 y 100% de ALTEN-60 ( $P<0.05$ ). En la última etapa se utilizó como sustrato una dieta integral para bovino con 12% de proteína y 1.2 Mcal ENg, incluyéndose cantidades de 0, 7, 14, 21, 28% de los 2 subproductos energéticos. Se presentaron diferencias significativas ( $P<0.05$ ) en los tratamientos con 7 y 21% para ALTEN-60 y melaza, respectivamente. No hubo diferencias en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) ( $P<0.05$ ). El ALTEN-60 presentó mayor contenido de proteína que la melaza, la cantidad de energía fue mayor en la melaza ( $P<0.05$ ). Se concluyó que el subproducto ALTEN-60 es un subproducto energético que se puede incluir hasta en un 28% en las dietas integrales mejorando la homogeneidad y el valor energético de la dieta para animales rumiantes.

**Palabras claves:** subproducto, dieta, bagazo, melaza, ALTEN-60.

**DIGESTIBLE in vitro IN DIETS FOR CATTLE COMPREHENSIVE  
INCLUDING BAGASSE BYPRODUCT AND ENERGY IN THE PROCESS OF  
PROCUREMENT OF ETHANOL**

**ABSTRACT**

Sandoval Romero José Domingo

In tests in vitro fermentation substrate was used bagasse, to evaluate an energy product obtained from ethanol production known as (ALTEN-60). Was used as comparison product molasses was used in all tests, with the purpose of comparison with the Alten-60 because of its similarity in their bromatologic properties. Three steps were performed in the research, in the first the proximate analysis of the products was performed: Molasses showed higher percentage of dry matter and energy ( $P < 0.05$ ) than ALTEN-60, the content of protein, ether extract and ash the ALTEN-60 were higher than molasses ( $P < 0.05$ ). In step No. 2 gas production in the two products was measured energy, 0.5 g of bagasse was weighed and was replaced by different amounts of the two products (25, 50, 75 and 100%); molasses treatments more gas produced ( $P < 0.05$ ) than treatments ALTEN-60. However digestibility was higher in the treatments with 75 and 100% of ALTEN-60 ( $P < 0.05$ ). In the last stage was used as substrate for bovine comprehensive diet with 12% protein and 1.2 Mcal ENg, including amounts of 0, 7, 14, 21, 28% of the 2 energy products. Significant differences ( $P < 0.05$ ) in treatments 7 and 21% for ALTEN-60 and molasses, respectively, were presented. There were no differences in the production of volatile fatty acids (VFA) ( $P < 0.05$ ). The ALTEN-60 had a higher protein content than molasses, the amount of energy was higher in molasses ( $P < 0.05$ ). It was concluded that the product ALTEN-60 is an energy product that can include up to 28% in the complete diets improve uniformity and the energy value of the diet for ruminant animals.

**Keywords:** product, diet, bagasse, molasses, ALTEN-60.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico de la población a nivel mundial ha propiciado en los últimos años el desarrollo científico y tecnológico necesario para generar nuevas alternativas para la alimentación de la población humana y de los animales domésticos, buscando la calidad del medio ambiente, mejorar las condiciones de vida, evitar la degradación del entorno natural y asegurar un futuro adecuado para generaciones venideras. Además de lo anterior, se debe emplear métodos de producción que no sean tóxicos para consumidores ni trabajadores del sector, buscando garantías de salubridad y seguridad alimentaria (Meneses, 2002; Viniegra, 2004).

En los sistemas de producción de rumiantes varios de los problemas que se presentan son la falta y el costo de ingredientes nutritivos, problemas de sobrepastoreo, la baja calidad y disponibilidad de los pastos a través del año (Aranda, 2000; Peláez, 2011).

Los productos alimenticios derivados de la industria del etanol y de la industria azucarera son una de varias alternativas en la alimentación de los animales (Villar, 2010). La caña de azúcar es un recurso forrajero abundante en el trópico mexicano y su inconveniente principal es el bajo contenido de proteína y digestibilidad de la fibra, debido a que sus paredes celulares tienen un alto contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina (Cano *et al.*, 2003), además contiene altos niveles de sacarosa y bajas cantidades de minerales (Ruíz *et al.*, 2005). Esta gramínea muestra una buena producción de biomasa cuando se utiliza para la alimentación animal, ya sea en forma integral o con los residuos de cosecha, así como los subproductos de la industria azucarera como la melaza (Stuart y Fundora, 1994). La caña de azúcar y sus subproductos se utilizan en la alimentación animal de los rumiantes, pero se requiere de una suplementación equilibrada para satisfacer sus necesidades nutricionales (Preston, 2000). Actualmente las agroindustrias utilizan menos de 10% de la biomasa que generan, lo que ocasiona contaminación al no aprovechar estos subproductos (Liu *et al.*, 2008).

## JUSTIFICACIÓN

En México los alimentos utilizados en la producción animal son cada vez más caros, por tal motivo se busca mejor eficiencia en la alimentación y nuevas alternativas de producción. Uno de los residuos agroindustriales más abundantes en México es el bagazo de caña de azúcar, con una producción alrededor de 13,000,370 toneladas de bagazo por año (SAGARPA, 2009).

Además de esto, la producción de etanol en México está tomando más importancia, los subproductos o desechos generados de esta industria, pueden ser utilizados como alimentos para la producción animal. Un ejemplo es el **Grupo Báltico**, produce etanol, derivado de la fermentación de la caña de azúcar, lo que da como residuo un complemento nutricional pecuario llamado (ALTEN-60<sup>®</sup>), este producto contiene azúcares de fácil fermentación, sin embargo el estudio se realizaron pruebas de fermentación ruminal *in vitro*, que marquen las cantidades adecuadas de inclusión del subproducto para que puedan ser utilizados en dietas integrales de animales bovinos con el objeto de usarse en la ganadería como un producto que ayude en su alimentación del ganado y que contribuya al cuidado del medio ambiente.

## **OBJETIVO**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Determinar el valor nutricional y nivel de inclusión *in vitro* del subproducto (ALTEN-60) para dietas en bovinos.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar el análisis nutricional de los ingredientes (ALTEN-60<sup>®</sup>, melaza y bagazo).
2. Evaluar el nivel de inclusión del subproducto (ALTEN-60) y la melaza (como referencia) en proporciones de 0, 25, 50, 75 y 100% en el sustrato de bagazo de caña de azúcar mediante su evaluación en pruebas *in vitro*.
3. Evaluar la cantidad máxima de melaza y el subproducto ALTEN-60 en una prueba de digestibilidad *in vitro* con una dieta integral para bovinos, estableciendo el nivel adecuado en función a la eficiencia de producción de gas y digestibilidad en pruebas *in vitro*.

## **HIPÓTESIS**

La inclusión del subproducto ALTEN-60 en dietas para bovinos de engorda mejora el valor energético de la dieta y disminuye los costos de producción de los animales.

## REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

### 1. SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES

A través de la producción de alimentos para humanos y animales por medio de la industria, se genera gran cantidad de subproductos agroindustriales que debido a su contenido de nutrientes y su volumen de producción se convierten en una opción para la elaboración de alimentos de especies de interés pecuario (Eun *et al.*, 2006). Entre los subproductos agroindustriales de gran interés están los residuos y pajas de algodón, cacahuate, arroz, caña de azúcar, cítricos, yuca, sorgo y maíz (Graminha *et al.*, 2008). El Cuadro 1 muestra el valor nutricional de algunos de subproductos agroindustriales.

**Cuadro 1.** Composición química de algunos residuos agroindustriales

Residuos	Proteína total	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina
Paja de arroz	4.5	36.5	17.4	5.6
Rastrojo de maíz	6.4	31.8	21.7	7.9
Olote de maíz	2.1	40.7	40.7	6.3
Rastrojo de sorgo	7.8	21.4	24.9	5.5
Rastrojo de soya	9.2	35.5	18.4	17.9
<b>Bagazo de caña</b>	<b>1.7</b>	<b>46.0</b>	<b>24.0</b>	<b>20.0</b>

Cabrera, 1995.

Los residuos agroindustriales se dividen en dos grupos debido a sus características nutricionales: 1) Alta digestibilidad como son la pulpa de cítricos, salvado de gluten de maíz, cáscara de soya y residuos de fabricación de cerveza. 2) Los de baja digestibilidad, como el bagazo de caña de azúcar, pajas de cereales, cáscara de cacahuate y esquilmos agrícolas (Graminha *et al.*, 2008).

El reciclaje de subproductos agrícolas e industriales, susceptibles de ser utilizados como alimentos toscos en la dieta de rumiantes, se ve reflejado en un ahorro en la economía regional y una disminución importante de la contaminación en los sistemas naturales, a la vez que resuelve parcialmente el problema de eliminación que tienen las empresas transformadoras, con la consiguiente reducción de los costos de producción (Garcés, 1998). Asimismo, el uso de los residuos tiene en la mayoría de los casos, carácter estacional

(Martínez y Medina, 1982; Martínez *et al.*, 1998), lo que hace necesario estudiar el método idóneo de conservación, ya que presentan características diversas en su composición debido a sus propiedades químicas y al tipo de proceso industrial del que son obtenidos.

## **2. ESQUILMOS AGRÍCOLAS**

La cantidad anual de esquilmos agrícolas oscila alrededor de 45 millones de toneladas de materia seca (maíz, sorgo, trigo, frijol, arroz). Estos materiales son muy importantes para alimentar al ganado en las épocas en que escasean los alimentos tradicionales, situaciones que se presentan cada año durante el invierno y los períodos de sequía. El rastrojo de maíz, las pajas de sorgo y trigo representan poco más del 81% de los residuos de cultivos. El rendimiento del rastrojo de maíz oscila entre tres y cinco toneladas por hectárea (SAGARPA, 2009).

Los residuos agropecuarios y agroindustriales son considerados como baratos y de fácil disponibilidad, que garantiza su utilización en la alimentación de animales rumiantes (Loehr, 1986). La caña de azúcar es un cultivo que produce una gran cantidad de biomasa en forma muy eficiente y sus productos se emplean en la alimentación humana, al igual que en muchas especies ganaderas.

En forma tradicional los derivados de la caña de azúcar se agregan en forma limitada y variable a las raciones para rumiantes, en especial para bovinos; en promedio, solamente alrededor de 20% de las puntas de caña y 10 % del bagazo se usan para dicho propósito (SAGARPA, 2009). Liu *et al.* (2008) mencionan que la agroindustria ocupa alrededor del 10% de su biomasa generada, lo que ocasiona su quema en campo generando contaminación en el ambiente.

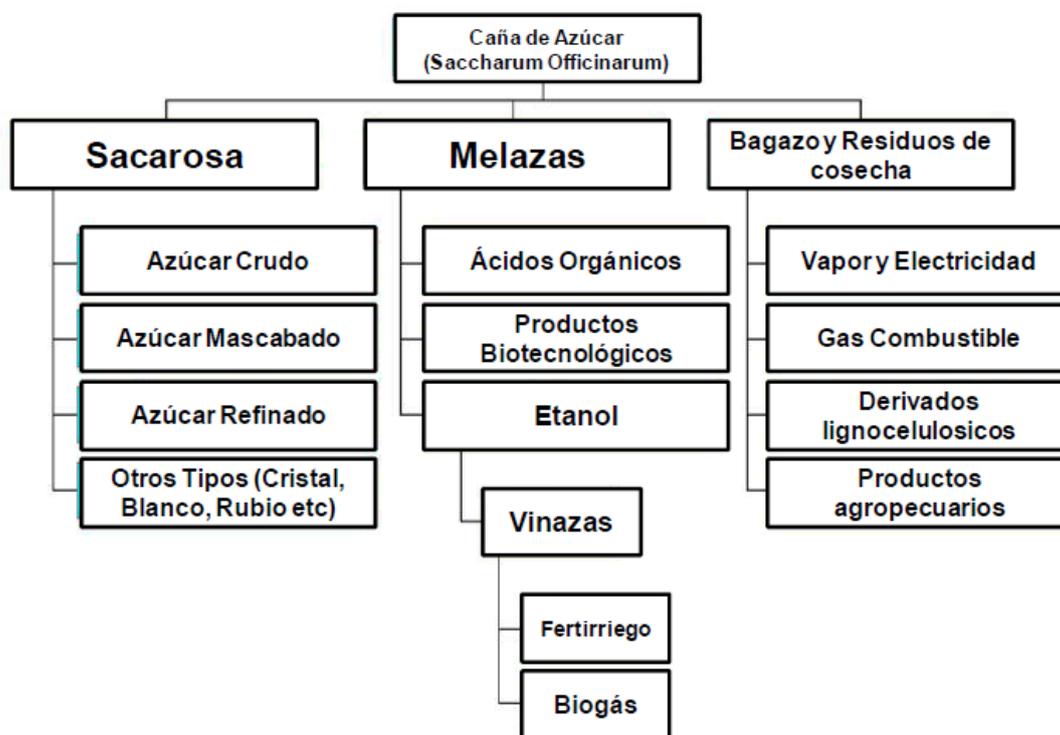
### 3. CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea tropical que tiene su origen genético en Nueva Guinea, la cual pertenece a la familia de las gramíneas (Colorado, 2009). Es un recurso forrajero abundante en el trópico mexicano y su inconveniente principal es el contenido escaso de proteína y la baja digestibilidad de la fibra debido a que sus paredes celulares tienen un alto contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina (Cano *et al.*, 2003). En México para 2011 se reportó una producción de 49,775,419 toneladas con un promedio de 69.939 ton/ha, mientras que para 2012 SIAP reportó una superficie cosechada de 735,126 ha con una producción de 50,946,483.13 toneladas y un promedio de 69.30 ton/ha. Como se muestra en el Cuadro 2, la producción de caña se centra en algunos estados. Veracruz tiene la mayor producción en toneladas de bagazo, las cuales se pueden utilizar en la producción animal como alimento en época de estiaje.

**Cuadro 2.** Principales estados de la República Mexicana productores de caña de azúcar reportados por SIAP-SAGARPA, en el ciclo productivo 2012-2013.

Ubicación	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
Veracruz	289,840.32	270,537.64	18,111,885.63	11,692,701.94
Jalisco	80,119.72	75,820.72	6,254,590.49	4,056,565.91
Tamaulipas	62,038.00	55,841.00	3,571,398.00	2,541,717.16
Oaxaca	67,989.14	62,014.19	3,482,393.93	2,285,379.65
Chiapas	30,350.14	30,350.14	2,819,451.95	1,977,400.52
<b>Total</b>	<b>777,242.71</b>	<b>735,126.68</b>	<b>50,946,483.13</b>	<b>33,807,936.27</b>

Para tener una idea clara de los derivados de la caña de azúcar, la Figura 1 muestra los procesos técnicos en la obtención de estos productos:



Avram *et al.*, (2005); Gamarra *et al.*, (2005)

**Figura 1.** Integración productiva de la industria azucarera (*Saccharum officinarum*)

### 3.1 BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo de caña es un residuo fibroso de la caña de azúcar obtenido después de la tritución y extracción del jugo, caracterizado por ser un material lignocelulolítico constituido principalmente por celulosa y hemicelulosa ligadas fuertemente a la lignina (Liu *et al.*, 2007), además de esto es uno de los residuos agroindustriales más abundantes en los trópicos lo que beneficiaría a la alimentación animal (Pandey *et al.*, 2000). El bagazo en su forma natural después del proceso agroindustrial contiene 50% de agua y sólidos solubles, proporción que varía de acuerdo a la calidad y variedad de la caña, y a los procesos utilizados en la molienda (Alcántara y Pérez-Gil, 1983).

El bagazo representa 12% del peso total de la planta, el cual es utilizado en el ingenio como combustible, abono, celulosa, papel, producción de etanol, y en procesos de bioconservación como la producción de químicos, hongos comestibles y alimentación de ganado, entre otras (Meunchang *et al.*, 2005). El contenido nutricional del bagazo de caña de azúcar es muy bajo, por lo que se realizan tratamientos químicos, físicos y biológicos para mejorar su aprovechamiento por los animales. Al realizar el análisis proximal, encontramos que el bagazo de caña de azúcar contiene un alto contenido de materia seca (91.5%), pero su contenido de proteína es bajo, aun comparándolo con otros esquilmos agrícolas (1.6%), en lo que se refiere a energía metabolizable su valor es igualmente inferior (1.10 Mcal/kg), pero el porcentaje de FDN es superior con 87% por lo que conviene hacerlo más asimilable por los bovinos (SAGARPA, 2009).

El bagazo se produce por 54 ingenios en el país, obteniendo una producción para la zafra 2010-2011 de 12,839,037 ton de bagazo de caña de un total de 49,775,419 ton de caña. Para la zafra del 2012 la producción de bagazo de caña en el país fue de 13,477,068 ton de bagazo, extraídas de 50,946,483.13 ton de caña de azúcar, lo que refleja incremento en la producción de caña y bagazo (CONADESUCA, 2012).

### **3.2 MELAZA**

La melaza es un subproducto de la producción de azúcar de caña de color obscuro, viscoso y denso, se utiliza como un complemento en la alimentación animal por su alto contenido energético. Contiene de 25 a 40% de sacarosa, de 12 a 25% de azúcares reductores, y de 50 a 60% o más de azúcar. Su utilización se incrementó porque mejora la relación beneficio costo en la alimentación animal (Martínez, 2000). Se emplea como aditivo, fijador, vehículo de NNP y vitaminas, en suplementos líquidos. Tiene efectos adversos cuando se utiliza inadecuadamente, es laxante y tóxica por la fermentación acelerada de los azúcares (Ventura y Osuna, 1995).

La composición química de la caña de azúcar varía por la variedad de la caña y el tratamiento que se le haya dado. El cuadro 3 muestra la composición química de la melaza de caña de azúcar.

**Cuadro 3.** Composición química de la melaza de la caña de azúcar

<b>COMPONENTE</b>	<b>%</b>
Humedad	22.4
Proteína cruda	3.4
Grasa cruda	0.9
Fibra cruda	0.2
Material mineral	11.1
Azúcares	62

Mendoza y Moreira (2009)

### **3.3 PRODUCCIÓN DE ETANOL**

Los combustibles fósiles, el petróleo y sus derivados, como fuente de energía no renovable, están llegando a niveles de agotamiento acelerado y se estima que a mediano plazo ya no será posible cubrir la demanda mundial. Esta situación, sumada a la contaminación ambiental y al calentamiento global, provocados en gran medida por el uso de este tipo de combustibles, es un reto de enormes proporciones, pero también una oportunidad para la implementación de energías renovables (SAGARPA, 2010).

La producción de etanol a partir de melazas de caña de azúcar, es una práctica conocida en México, y se usa mayoritariamente para producir bebidas. Diversos ingenios mexicanos poseen destilerías, aunque no operan de forma regular durante cada zafra (SAGARPA, 2010). El etanol producido a partir de cereales y frutas es quizás el producto más antiguo obtenido por la biotecnología tradicional, ya que el consumo y producción de bebidas alcohólicas data de hace más de 8 mil años (Serna, 2010).

Las tecnologías usadas para la producción de etanol se clasifican de acuerdo a la materia prima a utilizar. Los materiales ricos en azúcares simples como caña y sorgo dulce y los abundantes en almidón como papa, camote y cereales usan

una tecnología madura o de “primera generación” basada en el uso de agua, enzimas y microorganismos fermentadores. En estos casos la materia prima representa hasta el 80% del costo final del combustible (Chuck, *et al.*, 2011).

El etanol de “segunda generación” es el que se obtiene a partir de residuos agrícolas, pasto y en general de materiales fibrosos que están compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa (Chuck, *et al.*, 2011). El bioetanol puede ser obtenido, a partir de diferentes materias primas ricas en azúcares, como la caña de azúcar, remolacha azucarada y sorgo dulce, materias ricas en almidones trigo, maíz, cebada, yuca y materias primas ricas en celulosa desechos agrícolas, forestales y municipales (Bueno, *et al.*, 2009). En general, los efluentes derivados del proceso de producción de azúcar (mieles finales) tienen como destino principal la fertilización de los campos cañeros (SAGARPA, 2010).

ALTEN-60 es un subproducto de la obtención del etanol a partir de la caña de azúcar, que ha sido ofrecido a los animales para disminuir los costos de producción y hacer más eficiente la alimentación. Al utilizar este subproducto del **Grupo Báltico** los productores obtendrán mayores beneficios (Figura 2).



**Figura 2.** Producción de ALTEN-60 a partir de la caña de azúcar.

#### 4. DIGESTIBILIDAD EN ALIMENTACIÓN PARA RUMIANTES

Las tasas de digestibilidad de los alimentos son fundamentales para establecer el valor nutritivo de éstos, lo que conlleva a la formulación adecuada de las dietas para los rumiantes (Van Soest *et al.* 1978). La digestibilidad mide la porción consumido que se absorbe del alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias adecuadas para su absorción (García, 2009). También se menciona como una medición que se usa para determinar la calidad de un alimento por el animal. Este parámetro es clave porque todos los sistemas de energía la utilizan como base y esta variable está relacionada con la cantidad y calidad de los componentes de la pared celular (Zimmer, 1990).

En resumen podemos decir que el coeficiente de digestibilidad comprende realmente dos procesos, la digestión y la digestibilidad por lo que es muy importante distinguir entre los dos (García, 2009). Específicamente las tasas de digestibilidad varían por el tamaño y la edad de los animales, tipo de alimento, método de elaboración, efectos ambientales como la temperatura, y las interacciones entre ingredientes o nutrientes en las dietas (García, 2009).

## **5. PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD**

### **5.1 TÉCNICA DE DIGESTIBILIDAD *in vivo***

La digestibilidad *in vivo* de un alimento es una técnica que evalúan factores internos y externos del experimento, como absorción del alimento, respuesta del animal visualmente etc. (Contreras, 2001). En la técnica se debe disponer de jaulas metabólicas con separadores de heces y orina, debe haber un manejo previo de adaptación de los animales. Los animales deben ser alimentados a la misma hora todos los días para disminuir los errores en el experimento (Contreras, 2001; Torres *et al.*, 2009). Esta es afectada por numerosos factores, como el tipo de ración, el nivel y pauta de ingestión de los alimentos, la especie animal y el estado fisiológico del animal (Schneider and Flatt, 1975).

### **5.2 TÉCNICA DE DIGESTIBILIDAD *in situ***

La técnica *in situ* a la cual también se le conoce como técnica de la bolsita de nylon (Orskov *et al.*, 1980) permite estudiar la cinética de desaparición del alimento en el rumen de animales fistulados. Utiliza animales canulados en rumen para medir la digestibilidad de los alimentos directamente en el rumen (Torres *et al.*, 2009). Mide la extensión y velocidad de la digestión, los efectos de la dieta y de la suplementación, entre otros. Tiene varias fuentes de error, como lo es la dieta del animal, tamaño, tipo y diámetro de la bolsa, peso de la muestra, número de muestras, tiempo de permanencia de la bolsa en el rumen y modo de extracción entre otros (Castellanos, 1990).

### **5.3 TÉCNICA DE DIGESTIBILIDAD *in vitro***

La técnica de digestibilidad *in vitro* simula la digestibilidad del tracto digestivo del rumiante y requiere de la preparación de un inóculo que contenga microorganismos ruminales viables (Tilley y Terry, 1963). Este método consiste en reproducir en condiciones de laboratorio lo que sucede en el organismo animal mediante una reproducción lo más parecido a lo real (Mojica, 2010). Los métodos *in vitro* son útiles porque son más rápidos, sencillos y son menos costosos que los métodos de digestibilidad *in vivo*.

### **6. TÉCNICA DE PRODUCCIÓN DE GAS**

La técnica de producción de gas es un método *in vitro* que permite determinar la extensión y la cinética de degradación del alimento por el volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Theodorou *et al.*, 1994). Las más utilizadas son las de desplazamiento de líquido (Beuvink *et al.*, 1992), método manométrico (Waghorn y Stanfford, 1993), sistema del transductor computarizado (Pell y Schofield, 1993; Davies *et al.*, 1995; Cone *et al.*, 1996).

El gas producido es capaz de mover el embolo de la jeringa produciendo presión en los frascos para registrar la lectura en mililitros (mL) de gas a diferentes horarios de incubación (Williams, 2000). Se han llevado a cabo modificaciones a la técnica para hacerla más eficiente, en nuestro caso utilizamos una bureta sobre un soporte universal en la cual el gas producido desplazó el agua contenida en la bureta, midiendo don ello la producción de gas en mililitros de agua.

La técnica de medición de la producción de gas como una simulación a la fermentación que se presenta en el rumen no es nueva, ya que las primeras pruebas de degradabilidad utilizando esta técnica *in vitro* por producción de gas iniciaron en la Estación Experimental Weende de la Universidad de Goettingen en Alemania antes de 1860 (Rymer, 2000).

El gas producido es consecuencia de la degradación de la muestra del alimento por los microorganismos del rumen. Al medir la cantidad de gas que es producido durante la incubación, se asume que la degradación de la materia

seca del alimento evoluciona de modo similar. Se basa en el registro de la evolución del volumen de gas producido *in vitro* como indicador de la fermentación de los sustratos a evaluar, ya que existe una relación proporcional entre la digestión microbiana de los alimentos y la producción de gas durante la fermentación (Beuvink y Spoelstra, 1992). Los principios generales son similares a los de las técnicas *in vitro* empleadas para estimar digestibilidad: uso de sustratos molidos, medio anaeróbico, inóculo ruminal y una incubación a 39°C en baño o incubadora. La diferencia fundamental está en que se mide la producción de gas al final de la incubación y a intervalos regulares de tiempo definida como cinética de la fermentación (Williams, 2000). La técnica de producción de gas nos permite la estimación de un gran número de muestras en menor tiempo, poca cantidad de muestra, gastos menores que la técnica *in vivo* y un número bajo de animales los cuales pueden ser utilizados por un largo tiempo (Williams, 2000).

## 7. ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES

La fermentación de los alimentos en el rumen produce principalmente ácidos grasos volátiles (AGV), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y biomasa microbiana. El gas producido durante la fermentación *in vitro* representa la suma del producido por la descarboxilación oxidativa del piruvato (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>), o gas directo, y el producido por la reacción entre el tampón bicarbonato y los AGV para mantener el pH del medio, o gas indirecto (Beuvink y Spoelstra, 1992). La proporción de CH<sub>4</sub> no afecta la cantidad total de gas que se produce durante la fermentación porque un mol de CH<sub>4</sub> reemplaza directamente a 1 mol de CO<sub>2</sub>, al unirse con el H<sup>+</sup> (Theodorou *et al.*, 1998).

Los cambios en el patrón de fermentación incrementan la proporción de ácido butírico y acético y disminuye la proporción de propiónico, pueden resultar en un incremento en el volumen de gas. Contrariamente cambios en la estequiometría de las reacciones aumentan la proporción de propiónico a expensas del butírico y acético, resultando en menos producción de gas a partir de la fermentación. La proporción molar de AGV se debe considerar cuando se realizan comparaciones entre perfiles de producción de gas provenientes de diferentes sustratos (Theodorou *et al.*, 1998).

## LITERATURA CONSULTADA

- Alcántara, E. y Pérez-Gil, F. 1983. Subproductos fibrosos de la molienda de caña de azúcar para la alimentación de rumiantes. Instituto Nacional de la Nutrición “Salvador Zubirán”. México D.F. 20 p.
- Aranda, I. E. M. 2000. Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias veterinarias. Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F.
- Avram P.; Morgenroth, B. y Seemann, F. 2005. “Benchmarking concept for an integrated sugar, ethanol and co-generation plant”. En: *Proceedings XXV Congress of International Society of Sugar Cane Technologists Congress* (Ciudad de Guatemala, 30 de enero a 4 de febrero de 2005). Ciudad de Guatemala: ISSCT, 130-204.
- Beuvink, J.M.W. & Spoelstra, S.F. 1992. Interactions between substrate fermentation end products buffering system and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms *in vitro*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 37: 505
- Beuvink, J.M.W., Spoelstra, S.F. & Hogendorp, R.J. 1992. An automated method for measuring time-course of gas production of feedstuff incubated with buffered rumen fluid. *Neth. J. Agric. Sci.* 40: 401.
- Bueno, G., Cordovés, M. Delgado, G. 2009. Sorgo dulce: sus potencialidades productivas. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Ciudad de La Habana, Cuba. Vol. XLIII, núm. 3, septiembre-diciembre. pp. 15-21.
- Cabrera a. 1995. El cultivo de la caña de azúcar en un modelo de agricultura sostenible. II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. La Habana, 35 p.

- Cano A., L., E. M. Aranda I., G. D. Mendoza M., J. Pérez P., J. A. Ramos J. 2003. Comportamiento de toretes en pastos tropicales suplementados con caña de azúcar y enzimas fibrolíticas. *Téc. Pec. Méx.* 41 (2): 153-164.
- Castellanos, R. A., Llamas, L. G. y Shimada, A. 1990. Manual de Técnicas de Investigación en Ruminología. Sistemas de Producción Continua en Producción Animal en México, A.C. México, 1990.
- Chuck H. C., Pérez C. E., E. Heredia O. E., y Serna S. S. O. 2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 10, No. 3. 529-549.
- CONADESUCA. 2012. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. SAGARPA.
- Colorado, G. A. 2009. Evaluación química-nutricional de Saccharina sin y con lactobacilos. Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. pp 58.
- Cone, J.W., Van Gelder, A.H., Visscher, G.J.W. & Oudshoorn, L. 1996. Influence of rumen fluid and substrate concentration on fermentation kinetics measured with a fully automated time relate gas production apparatus. *Anim. Feed. Sci. And Technol.* 61: 113
- Contreras, J. L. 2001. Determinación de la tasa de digestión de gramíneas tropicales en el estado de Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- Davies, D.R., Theodorou, M.K., Baughan, J., Brooks, A.E. & Newbold, J.R. 1995. An automated pressure evaluation system (APES) for determining the fermentation characteristics of ruminant feeds. *Ann Zootechnique*. 44: 36

- Eun J. S., Beauchemin K. A., Hong S. H., Baver M. W., 2006. Exogenous enzymes added to untreated or ammoniated rice straw: Effects on in vitro fermentation Characteristics and degradability. *Anim. Feed Science Technol.* 131, 87-102
- García G. F. Y. 2009. Evaluación de fuentes proteicas por medio de digestibilidad *in vivo* e *in vitro* para elaboración de dietas de juveniles de jurel, *seriola lalandi dorsalis*. Tesis. Centro de investigación científica y de educación superior de ensenada. Programa de posgrado en ciencias con orientación en acuicultura. Ensenada, Baja California.
- Gamarra, J. M.; Silva Lora, E. E. y Nogueira, L. A. H. 2005. "Techno-economical Evaluation of Diversification in Sugarcane Industry". En: *Proceedings XXV Congress of International Society of Sugar Cane Technologists Congress* (Ciudad de Guatemala, 30 de enero a 4 de febrero de 2005). Ciudad de Guatemala: ISSCT.
- Garcés, N. C. 1998. Un estudio sobre la utilización de subproductos agrícolas y agroindustriales valencianos para la alimentación animal. Tesis Doctoral. Departamento de ciencia animal. Universidad Politécnica de Valencia. (España).
- Graminha, E.BN., Gonçalves, A.Z.L., Pirota, R.D.P.B., Balsalore, M.A.A., Da Silva, R., Gomes, E. 2008. Enzyme production by solid-state fermentation: Application to animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology.* 144 1-22.
- Liu, C. F., Sun, R. C., Qin, M. H., Zhang, A. P., Ren, J. L., Ye, J., *et al.* 2008. Succinoylation of sugarcane bagasse under ultrasound irradiation. *Bioresour. Technol.* 99:1465-1473
- Liu C F, Sun R C, Qin M H, Zhang A P, Ren J L, Xu F, *et al.* 2007. Chemical modification of ultrasound-pretreated sugarcane bagasse with maleic anhydride. *Ind. Crop. Prod.* 26:212-219.

- Loehr, R. C. 1986. Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales. In: Memorias de la utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en América Latina y el Caribe. 23-32.
- Martínez, C. P. 2000. Suplementación con bloques multinutricionales y su efecto en la condición de vacas en agostadero, en la Región de Tierra Caliente. (Tesis de licenciatura). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Morelia, Michoacán, México.
- Martínez, T. A; Madrid, S. J; Megías, R. M. D; Gallego, B. J. A; Rouco, Y. A; Hernández, R. F. 1998. Uso de forrajes y subproductos en las explotaciones de vacuno de leche de la Región de Murcia. Archivos de Zootecnia. 44: 33-42.
- Martínez, T. A; Medina, B. M. 1982. Contribución al estudio de los subproductos de la industria conservera de Murcia en la alimentación animal. Archivos de zootecnia. 31(120): 155 – 169.
- Meneses, M. M. 2002. Evaluación nutritiva y fermentativa del ensilado de dos subproductos agroindustriales brócoli (*Brassica oleracea*, L. var. itálica) Y alcachofa (*Cynara scolymus*, L) para su empleo en la alimentación animal. Tesis doctoral. Departamento de nutrición animal. Universidad de Murcia, Murcia España. 427 p.
- Mendoza, A. L. G. y Moreira, E. J. C. 2009. “Reactivación del tanque de melaza en el departamento de producción animal de la facultad de ciencias veterinarias de la universidad técnica de Manabí.” (Tesis de Licenciatura). Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ciencias Veterinarias. Portoviejo, Manabi, Ecuador.

- Meunchang, S. Panichssakpatana, S., Weaver, R. W. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse by-products from a sugar mill. *Bioresorse Technology* 96: 437-442.
- Mojica, M. M. 2010. Establecimiento y Uso de la Técnica de Digestibilidad *In Vitro* Para Evaluar Nutricionalmente Maíz Forrajero. Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tesis
- Orskov, E, R. Hovell, F. D, De B and Mould, F. 1980. The use of nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop.* 5: 195-213.
- Pandey, A., Soccol, C. R. and Mitchell D. 2000. New developments in solid state fermentation: I-Bioprocesses and products. *Process biocehmistry.* 35: 1153-1169.
- Peláez A. A., Meneses M. M., Miranda R. L. A., Ayala M. M., Crosby G. M. M., Loera C. O., Megías R. M. D. 2011. Enzimas fibrolíticas producidas por fermentación en estado sólido para mejorar los ensilajes de caña de azúcar. *Agrociencia* 45: 675-685. 2011.
- Pell, A. N. & Schofield, P. 1993. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion. *J. Dairy Sci.* 76: 1063
- Preston T., R., C. Hinojosa, y L. Martin. 1976. Ensilaje de la caña de azúcar con amoniaco, miel y ácidos minerales. *Prod. Anim. Trop.* 1:124-131.
- Rymer C., 2000. The Measurement of Forage Digestibility *in vivo*. In: Forage Evaluation in Ruminant CAB International., 6: 113-134
- Ruiz, R., Ruiz, R., Salgado, G. y Beltrán, M. 2005. Relación entre la temperatura de la masa fermentativa, temperatura ambiental y el contenido de proteína cruda durante la elaboración de Saccharina rústica. I Congreso Internacional de Producción Animal. La Habana, pp 272-279.

SAGARPA, 2009. Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentación del ganado. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Responsable de la ficha Dr. Sergio S. González Muñoz.

<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Aprovechamiento%20de%20esquilmos.pdf> consultado el 15/octubre/2013

SAGARPA, 2010. Bases técnicas para el fomento a la producción de biocombustibles en el país a partir de caña de azúcar. Etapa 1. Simulación del sistema productivo y su exploración financiera. México, México.

Schneider, B.H. and W.P. Flatt. 1975. The Evaluation of Feeds Through Digestibility Experiments. The University of Georgia Press, Athens.

Serna, S. S. 2010. Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes. CRC Press. Boca Raton, FL.

SIAP, 2012. Población agrícola.

[http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=351](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351)

Stuart, J. R. y O. Fundora, 1994. Utilización de residuos de la cosecha de caña de azúcar en la alimentación de los rumiantes. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 28: 1-12.

Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. A. 1994 Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. Anim. Feed. Sci. and Technol. 48:185-197.

Theodorou M.K., Lowman, R. S., Davies, Z.S., Cuddeford, D., and Owen, E. 1998. Principles of techniques that rely on gas measurement in ruminant nutrition. In British Society of Animal Science. Occasional Publication Nº. 22

Theodorou, M.K., Lowman, R.S., Davies, Z.S., Cuddeford, D. & Owen, E. 1998. Principles of techniques that rely on gas measurements in ruminant nutrition. En: E.R. Deaville, E. Owen, A.T. Adesogan, C. Rymer, J.A. Huntington & T.L.J. Lawrence (eds.) *In Vitro techniques for measuring nutrient supply to ruminants*. BSAS Occ. Pub. No. 22. p. 55

Tilley, J.M.A. & Terry, R.A. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18: 104

Torres, G. G., T. F. Arbaiza, F. C. Carcelén y O.A. Lucas. 2009. Comparación de las técnicas *in situ*, *in vitro* y enzimática (Celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Rev. Inv. Vet.* 20(1):5-9.

Van Soest, P.J., D.R. Mertens y B. Deinum. Preharvest 1978. Factors influencing quality of conserved forage. *J. Anim. Sci.* 47:712-720.

Ventura, M. y Osuna, D. 1995. Alternativas en la alimentación para ganado bovino en época de secas. Manejo de la ganadería mestiza de doble propósito. *Astro data*. Maracaibo, Venezuela. p. 263-288.

Viniegra, G. G. 2004. Biotecnología en el aprovechamiento ganadero de materiales de origen animal. Memoria: XXV Aniversario del programa de ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. p 12-23.

Villar, J. 2010. Alimento animal y energía de la caña de azúcar. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 43, núm. 1, enero-abril, 2010, pp. 41-48.

- Waghorn, G.C. & Stafford, K.J. 1993. Gas production and nitrogen digestion by rumen microbes from deer and sheep. *New Zealand J. Agric. Res.* 36: 493
- Williams, B.A. 2000. Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. En: D.I. Givens, E. Owen, R.F.E. Axford & H.M. Omed (eds.) *Forage Evaluation in Ruminant. Chapter 10.* CAB International. Wallingford, UK. p. 189
- Zimmer, E. 1990. Improving the nutritive value of maize. Proc. 13<sup>th</sup> Congress maize and Sorghum Section of Eucarpia; 9-12 september. Wageningen, the Netherlands. pp. 91-100.

## ETAPA 1.- ANÁLISIS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MELAZA Y EL SUBPRODUCTO ALTEN-60

### INTRODUCCIÓN

La melaza es un subproducto de la producción de caña de azúcar que contiene de 25 a 40% de sacarosa y de un 12 a 25% de azúcares reductores, con un contenido de azúcar de 50 a 60% o más (Martínez, 2000), se emplea como aditivo, fijador, vehículo de NNP y vitaminas, en suplementos líquidos (Ventura y Osuna, 1995).

La producción de etanol a partir de melazas de caña de azúcar, es una práctica conocida en México (SAGARPA, 2010). Las tecnologías usadas para la producción de etanol de “primera generación” utiliza materiales ricos en azúcares en donde entra la caña, sorgo dulce y los abundantes en almidón como papa, camote y cereales (Chuck, *et al.*, 2011). El “**Grupo Báltico**” produce etanol de primera generación a través de caña de azúcar el cual está siendo utilizado para la alimentación animal por lo que se deben realizar análisis para saber su composición química del producto.

Existen técnicas para reducir el alto contenido de lignina, que son los tratamientos químicos, físicos y biológicos para poder aprovechar de mejor manera las pajas y rastrojos con un mejor valor nutritivo, para este estudio en especial el bagazo de caña de azúcar. Los tratamientos físicos son procesos mecánicos que sirven para incrementar el valor nutritivo de las pajas y rastrojos mediante la reducción del tamaño de la partícula. Los más comunes son el picado y la molienda. Los métodos que han mostrado mejores resultados en el tratamiento de esquilmos son los métodos químicos, en especial aquellos a base de sustancias alcalinas (Martínez *et al.*, 1985), los más comunes son hidróxido de sodio, amoníaco anhídrido, hidróxido de calcio, hidróxido de potasio y urea (Sundstol y Coxworth, 1984). Consisten en la utilización de microorganismos (bacterias y hongos) que degradan lignina, y en menores cantidades la celulosa y hemicelulosa, ya que estas últimas las utilizan los rumiantes con bastante eficiencia (Flores, 1986).

## OBJETIVO

1. Evaluación y comparación de las características nutricionales de los ingredientes a utilizar en el experimento (bagazo de caña, melaza y el subproducto ALTEN-60).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Características del experimento

En la etapa 1 de la investigación se realizó el análisis bromatológico de las materias primas que se utilizaron como lo fue bagazo de caña de azúcar y la melaza. El análisis bromatológico del producto derivado de la obtención de etanol se realizó en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Autónoma Chapingo y el Colegio de Postgraduados. Para el caso del bagazo los análisis realizados fueron humedad, cenizas, proteína, FDN, FDA y lignina, mientras que para la melaza fueron humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo y las mediciones con la bomba calorimétrica para determinar su aporte de energía.

### 2. Análisis de materia seca (MS)

La determinación de la humedad en las diferentes muestras se determinó con una estufa y los crisoles, pesándolos para obtener su peso constante. Se colocó 1 g en la báscula analítica y se introdujo a la estufa a una temperatura de 80-90 °C por un período de 24 h. Pasado este tiempo los crisoles se colocaron en un desecador para ser pesados después de 15 a 20 minutos y obtener los resultados de materia seca.

$$\% MS = \frac{(PESO DEL CRISOL + MUESTRA SECA) - PESO DEL CRISOL}{GRAMOS DE MUESTRA}$$

### 3. Análisis de cenizas

Después de determinar la humedad o materia seca de las muestras, los crisoles se colocaron en la mufla por 24 h, a una temperatura de 550 a 600 °C para ser pesados y con ello determinar las cenizas de cada materia prima.

$$\% CENIZAS = \frac{(PESO DEL CRISOL + CENIZAS) - (PESO DEL CRISOL)}{GRAMOS DE MUESTRA SECA} \times 100$$

#### 4. Análisis de proteína

Se pesó 0.3 g de muestra y se colocaron en tubos de ensayo a los cuales se les adicionó 3 mL de ácido sulfúrico y mezcla catalizadora. Después de esto los tubos de ensayo se colocaron en el bloque de asbesto para su completa digestión a 350 °C, esta muestra se llevó al destilador y se colocó un matraz Erlenmeyer de 50 mL con 6 mL de solución ácido bórico al 4%. A la muestra en el destilador se le adicionó 10 mL de hidróxido de sodio (NaOH) y se destiló hasta obtener 30 mL del destilado para ser titulada con ácido clorhídrico 0.1 N hasta el cambio de color. Una vez obtenidos estos datos se realizaron los cálculos de la siguiente manera:

$$\% N = \frac{(mL DE \acute{A}CIDO)(NORMALIDAD DEL \acute{A}CIDO)(1.4)}{GRAMOS DE MUESTRA}$$

La cantidad de N se multiplicó por 6.25 y los resultados se ajustaron a base seca para obtener el porcentaje de proteína de cada muestra.

#### 5. Análisis de Fibra Detergente Neutro

Los análisis de fibra detergente neutro (FDN) se realizaron por la técnica de Van Soest (1963). Se pesaron 0.5 g de muestra y se colocó en un tubo de vidrio, posteriormente se añadió la misma cantidad de solución fibra detergente neutro. Los tubos se colocaron en el digestor a 90 °C durante 60 minutos evitando la formación de espuma. Un día anterior se colocaron papeles whatman #541 en una estufa a 110 °C para obtener su peso constante. Los papeles se colocaron en el embudo de la bomba de vacío, vertiendo cuidadosamente cada muestra para su filtrado enjuagando los tubos con agua caliente y posteriormente con acetona. Los rendimientos de la FDN se expresan como porcentaje de los constituyentes de la pared celular (CPC) y se obtuvieron como se indica a continuación.

$$FDN = \frac{(PESO PAPEL + PESO MUESTRA) - (PESO PAPEL)}{PESO DE MUESTRA} \times 100$$

## 6. Análisis de Fibra Detergente Ácida

La determinación de fibra detergente ácido (FDA), se obtuvo como un primer proceso en la obtención de lignina detergente ácido. El procedimiento consistió en pesar 1 g de muestra, colocarlos en vasos de Verselius para ponerlos a hervir durante 1 h en el aparato Labcom para fibra cruda. Con anterioridad se ponen en la estufa crisoles Gooch para determinar su peso constante. Una vez pasada la hora de que la muestra se puso a hervir, se filtran en los crisoles previamente pesados en una bomba de vacío lavando con agua caliente. Los crisoles se secaron para determinar la fibra detergente ácida mediante la siguiente manera.

$$FDA = \frac{(PESO\ DEL\ CRISOL + MUESTRA) - PESO\ DEL\ CRISOL}{PESO\ DE\ LA\ MUESTRA} \times 100$$

## 7. Análisis de lignina

Después de obtener FDA, se llenaron los crisoles con ácido sulfúrico al 72% por espacio de 3 h rellenando cuando el ácido se filtró, después de este lapso de tiempo se filtró la muestra en la bomba de vacío con agua caliente y se colocó la muestra en la mufla a 600 °C para la determinación de cenizas, posteriormente se llevaron los crisoles a peso constante y se pesan para la obtención de la lignina como se indica a continuación.

$$FDA = \frac{(PESO\ CRISOL + MUESTRA\ \acute{A}C.\ SULF\acute{U}RICO) - PESO\ CRISOL + CENIZA}{PESO\ DE\ LA\ MUESTRA} \times 100$$

## 8. Cálculo de carbohidratos totales

El cálculo de los carbohidratos se realizó con la siguiente ecuación:

$$CARBOHIDRATOS = 100 - (HUMEDAD + PROTEINA + LÍPIDOS + CENIZA)$$

## **9. Determinación de energía**

Se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo en el laboratorio de nutrición animal del Departamento de Zootecnia ubicada en la carretera México-Texcoco en el Km 38.5 en el municipio de Texcoco. Primeramente se limpió el calorímetro isoperibólico, se colocó una cubeta con 2 litros de agua dentro del calorímetro a una temperatura de 30 a 32 °C, se pusieron 10 cm de alambre fusible en los orificios de los electrodos. Posteriormente se pesó en la capsula 1 g de muestra la cual fue colocada en su base en los electrodos, haciendo que el alambre fusible toque los electrodos pero no la capsula. Se colocó el porta electrodos dentro del cuerpo de la bomba con 1 mL de agua destilada, inyectamos oxígeno en la bomba colocando la salida de la manguera del tanque en la entrada de la bomba. Después de esto abrimos la llave de salida del tanque y posteriormente abrimos la llave del manómetro de la bomba hasta que marco de 25 a 30 atmósferas. Una vez realizado esto, abrimos la purga y metimos la bomba con ayuda de las pinzas observando que no haya fugas para cerrar el calorímetro y conectar los electrodos. Se registró la temperatura inicial para iniciar la ignición y tomar la temperatura final. Se sacó la bomba y se retiró la tapa rosca para medir la distancia de los alambres no quemados. Se lavó la bomba con agua destilada en un matraz Erlenmeyer de 125 mL para posteriormente titular con carbonato de sodio al 0.075 N y con ello calcular el calor de combustión.

## **10. Análisis estadístico**

La comparación de medias entre la melaza y el ALTEN-60 se realizó con la prueba de comparación de medias de T student ( $P < 0,05$ ) (SAS, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Análisis proximal

El Cuadro 4 presenta los resultados del análisis bromatológico del bagazo de caña, la melaza y el subproducto energético ALTEN-60.

**Cuadro 4.** Composición de los ingredientes utilizados en la etapa 1.

	% MS	% CENIZAS	% PT	% FDN	% FDA	% LIGNINA	EE	Carbohidratos	Energía cal/g
Bagazo de caña	95	4.3	2	85.3	64.1	12.6	----	-----	-----
Melaza	75a	8b	4.5b	-----	-----	-----	0.25b	61.95	3908.1a
ALTEN-60	40b	10 <sup>a</sup>	9.3a	-----	-----	-----	0.71a	20.00	3562.2b

Diferentes letras entre la melaza y ALTEN-60, muestran diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). MS: materia seca; EE: extracto etéreo; PT: proteína total; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido

La melaza presentó mayor contenido de materia seca (MS) ( $P < 0.05$ ), en lo referente a las cenizas sus valores son muy parecidos, la cantidad de proteína es mayor en el producto ALTEN-60 en el doble de cantidad ( $P < 0.05$ ), debido a los diferentes procesos que se llevan a cabo para la obtención de cada subproducto. Los carbohidratos y la energía por gramo de materia son mayores en la melaza que el producto ALTEN-60 ( $P < 0.05$ ).

Como se mostró, el bagazo de caña de azúcar contiene mayor porcentaje de MS. Otros autores han reportado valores de 94.4 a 96.4% MS (Medina *et al.*, 2007; Sánchez, 2010). El último corresponde a bagazo tratado con hongos de la pudrición blanca (*Pleurotus ostreatus*) en Fermentación Sólida a diferentes tiempos (3, 5, 7 días). Bastida (2007), reporta 94% MS en bagazo común y en bagazo a 30 días de fermentación en estado sólido con hongo de pudrición blanca (*Pleurotus ostreatus*). Para el bagazo hidrolizado Villar (2010) reporta valores idénticos de MS a los del experimento (95%).

El contenido de proteína del bagazo de caña de azúcar fue de 2%, Peláez (2010) reporta valor de 1.6%, mejorando cuando se le aplica un tratamiento biológico como cal o *Pleurotus pulmarinus*. Aguilar (2006, 2010) encontró valores de 1.75% de proteína en el bagazo que coinciden con los valores antes mencionados, por su parte Bastida (2007), reporta valores de 2.2% de proteína, valor por debajo de lo encontrado por Sánchez (2010), el cual fue de 4.1% de proteína, tendiendo a aumentar con el tiempo de fermentación sólida. En bagazo hidrolizado el porcentaje de proteína reportado por Villar (2010) fue de 1.75, lo que demuestra que si se quiere utilizar el bagazo de caña, se debe de suplementar la alimentación animal con proteína o bien aplicar algún tratamiento químico o biológico como la adición de hongos de la pudrición blanca, urea etc. que ayude a aumentar su valor nutritivo del sustrato. En FDN y FDA, los valores obtenidos en el análisis son 85.3% y 64.1 respectivamente, diferentes a los obtenidos por Medina et al. (2007) y Peláez (2010), quienes reportan valores para FDN de 74.6 y 75.3%, para FDA de 51.2 y 48.7%. El valor de cenizas fue de 4.5%. La variación puede ir desde 1.7 (Medina *et al.*, 2007; Villar, 2010; Aguilar, 2010), 7.8 (Peláez, 2008) hasta 11.92% (Sánchez, 2010). En lignina los valores oscilan desde 12.5 (Medina *et al.*, 2007) hasta 17% (Peláez, 2010). La melaza y el ALTEN-60 son subproductos agroindustriales obtenidos después del azúcar y el etanol respectivamente, por lo que contienen alto contenidos de azúcares. La melaza contiene de 25 a 40 % de sacarosa y de un 12 a 25% de azúcares reductores, con un contenido de azúcar de 50 a 60% o más (Martínez, 2000). La melaza tuvo un contenido de 75% MS, 8% de cenizas y 4.5% de proteína. Mendoza y Moreira (2009), reportan valores de MS, proteína y cenizas de 77.6, 3.4 y 11.1% respectivamente. Ávila (1990), reporta MS de 70 a 75%, de la cual 65% es azúcar, contiene de 2 a 4% de proteína en forma de nitrógeno no proteínico. Figueroa y Ly (1990), en el análisis de melaza realizado en Cuba reportan 83% MS y 9.8% de cenizas. Los valores encontrados en este experimento están en el rango similar a otros experimentos. Los diferentes resultados obtenidos en diversos estudios pueden ser debido a que la composición química de una materia prima puede variar dependiendo de factores asociados con el clima, la temperatura, la fertilización (Martínez, 2004).

## **CONCLUSIÓN**

- ❖ El subproducto ALTEN-60 contiene 9.3% de nivel de proteína por lo que puede ser considerado en la formulación de raciones para animales para sustituir los granos de oleaginosas. En referencia a su contenido energético existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) debido a las diferentes formas de obtener el producto en la agroindustria.

## LITERATURA CONSULTADA

- Aguilar, N. 2006. Producción de celulosa y papel a partir de bagazo de caña de azúcar. *Revista Residuos*, XVI(93), 70-80.
- Aguilar, N. 2010. Edible Mushroom *Pleurotus ostreatus* Production on Cellulosic Biomass of Sugar Cane. *Sugar Tech*. 12(2), 176-178.
- Ávila, G. E., 1990. Alimentación de las aves. Editorial TRILLAS. pp 107.
- Bastida, L. A. R. 2007. Valoración nutritiva y fermentativa del ensilado de bagazo de caña de azúcar (pre-fermentado) con residuos de lechuga (*Lactuca sativa L*). Colegio de Postgraduados. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería. Tesis Maestría. pp 71.
- Chuck H. C., Pérez C. E., E. Heredia O. E., y Serna S. S. O. 2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 10, No. 3 pp 529-549.
- Figuroa, V. y Ly, J. 1990. Alimentación porcina no convencional. Geplacea. PNUD. Serie Diversificación. C. de México.
- Flores. M.J., 1986. Manual de alimentación animal, vol. 3, Ciencia y Técnica, México, págs. 528-538.
- Martínez, A.A., 1985. Crecimiento de borregos Pelibuey alimentados con rastrojo de maíz tratado con amoniaco anhidro, Tec. Pec. Méx., núm. 48, 1985, págs. 54-59.
- Martínez, C. P. 2000. Suplementación con bloques multinutricionales y su efecto en la condición de vacas en agostadero, en la Región de Tierra Caliente. (Tesis de licenciatura). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Morelia, Michoacán, México.

- Martínez, M.G. 2004. Valoración de materias primas mediante ensayos de digestibilidad en conejos. Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia, España. 174 p.
- Medina A. H. H., Martínez G. M. y Bonilla F. J. A. 2007. Caracterización bromatológica de materias primas y subproductos en el municipio de Quibdó, Chocó. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó. Investigación, Biodiversidad y desarrollo. 26 (2): 9-12
- Mendoza A. L.G. y Moreira E. J. C. 2009. Reactivación del tanque de melaza en el departamento de producción animal de la facultad de ciencias veterinarias de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí Ecuador. Tesis. pp 56.
- Peláez A. A., Meneses M. M., Miranda R. L. A., Megías R. M. D., Bárcena G. R. y Loera C. O. 2008. Ventajas de la fermentación solida con *Pleurotus sapidus* en ensilajes de caña de azúcar. Córdoba, España. Archivos de zootecnia, año/volumen 57, número 217, pp 25-33.
- Peláez A. A., Meneses M. M., Miranda R. L. A., Ayala M. M., Alarcón Z. B., González M. S. S., Megías R. M. D., Loera C. O. 2010. Mejoramiento de la digestibilidad "in vitro" del bagazo de caña con tratamientos químicos y biológicos. Memoria en extenso. Consultado el 9/agosto/2013. Disponible en:  
[http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI\\_UsoOrgAnim/Arman\\_Acero/7.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_UsoOrgAnim/Arman_Acero/7.pdf)
- SAGARPA, 2010. Bases técnicas para el fomento a la producción de biocombustibles en el país a partir de caña de azúcar. Etapa 1. Simulación del sistema productivo y su exploración financiera. México, México.

- Sánchez S. P. 2010. Extractos fibrolíticos fúngicos como modificadores de la fermentación ruminal *in vitro*. Colegio de Postgraduados. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería. Tesis maestría. pp 100
- S.A.S. 2002. User's guide statistics. SAS institute Inc. Cary. N.C, USA.
- Sundstol, F. y Coxworth, E. M. 1984. Ammonia treatment. In Sundstol F and Owen E. C. (Eds) Straw and other by-products as feed. Elsevier. Amsterdam. 196-247 p.
- Van Soest, P.J. 1963. Use of detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. I. Preparation of Fiber Residues of Low Nitrogen Content. Assoc. Off Agr. Chem. Jour. 46:829-835.
- Ventura, M. y Osuna, D. 1995. Alternativas en la alimentación para ganado bovino en época de secas. Manejo de la ganadería mestiza de doble propósito. Astro data. Maracaibo, Venezuela. p. 263-288.
- Villar J. 2010. Alimento animal y energía de la caña de azúcar. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Ciudad de La Habana, Cuba. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 43, núm. 1. pp. 41-48.

## **ETAPA 2.- COMPARACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD IN VITRO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR ADICIONADO CON MELAZA O ALTEN-60**

### **INTRODUCCIÓN**

La técnica de digestibilidad *in vitro* simula la digestibilidad del tracto digestivo del rumiante y requiere de la preparación de un inóculo que contenga microorganismos ruminales viables (Tilley y Terry, 1963). En asociación, la técnica de producción de gas es un método *in vitro* que permite determinar la extensión y la cinética de degradación del alimento a través del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Theodorou *et al.*, 1994). Esta técnica puede usarse como método rápido para predecir degradabilidad ruminal y digestibilidad de la materia orgánica (Boever *et al.*, 2005).

En esta etapa se realizó una evaluación *in vitro* con los dos subproductos energéticos evaluados (melaza y ALTEN-60) adicionados con bagazo de caña de azúcar. Este estudio se realizó con el fin de identificar las mejores concentraciones que se deben incluir del subproducto ALTEN-60 comparado con la melaza y observar si existen diferencias ( $P < 0.05$ ) en las variables evaluadas (producción de gas y digestibilidad) para identificar los porcentajes adecuados que se deben de incluir en la dieta.

### **OBJETIVOS**

1. Evaluar el nivel de inclusión del subproducto ALTEN-60 y la melaza en diferentes concentraciones (0, 25, 50, 75 y 100%) en sustratos que contienen bagazo de caña con la técnica de fermentación *in vitro*.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. Características del experimento**

Se realizó una comparación de la digestibilidad *in vitro* mediante la producción de gas de la melaza contra el producto derivado de la obtención de etanol que se está evaluando. El bagazo de caña de azúcar se usó como sustrato de fermentación de pruebas *in vitro*. Se probaron 9 tratamientos, en cuatro se utilizó bagazo con melaza, en los otros 4 se utilizó el bagazo más ALTEN-60

más el tratamiento testigo. Se pesó 0.5 g de muestra en donde se iba sustituyendo el bagazo de caña con los dos subproductos evaluados melaza o el ALTEN-60, incrementando las cantidades en 0.0, 0.125, 0.25, 0.375 y 0.5 g, hasta llegar a 100% en melaza o ALTEN-60. Para cada tratamiento se realizaron 6 repeticiones. Los horarios de incubación fueron a las 12, 24, 48 y 72 h, en cada horario se midió la producción de gas, posteriormente se retiraron 2 viales de cada tratamiento en los diversos horarios, para determinar la materia seca. El Cuadro 5 muestra la distribución de los tratamientos realizados.

**Cuadro 5.** Tratamientos de la etapa 2 con 0.5 g de muestra.

<b>PRODUCTO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>	<b>T9</b>
Bagazo (%)	100	75	75	50	50	25	25	0	0
Melaza (%)	0	25	--	50	--	75	--	100	--
ALTEN-60 (%)	0	--	25	--	50	--	75	--	100

## **2. Lugar del experimento**

El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados en el Laboratorio de Nutrición Animal ubicado en el Km 36.5 de la carretera México- Texcoco, en Montecillo, Texcoco estado de México. La obtención del líquido ruminal se realizó con bovinos canulados, los cuales consumían su dieta normal ya que se estaban ocupando en otros experimentos por lo que no se les brindo período de adaptación. Los bovinos se localizaban en la granja experimental del Colegio de Postgraduados.

## **3. Preparación de los viales**

Se utilizaron viales de 120 mL previamente lavados y secados para evitar contaminación de las muestras. A cada vial se le agregó 0.5 g de muestra de cada tratamiento, posteriormente 40 mL del inoculo (mezcla de soluciones y líquido ruminal) con un flujo constante de CO<sub>2</sub>. Se taparon y sellaron con arillos de metal. Posteriormente los viales se colocaron en baño maría a una temperatura de 39 °C para registrar las medidas de producción de gas y materia seca en los horarios correspondientes (12, 24, 48 y 72 h).

#### **4. Toma del líquido ruminal**

La toma del líquido ruminal se realizó en la granja experimental antes mencionada a un bovino de  $450 \pm 20$  Kg de peso canulado en rumen. La extracción del líquido ruminal se obtuvo del rumen del bovino, este se filtró y transportó en un termo de plástico (Colleman<sup>R</sup>).

#### **5. Preparación de la solución buffer**

Para el montaje de la técnica de producción de gas *in vitro* se preparó la solución buffer formada por 2.93 g de bicarbonato de amonio (Fisher, A643-500) y 25.63 g bicarbonato de sodio (Sigma, S5761) disueltos en 732 mL de agua destilada. Los reactivos que forman la solución micro mineral son 66 g cloruro de calcio dihidratado (Sig. C3306), 50 g de cloruro de manganeso tetrahidratado (Sig. M8054-500g), 5 g de cloruro de cobalto hexahidratado (Sig. C-3169) y 40 g de cloruro férrico (Sig.F7134-1kg) en 500 mL de agua destilada. La Solución macro mineral se preparó con 4.17 g de fosfato de sodio dibásico, 4.54 g de fosfato de potasio monobásico SIG. P5379-1kg), y 0.44 g de sulfato de magnesio heptahidratado, todo esto disuelto en 732 mL de agua destilada. La solución reductora es 0.83 g de sulfato de sodio anhidro (Sig. S-6264), 5.86 mL de NaOH al 0.1 N disuelto en 146.6 mL de agua destilada, además de la solución de resazurina (Sig. R-2127). Estas soluciones se prepararon un día antes y se colocaron en baño maría (Felisa Thermo Baño) a 39 °C para preparar el inóculo el día del montaje de la técnica.

#### **6. Preparación del inóculo**

En el inóculo se realizó la mezcla del líquido ruminal con la solución buffer para adicionarlo a los frascos donde se colocaron las muestras. Estas soluciones preparadas se mantuvieron a una temperatura de 39°C, después se mezclaron en un matraz volumétrico de 6 litros utilizando una parrilla magnética (Thermo Scientific Cimarec Mod. SP131635) para mantener la temperatura adecuada, se usó un agitador magnético para que se mezclen completamente las soluciones. Una vez preparado el inóculo, se le adicionó al matraz volumétrico agua destilada y líquido ruminal para llegar al volumen adecuado, se continuo con el flujo constante de CO<sub>2</sub>.

## **7. Medición del gas**

Las lecturas de producción de gas se midieron por desplazamiento de agua (Fedorak and Hrudehy, 1983) diseñado con un soporte universal, un embudo, una bureta de 100 ml y dos mangueras de látex de 3/8 de pulgada. Las lecturas se realizaron a diferentes horarios, 12, 24, 48 y 72 h de incubación introduciendo una aguja al interior de los tapones azules de los viales observando el desplazamiento de agua en la bureta dependiendo de la cantidad de gas que se produjo en cada tratamiento.

## **8. Obtención de la materia seca**

En cada horario se fueron retirando 2 viales de cada tratamiento para determinar la materia seca MS y con ello la digestibilidad *in vitro* (DIVMS). Una vez que se retiraban los viales estos se colocaban en refrigeración para detener la actividad microbiana y su conservación. Para la determinación de la materia seca y la digestibilidad *in vitro* se utilizaron tubos de plástico (Labcon North America de 50 mL) a peso constante en una estufa (Ríos Rocha 10562) a 55 °C, previamente pesados e identificados en una balanza analítica (Ohaus GA200). Posteriormente la materia contenida en los viales se vació en los tubos de plástico enjuagándolos 3 veces para no dejar residuos de la muestra y posteriormente centrifugarlos a 6000 rpm durante 10 minutos dos veces eliminando el sobrenadante por decantación evitando pérdidas de la muestra. Después de la segunda centrifugación se volvió a tirar el sobrenadante y los tubos con la materia seca se metieron a secar durante 4 días en una estufa (Ríos Rocha 10562) para eliminar la humedad y determinar la materia seca residual (MSR) y por diferencia la materia seca degradada (MSD). Una vez obtenida está se calculó la digestibilidad *in vitro* de cada muestra en los diferentes tiempos de retiro de los viales.

## 9. Cinética de producción de gas

Se evaluó la cinética de producción de gas *in vitro* (de las 12 a las 72 h de incubación) ajustando los datos a una ecuación exponencial  $y=a+b(1-\exp^{-ct})$  (Orskov y McDonald, 1979) donde: y= producción de gas (mL/g de MS); a, b= constantes de la ecuación; c= tasa de producción de gas; t= tiempo de incubación.

## 10. Diseño estadístico

Se realizó un diseño experimental en parcelas divididas con 9 tratamientos y en cada uno 8 repeticiones, los datos se analizaron con el procedimiento PROC GLM de SAS (2002). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $P<0,05$ ). El modelo estadístico usado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \epsilon_{aik} + H_j + (TH)_{ij} + \epsilon_{bjk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  =Variable respuesta en tratamiento i, repetición j.

$\mu$ = Media general.

$T_i$ = Efecto del nivel i de T.

$H_j$ = Efecto del nivel j de B.

$\epsilon_{aik}$ = Error de tratamiento\*repetición

TH= Interacción T\*H (tratamiento\*horario)

$\epsilon_{bjk}$  = Error aleatorio

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La producción de gas por cada gramo de materia seca (g/MS) de los productos energéticos se muestra en el Cuadro 6. Los tratamientos con melaza desde las 12 a 72 h de incubación mostraron que con concentraciones de 25 a 100% existe una mayor producción de gas que en los tratamientos con ALTEN-60. Específicamente con el 25% del subproducto energético combinado con bagazo de caña, la melaza produjo un 26% más de gas, posteriormente cuando la melaza se fue incrementando en sustitución del bagazo de caña, la producción de gas comparado con la del ALTEN-60 se incrementó de 30.7 a 36.5%. Estos resultados muestran que la melaza tiene más disponibilidad de azúcares fermentados. Sin embargo la capacidad energética del ALTEN-60 se considera adecuada, ya que por ser un producto de menor costo se justifica su disponibilidad energética. El incremento de la producción de gas en base a la sustitución de bagazo por melaza o ALTEN-60, mostró un efecto lineal y cuadrático. Esto quiere decir que a mayor concentración de la fuente energética se incrementó la producción de gas.

**Cuadro 6.** Producción de gas por g de materia seca (mL/gMS) en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza o ALTEN-60.

**Producción de gas por g de MS en tratamientos con melaza**

H	T	25%	50%	75%	100%	EEM	T vs M	L	Q	C
12	21.36	61.27a	95.56a	128.73a	163.90a	4.278	<0.0001	<0.0001	0.1548	0.2244
24	71.08	118.80a	153.49a	185.64a	233.73a	1.349	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
48	121.38	174.10a	211.23a	251.79a	303.05a	1.742	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
72	144.48	203.10a	236.20a	273.21a	327.01a	1.715	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

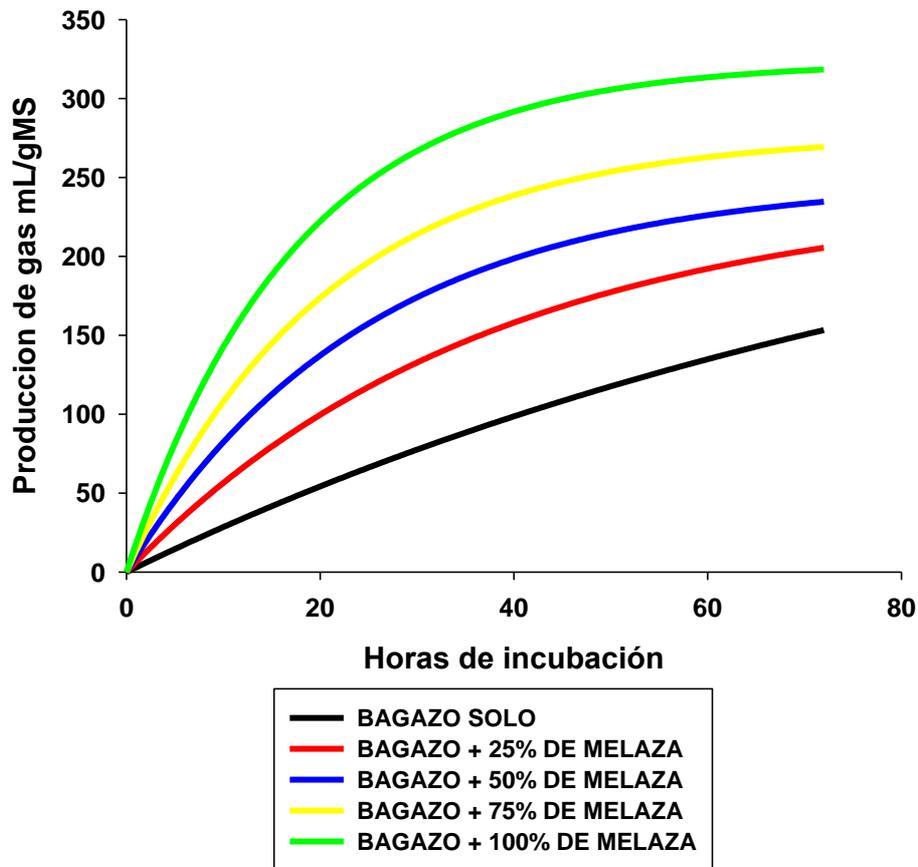
**Producción de gas por g de MS en tratamientos con ALTEN-60**

H	T	25%	50%	75%	100%	EEM	T vs AL	L	Q	C
12	21.36	35.80b	55.31b	69.06b	107.62b	2.290	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
24	71.08	81.90b	100.73b	112.60b	149.27b	2.773	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
48	121.38	135.42b	157.90b	177.35b	232.88b	1.619	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
72	144.48	160.85b	180.68b	200.08b	246.70b	2.245	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

EEM: Error estándar de la media. H: Horas, T: testigo, M: melaza, AL: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

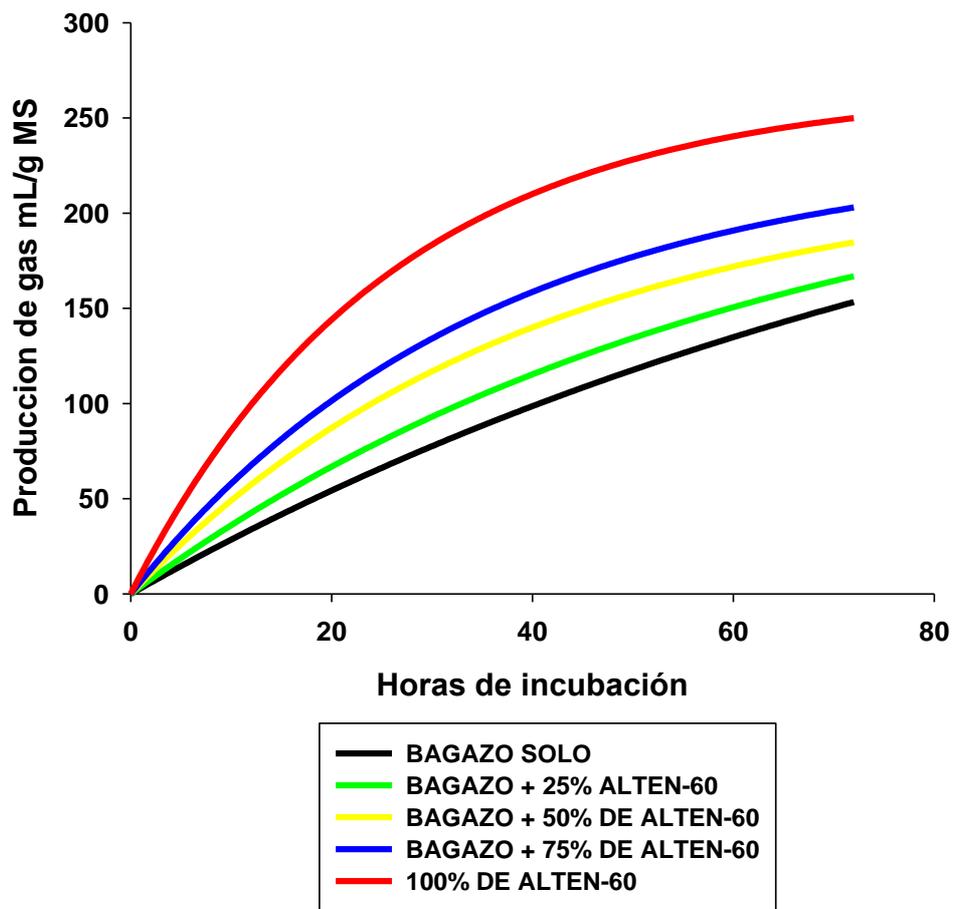
Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.



**Gráfica 1.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de melaza.

La Gráfica 1 muestra la cinética de producción de gas por g de MS del Cuadro 6 en diferentes horarios de incubación. Se observa que a medida que se va incrementando el porcentaje de melaza y aumenta las horas de incubación, se da un crecimiento exponencial durante las primeras 20 h para posteriormente estabilizarse en el tratamiento con 100% de melaza, esto debido a su pronta degradación por su gran contenido de azúcares, mientras que el bagazo como testigo, solo tiene un crecimiento lineal a medida que se incrementan las horas de incubación. Para la Gráfica 2, con los tratamientos que contenían el subproducto ALTEN-60, la cinética de producción de gas presentó la misma tendencia que en la Gráfica 1 pero en menor cantidad. La sustitución del bagazo de caña por el subproducto ALTEN-60 mostró el crecimiento exponencial de la producción de gas.



**Gráfica 2.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60.

El Cuadro 7 muestra la producción de gas en base a la MSD. Los datos mostraron una tendencia diferente a la que se presentó en la materia seca inicial, ya que a las 72 h de incubación la producción de gas fue mayor en el tratamiento testigo que en los tratamientos con melaza y ALTEN-60 en sus diferentes porcentajes (25%, 50%, 75%, 100%), esto debido a las características de los subproductos ya que cuentan con una degradación rápida y al tener mayor cantidad de estos productos la muestra desaparece por la rápida fermentación de sus azúcares. La mayor producción de gas en los tratamientos con melaza, mostró diferencias significativas comparado con los tratamientos con el subproducto ALTEN-60 ( $P < 0.05$ ).

Al sustituir el bagazo de la caña de azúcar por los subproductos energéticos, se dio un efecto lineal para el caso de los tratamientos con melaza, mientras que no hubo efecto en los tratamientos con el subproducto ALTEN-60. Para ambos subproductos en sus diferentes tratamientos, no hubo efectos cúbicos ni cuadráticos, ya que la producción de gas es muy parecida a la misma hora de incubación con los diferentes porcentajes analizados. Por otra parte, al realizar los contrastes entre los tratamientos que contenían los dos subproductos evaluados se observó que al menos un tratamiento es diferente al testigo ( $P < 0.05$ ), aumentando la producción de gas, lo que nos indica la importancia de agregar los subproductos energéticos para mejorar la dieta de los animales.

**Cuadro 7.** Producción de gas por g de materia seca degradada (mL/gMSD) en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza o ALTEN-60.

**Producción de gas por gramo de MSD en tratamientos con melaza**

H	T	25%	50%	75%	100%	EEM	T vs M	L	Q	C
12	253.20	235.86a	222.47 <sup>a</sup>	229.95a	191.77a	17.06	0.0001	<0.0001	0.1191	0.0225
24	389.71	384.86a	337.66 <sup>a</sup>	317.66a	323.56a	33.86	0.0013	0.0001	0.5950	0.3747
48	488.16	420.53a	391.92 <sup>a</sup>	374.14a	357.79a	6.24	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001
72	522.69	482.14a	433.41 <sup>a</sup>	389.32a	370.25a	13.64	<0.0001	<0.0001	0.6237	0.0126

**Producción de gas por gramo de MSD en tratamientos con ALTEN-60**

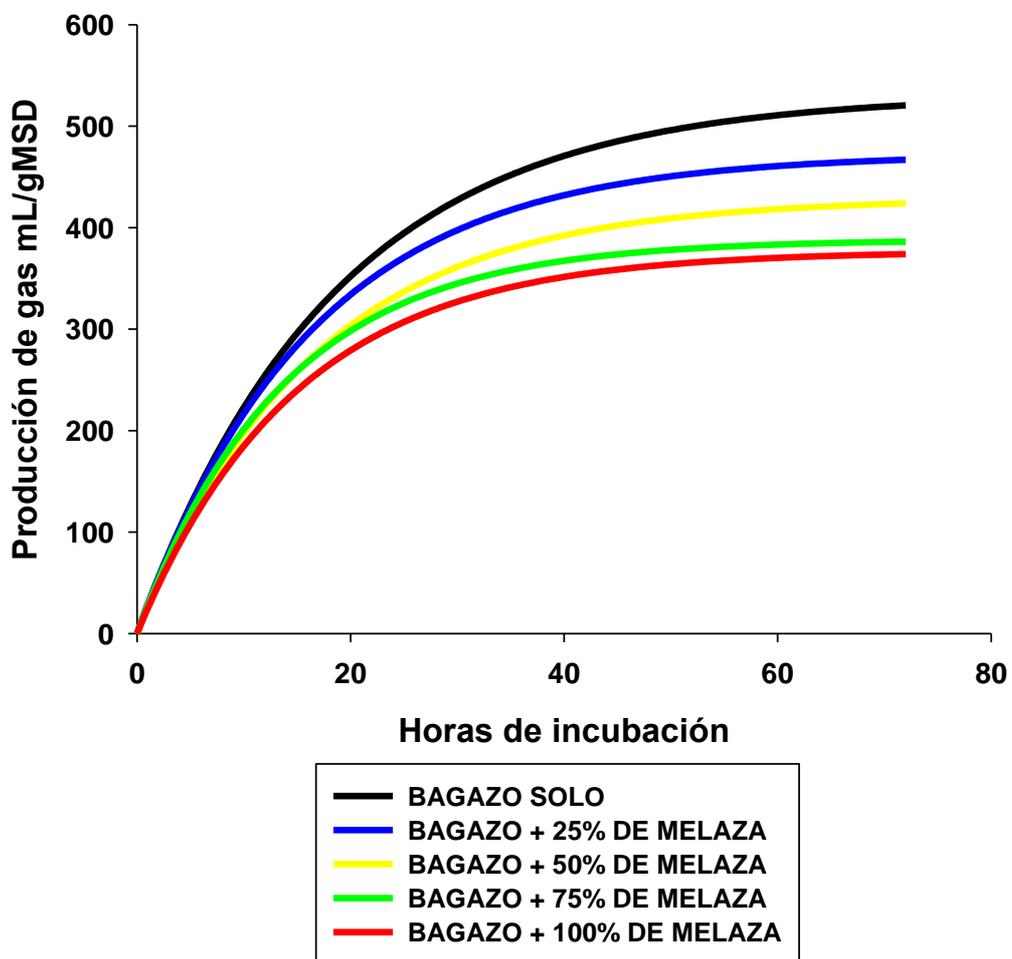
H	T	25%	50%	75%	100%	EEM	T vs AL	L	Q	C
12	253.20	135.51b	142.55b	102.29b	116.50b	10.56	<0.0001	0.0160	0.0167	0.1335
24	389.71	260.02b	248.06b	190.48b	209.42b	28.66	<0.0001	0.1917	0.1068	0.3448
48	488.16	327.51b	287.09b	242.84b	260.68b	6.16	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.6214
72	522.69	375.68b	320.86b	269.95b	272.56b	25.15	<0.0001	0.0074	0.0196	0.7689

EEM: Error estándar de la media. H: Horas, T: testigo, M: melaza, AL: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

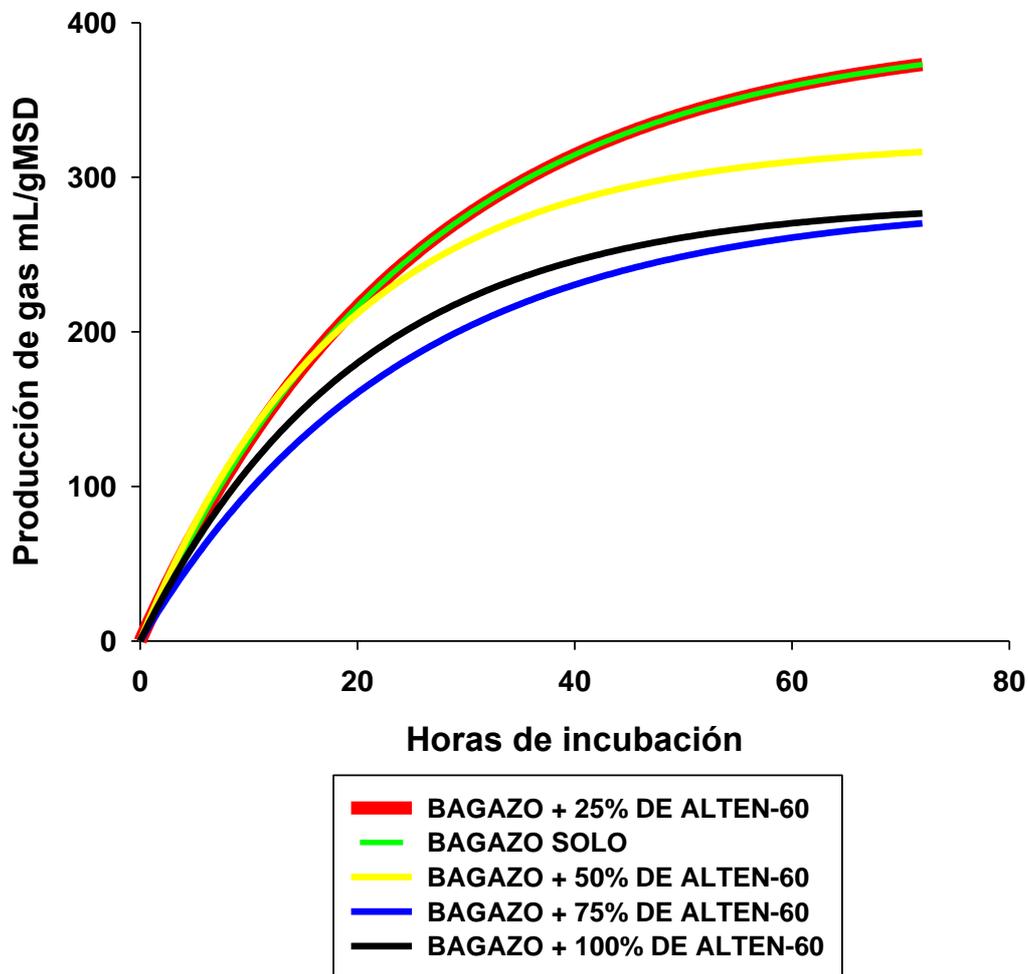
Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

La Gráfica 3 muestra los datos del Cuadro 7, en donde se refiere a la cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada en tratamientos con diferentes porcentajes de melaza. Se presentó una disminución en la producción de gas cuando a los tratamientos se les aumenta la cantidad de melaza esto debido a que el bagazo en mayor cantidad se degradó menos y al expresarlo en gramo de materia seca degradada, su producción de gas se elevó. Las primeras 20 horas de incubación la producción de gas es muy parecida pero al paso del tiempo aumenta la producción en los tratamientos que contenían mayores cantidades de bagazo.



**Gráfica 3.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de melaza.

Los datos del subproducto ALTEN-60, por gramo de materia seca degradada se presentan en la Gráfica 4. De la misma manera que en la gráfica anterior observamos que la mayor producción de gas se da en los tratamientos con mayor cantidad de bagazo de caña o menor cantidad de ALTEN-60. Existe un crecimiento exponencial durante un mayor tiempo esto debido a la lenta degradación del bagazo lo que ocasiona que su digestibilidad sea más lenta; mientras que en los tratamientos con mayor cantidad de ALTEN-60 hubo una menor producción de gas debido a la rápida degradación del subproducto energético.



**Gráfica 4.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60.

La tasa de digestibilidad de los diferentes tratamientos a diferentes horas de incubación se muestra en el Cuadro 7. El aumento de los subproductos energéticos evaluados en sustitución del bagazo de caña en los diferentes horarios de incubación aumentó el porcentaje de digestibilidad. Araiza *et al.*, (2013), encontraron que al incorporar niveles crecientes de manzana y melaza la digestibilidad aumentó en diferentes formulaciones de ensilado de maíz. De igual manera los parámetros generados por el modelo de Ørskov y McDonald (1979), para la degradabilidad ruminal muestran efectos positivos al agregar melaza en los tratamientos. Mientras que por su parte Araque *et al.*, (2008) encontraron mayores ganancias de peso al incluir heno-melaza-urea en cabras en pastoreo lo que nos muestra el cambio de digestibilidad y palatabilidad al incluir estos ingredientes. Estrada *et al.*, (2009) encontraron que al adicionar melaza en mezcla de pasto estrella-leucaena, mejora la digestibilidad de la fibra y aumenta la fermentación de carbohidratos. Estos resultados son efecto de la palatabilidad de los productos y a sus características de sabor. El ALTEN-60 al ser un subproducto de la caña de azúcar sus características son similares por lo que el consumo se incrementa al adicionar estos subproductos. Como se observa los tratamientos con ALTEN-60 presentan una mayor digestibilidad observando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los tratamientos que cuentan con 75% y 100% en los diferentes horarios de incubación.

Al realizar los contrastes entre los tratamientos que contenían los subproductos evaluados contra el testigo, se observó que en todos los tiempos de incubación existen diferencias entre los tratamientos comparados ( $P < 0.05$ ), lo que nos muestra que existen cambios importantes al agregar estos subproductos energéticos. En los diferentes tratamientos con los dos subproductos evaluados existe un efecto lineal, lo que quiere decir que a mayor concentración de la fuente energética se incrementa la digestibilidad de los tratamientos utilizados. Para los tratamientos con melaza, se presentaron efectos cúbicos a las 12, 48 y 72 h de incubación mientras que para el subproducto ALTEN-60 solo a las 12 y 72 h de incubación se dio este efecto. El efecto cuadrático solo se dio a las 72 h de incubación en los dos subproductos, lo que nos indica el incremento de la digestibilidad al agregar en 100% el subproducto evaluado.

**Cuadro 8.** Digestibilidad de la materia seca inicial en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60.

**Digestibilidad de la muestra con melaza**

H	T	25%	50%	75%	100%	EEM	T vs M	L	Q	C
12	7.91	26.39a	41.79a	57.07b	80.01b	0.725	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0033
24	18.18	33.43a	47.96b	62.83b	80.93b	1.265	<0.0001	<0.0001	0.0004	0.1108
48	25.16	40.95a	54.32a	68.23b	85.26b	0.970	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0596
72	28.49	42.27a	55.13a	70.55b	88.49b	1.700	<0.0001	<0.0001	<0.0074	<0.4076

**Digestibilidad de la muestra con ALTEN-60**

H	T	25%	50%	75%	100%	EEM	T vs AL	L	Q	C
12	7.91	27.04a	42.77a	66.09 <sup>a</sup>	86.90a	0.345	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.1184
24	18.18	33.48a	50.30a	69.29 <sup>a</sup>	88.28a	0.520	<0.0001	<0.0001	0.0323	0.3333
48	25.16	41.32a	55.62a	72.65 <sup>a</sup>	89.76a	0.420	<0.0001	<0.0001	0.0035	0.9686
72	28.49	42.90a	56.86a	74.38 <sup>a</sup>	90.58a	1.700	<0.0001	<0.0001	<0.0062	<0.4983

EEM: Error estándar de la media. H: Horas, T: testigo, M: melaza, AL: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

## CONCLUSIONES

- ❖ La producción de gas aumenta conforme se incrementa el porcentaje de los subproductos melaza y ALTEN-60 (0, 25, 50, 75 y 100%) y las horas de incubación en los diferentes tratamientos, debido a la gran cantidad de azúcares de rápida fermentación que contienen.
- ❖ Comparando los dos subproductos utilizados (melaza y ALTEN-60) se observa que la melaza contiene mayor cantidad de azúcares de fácil fermentación por lo que su producción de gas es mayor en poco tiempo de incubación.
- ❖ Al existir una rápida degradación de los subproductos energéticos encontramos que a las pocas horas de incubación (12 y 24 h) existe una degradación completa de estos subproductos.
- ❖ La digestibilidad se presenta en mayor porcentaje durante las primeras horas de incubación, por las características de los productos evaluados, ya que al contener gran cantidad de azúcares la tasa de la digestibilidad es rápida. Las digestibilidades son muy parecidas entre los dos productos debido a las características similares de ellos, aunque se encontró diferencias significativas entre los tratamientos con 75 y 100% con una mayor digestibilidad en los tratamientos que contenían ALTEN-60.

## LITERATURA CONSULTADA

- Araiza R, E. Delgado L, E. Carrete C, F. O. Medrano R, H. Solís S, A. Murillo O, M. Haubi S, C. 2013. Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. Avances en Investigación Agropecuaria 2013. 17(2): 79-96 Issn 0188789-0
- Araque C., D'Aubeterre R., Quijada T., Dickson L., Muñoz G., y Sánchez A. 2008. Efectos de la complementación con heno-melaza-urea sobre parámetros productivos en cabras criollas a pastoreo. Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XVIII, Nº 4, 398 – 402.
- Boever, L.; Aerts, J.; Vanacker, J. y Brabander, D. 2005. *Evaluation of the Nutritive Value of Maize Silages Using a Gas Production Technique*. Animal Feed Science and Technology.
- Estrada L J M., Sandoval C C A., Ramírez A L. Capetillo L C M. 2009. *in vitro* fermentation efficiency of mixtures OF *Cynodon nlemfuensis*, *Leucaena leucocephala* and two energy sources (maize or sugar cane molasses) Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10 (2009): 497 – 503
- Fedorak, P.M. and Hrundey, S.E. 1983. A simple apparatus for measuring gas production by methanogenic cultures in serum bottles. Envir: Technol. Left. 4pp. 425-432
- Orskov, E, R. y McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science 92:499.
- S.A.S. 2002. User's guide statistics. SAS institute Inc. Cary. N.C, USA.

Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J. A. 1994. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 48:185-197.

Tilley, J.M.A. & Terry, R.A. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18: 104

## **ETAPA 3.- DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE UNA DIETA PARA NOVILLOS CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR ADICIONADO CON MELAZA O ALTEN-60.**

### **INTRODUCCIÓN**

El proceso productivo de los rumiantes depende de varios factores como el consumo voluntario y la digestibilidad del alimento, ya que el consumo puede estar limitado por su calidad, bajo contenido de proteína, energía y alto contenido de componentes estructurales (Obispo *et al.*, 2001).

La digestibilidad *in vitro* es un método que consiste en reproducir en condiciones de laboratorio lo que sucede en el organismo animal mediante una reproducción lo más parecido a lo real (Mojica, 2010).

### **OBJETIVOS**

1. Evaluar la cantidad máxima de melaza o del subproducto ALTEN-60 en una prueba de digestibilidad *In vitro* con una dieta integral para bovinos, mediante la eficiencia de producción de gas y digestibilidad.
2. Determinar el mejor tratamiento en base a la producción de gas, digestibilidad, concentración de AGV.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. Características del experimento**

En la etapa 3 se realizó una comparación de la digestibilidad *in vitro* mediante la producción de gas de la melaza y el producto evaluado incluidos en una dieta integral con bagazo de caña de azúcar y demás ingredientes. Se compararon 9 tratamientos de los cuales 4 contenían melaza, cuatro ALTEN-60 y un testigo que solo contenía granos. Los porcentajes de los subproductos utilizados fueron 7, 14, 21 y 28% con cada uno de ellos y un total de 9 repeticiones por tratamiento. Los horarios de incubación utilizados para producción de gas fueron a las 12, 24, 48 y 72 h, mientras que para materia seca, digestibilidad y ácidos grasos volátiles (AGV) fueron 24, 48 y 72 h. En cada vial se pesó 0.5 g de la dieta correspondiente a cada tratamiento.

En el Cuadro 9 muestran la distribución de los tratamientos utilizados en esta etapa con los tres diferentes niveles de los productos utilizados en la dieta integral ofrecida a los bovinos canulados, las cuales contenían en promedio 12% de proteína.

**Cuadro 9.** Dietas integrales utilizadas como tratamientos en la etapa 3 con diferentes % de los subproductos evaluados (0, 7, 14, 21, 28%).

INGREDIENTE	TRATAMIENTOS								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Maíz molido %	70	65	65	59	59	54	54	50	50
Canola %	13	13	13	13	13	12	12	12	12
R. Panadería %	12	10	10	9	9	8	8	5	5
Bagazo de caña %	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Melaza %	0	7	--	14	--	21	--	28	--
Alten-60 %	0	--	7	--	14	--	21	--	28

## 2. Lugar del experimento y preparación de las muestras (incisos 2 al 7 de la etapa 2)

Estos incisos del estudio fueron los mismos que en la etapa dos y ya se describieron con anterioridad en materiales y métodos del inciso 2 al 7 de la etapa 2.

## 3. Obtención de la materia seca

La obtención de la materia seca se realizó en 3 diferentes horas de incubación (24, 48, 72 h) retirando 3 viales de cada tratamiento para determinar la MS y con ello la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (*DIVMS*). Una vez que se retiraban los viales estos se mantuvieron en refrigeración para detener la actividad microbiana y su conservación. La determinación de MS y la digestibilidad *in vitro* se realizó la misma técnica que en la etapa 2.

#### **4. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)**

La concentración de AGV se midió a las 24, 48 y 72 h de incubación por medio de la técnica de cromatografía de gases. Se analizaron un total de 162 muestras de los 9 tratamientos obtenidas de 3 periodos repetitivos de la técnica. Se tomaron 4 mL del líquido sobrenadante obtenido de la centrifugación a 6000 rpm, adicionando ácido metafosfórico para detener la actividad microbiana. Durante el análisis de los AGV, se tomó una muestra de 2 mL y se colocaron cápsulas Eppendorf para su centrifugación a 12 000 rpm en una centrifuga modelo Hettichzentrifugen EBA 21 y de este sobrenadante se tomaron alícuotas de 1.5 mL y se depositaron en viales para ser analizado por cromatografía de gases.

Para el análisis de AGV se utilizó Cromatógrafo Hewelt Packard modelo 6890 con un puerto de inyección 7386, muestreador automático y una columna capilar HP-FFAP, longitud 30 m, diámetro interno 0.25 mm y película de 0.25 micras. Las temperaturas del inyector y del detector de ionización de llama fueron 210°C y 230°C respectivamente. Se utilizó nitrógeno como gas acarreador a un flujo de 14mL/minuto, hidrógeno a 35mL/min y aire de 350 mL/minuto. La rampa de temperatura inicio a 70°C/min a una velocidad de 14 °C/min hasta 155°C. El tiempo de retención para los AGV (acético, propiónico y butírico) fueron 3,25, 3,75 y 4,28 min respectivamente.

#### **5. Cinética de producción de gas**

Se evaluó la cinética de producción de gas *in vitro* a las 12, 24 y 72 h de incubación ajustándola a la ecuación exponencial  $y=a+b(1-e^{-ct})$  (Orskov y McDonald, 1979) donde: y= producción de gas (mL/g de MS); a, b= constantes de la ecuación; c= tasa de producción de gas; t= tiempo de incubación.

## 6. Diseño estadístico

Se realizó un diseño experimental en parcelas divididas con 9 tratamientos y en cada uno 8 repeticiones, los datos se analizaron con el procedimiento PROC GLM de SAS (2002). Las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). El modelo estadístico usado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \varepsilon_{aik} + H_j + (TH)_{ij} + \varepsilon_{bjk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta en tratamiento i, repetición j.

$\mu$  = Media general.

$T_i$  = Efecto del nivel i de T.

$H_j$  = Efecto del nivel j de B.

$\varepsilon_{aik}$  = Error de tratamiento\*repetición

TH = Interacción T\*H (tratamiento\*horario)

$\varepsilon_{bjk}$  = Error aleatorio

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 10 muestra los datos del análisis determinado de las dietas utilizadas en los diferentes tratamientos de la etapa 3. Los % de proteína de los tratamientos son muy parecidos lo que refleja la homogeneidad de estos. El contenido de cenizas de los tratamientos se incrementó debido a que los subproductos utilizados contienen de 8-10% de cenizas. Los porcentajes de MS disminuyeron debido a la sustitución de la melaza o ALTEN-60 en los tratamientos. Los porcentajes de fibra fueron bajos, esto debido a que los ingredientes que las integran contienen poca cantidad de FDN y FDA.

**Cuadro 10.** Porcentajes de los nutrientes en los tratamientos utilizados.

NUTRIENTE	TRATAMIENTOS % (BMS)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Materia Seca	91	78	82	75	80	76	78	70	75
Proteína	11	12	12	12	12	12	12	12	12
Cenizas	2.8	3	3.3	3.2	3.6	3.6	3.7	3.5	4.8
FDA	10	10	10	10	10	10	10	10	10
FDN	33	28	31	29	28	25	28	26	29

**BSM:** base materia seca; **FDN:** fibra detergente neutro; **FDA:** fibra detergente ácido.

El Cuadro 11 presenta la producción de gas en dietas integrales con diferentes porcentajes (7, 14, 21, 28%) de los subproductos energéticos evaluados, melaza y ALTEN-60. A diferencia de los tratamientos anteriores que contenían bagazo, en estos tratamientos la dieta contiene granos los cuales tienen mejor digestibilidad por lo que se encontró una mayor producción de gas. Para los tratamientos que contenían melaza, la mayor producción de gas se observó con el 21% de este subproducto. Los tratamientos a los que se les adicionó el subproducto ALTEN-60, tuvieron la mayor producción de gas, específicamente en el tratamiento con 7% con un aumento del 5% de gas más que en el testigo. Al comparar los tratamientos en los diferentes horarios entre los dos subproductos se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los tratamientos con 7 y 21%, ya que la mayor producción de gas se dio en el tratamiento con ALTEN-60 y melaza respectivamente. Para los tratamientos con el subproducto ALTEN-60 hubo efectos lineales a diferencia de los subproductos con melaza, los cuales no presentaron este efecto. En los contrastes entre el testigo contra los diferentes tratamientos solo se dio para el caso del subproducto ALTEN-60 a las 48 y 72 h, comparado con el testigo ( $P < 0.05$ ), lo que nos muestra la semejanza en la producción de gas de los diferentes tratamientos.

**Cuadro 11.** Producción de gas en materia seca inicial en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60.

**Producción de gas por gramo de MS con melaza**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs M	L	Q	C
12	166.61	170.16a	166.53 <sup>a</sup>	174.90a	159.65a	2.394	0.1857	0.9949	0.0703	0.1775
24	267.96	277.48b	263.37 <sup>a</sup>	277.29a	250.54a	3.102	0.2874	0.1036	0.0072	0.0176
48	326.03	333.64b	319.06 <sup>a</sup>	331.28a	303.43a	3.444	0.2284	0.0219	<0.0001	0.0294
72	349.89	356.57b	343.18 <sup>a</sup>	359.10a	322.39a	2.176	0.2289	<0.0001	<0.0001	0.0030

**Producción de gas por gramo de MS con ALTEN-60**

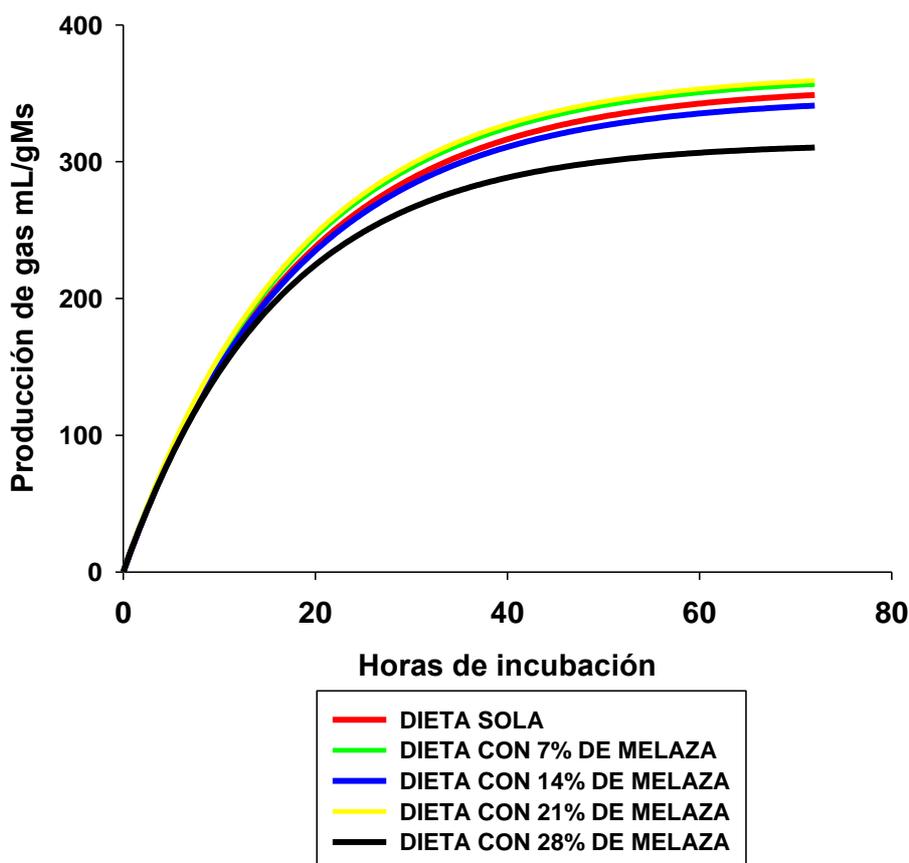
H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs AL	L	Q	C
12	166.61	174.99a	168.67a	160.26b	156.82a	2.394	0.1759	<0.0001	0.6542	0.0174
24	267.96	281.35a	266.08a	251.71b	246.05a	7.219	0.0035	<0.0001	0.5868	0.0029
48	326.03	348.69a	320.62a	303.24a	298.27a	6.380	<0.0001	<0.0001	0.7867	0.0029
72	349.89	367.44a	342.15a	319.56b	305.31b	3.339	<0.0001	<0.0001	0.0010	<0.0001

EEM: Error estándar de la media. H: Horas. T: testigo, M: melaza, AL: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

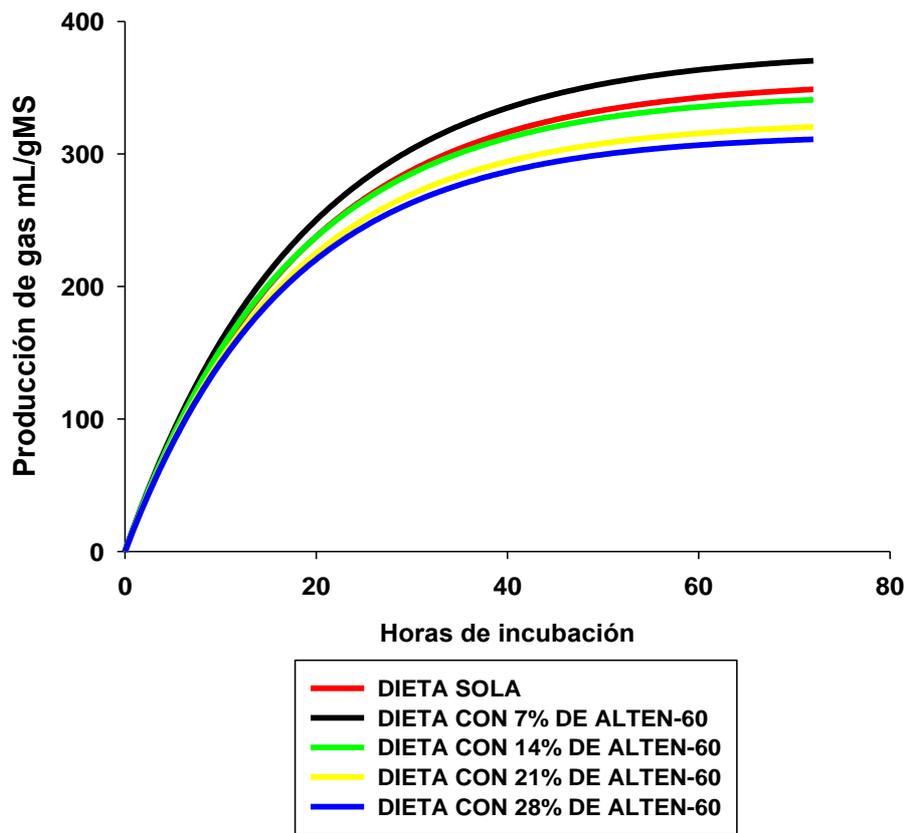
Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

La gráfica 5 muestra los datos de cinética de producción de gas por g de MS de tratamientos que contenían melaza en diferentes porcentajes, presentándose resultados muy similares en todos los tratamientos. En el tratamiento con 28% de melaza la producción de gas después de 20 h de incubación disminuyó en comparación con los otros tratamientos, esto fue debido a la mayor cantidad de producto y a su rápida degradación, mientras que los tratamientos testigo, con 7, 14 y 21% mostraron un mejor comportamiento que el tratamiento con 28% de melaza. En la Gráfica 6, los datos de cinética de producción de gas con ALTEN-60 muestran las mismas características que la Gráfica 5, ya que los tratamientos con mayor cantidad de ALTEN-60 tienen una menor cinética de producción de gas. El tratamiento con 7% de ALTEN-60 presentó la mayor producción de gas ( $P < 0.05$ ).



**Gráfica 5.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de melaza.



**Gráfica 6.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca (mL/gMS) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60.

El Cuadro 12 presenta la producción de gas por gramo de MSD en los diferentes tratamientos utilizados en esta etapa. Al aumentar el porcentaje de los subproductos energéticos en los diferentes tratamientos, la producción de gas disminuye, con excepción del tratamiento con 7% a las 72 h, donde los subproductos tuvieron un aumento de 3.5% para la melaza y 7.1% en los tratamientos con ALTEN-60. Esto puede explicarse por la mayor superficie de contacto que tienen los microorganismos del rumen con la dieta que contiene menor cantidad del subproducto. Al realizar la comparación de la producción de gas con los dos subproductos entre los distintos tratamientos, se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) a las 48 y 72 h con 21% de los subproductos observando una mayor producción de gas en los tratamientos con melaza. Al realizar el contraste del testigo contra los diferentes tratamientos de los dos subproductos evaluados encontramos que para el caso de los tratamientos con melaza son iguales ( $P < 0.05$ ) mientras que para el caso de ALTEN-60 si existen diferencias ( $P < 0.05$ ) a las 48 y 72 h debido a la disminución de la producción de gas.

**Cuadro 12.** Producción de gas por gramo de materia seca degradada en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60.

**Producción de gas por gramo de MSD en melaza**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs M	L	Q	C
24	405.47	397.80a	365.32a	378.29a	327.50a	14.73	0.2463	0.2098	0.3321	0.2454
48	460.80	452.84a	416.57a	438.59a	378.58a	15.99	0.1028	0.0010	0.0639	0.3135
72	476.45	493.08a	446.36a	451.44a	398.19a	18.90	0.8487	0.0037	0.0073	0.0562

**Producción de gas por gramo de MSD en ALTEN-60**

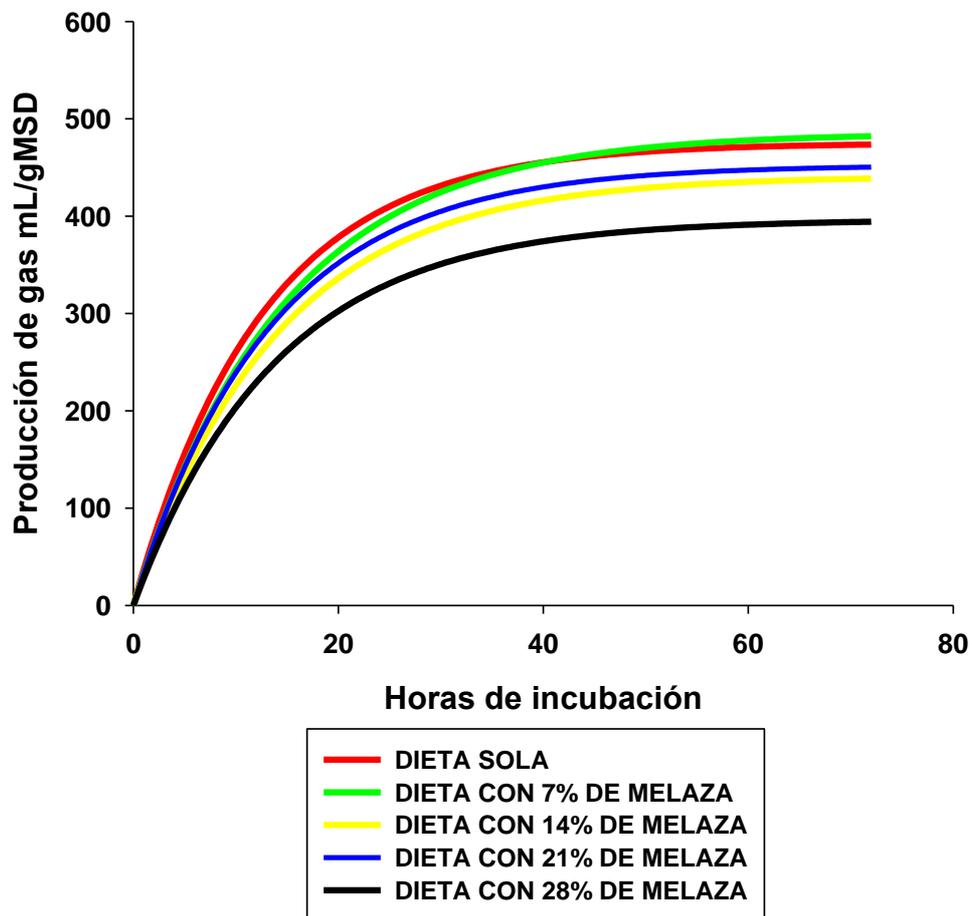
H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs AL	L	Q	C
24	405.47	391.23a	393.19 <sup>a</sup>	338.31a	331.11a	25.91	0.0009	0.0009	0.2185	0.3798
48	460.80	480.89a	419.55 <sup>a</sup>	391.33b	388.52a	15.97	<0.0001	0.0008	0.6536	0.0086
72	476.45	510.42a	447.32 <sup>a</sup>	407.08b	382.59b	21.38	<0.0001	<0.0001	0.9165	0.2017

EEM: Error estándar de la media. H: Horas. T: testigo, M: melaza, AL: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

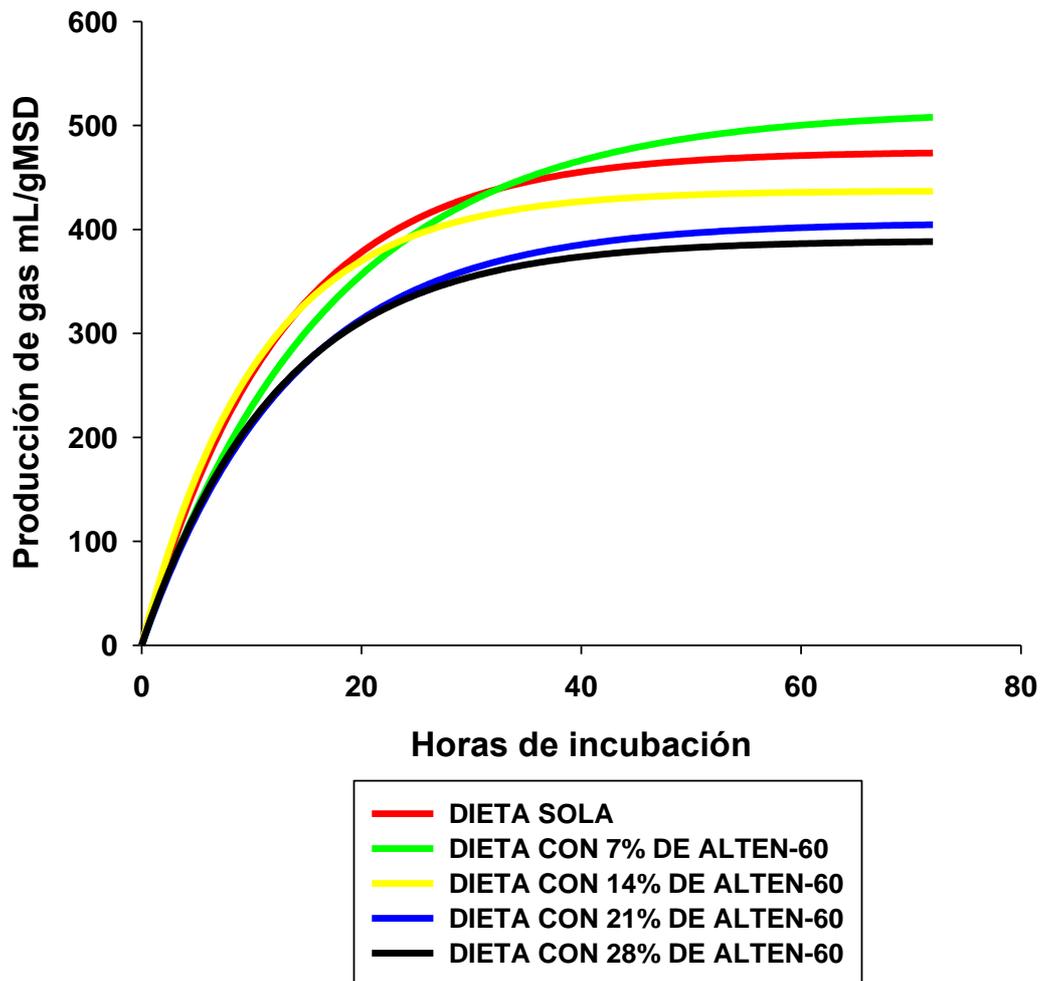
Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

La cinética de producción de gas por gramo de MSD con melaza se muestra en la Gráfica 7, de la misma manera, con el 28% de melaza la cinética de producción de gas fue menor que en los otros tratamientos. La dieta sola y con 7% de melaza tuvo un comportamiento similar, con un crecimiento exponencial durante las primeras horas. Para los tratamientos que contenían diferentes porcentajes de ALTEN-60, (Gráfica 8), la cinética de producción de gas fue similar que con melaza teniendo una menor producción de gas en los tratamientos con 21 y 28% de ALTEN-60 probablemente por la rápida degradación del producto.



**Gráfica 7.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de melaza.



**Gráfica 8.** Cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada (mL/gMSD) en tratamientos con diferentes % de ALTEN-60.

La digestibilidad aumentó conforme se incrementa el porcentaje de los subproductos evaluados en los horarios de incubación (Cuadro 13) esto debido a la rápida fermentación de los subproductos evaluados. Se encontró que en el tratamiento con 7% de los dos subproductos evaluados a las 72 horas existió una pequeña disminución de la digestibilidad no significativa. Al realizar la comparación de los tratamientos con melaza contra los tratamientos con ALTEN-60, se observó que no existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) ya que la digestibilidad fue muy parecida debido a las características similares de los subproductos evaluados. En los análisis de contrastes, entre el testigo y los tratamientos con melaza o ALTEN-60, en la mayoría de ellos al menos un tratamiento fue diferente ( $P < 0.05$ ) con excepción del tratamiento con melaza a las 72 horas. En los dos subproductos evaluados en sus diferentes horarios de incubación hubo efectos lineales, lo que se concluye que al aumentar el porcentaje de cada producto se van incrementando los porcentajes de digestibilidad ( $P < 0.05$ ). Morales y Noguera (2009), utilizaron bloques nutricionales elaborados a partir de vinaza (35%) y melaza (5%), los cuales son subproductos de la caña de azúcar en la alimentación de novillos en donde encontraron mayores ganancias de peso que en tratamiento testigo. Hidalgo *et al.*, (2009) utilizó vinaza en la producción de aves en raciones de 5% al inicio, 10% en crecimiento y 15% en la finalización, en donde se observa mayor peso vivo, mejor conversión alimenticia y mayor peso en canal. La superioridad en peso vivo coincide con investigaciones realizadas en Holanda, Bélgica y Francia, citadas por Sarria y Preston (1992), en las que se demostró que al utilizar vinaza concentrada era posible mejorar la rapidez de crecimiento en 5% y disminuir el precio de la ración en 15%. Se recomienda para las aves entre 2 y 3% de inclusión en la ración, 4% para cerdos y 10% para bovinos.

**Cuadro 13.** Digestibilidad de la materia seca inicial en los tratamientos con diferentes porcentajes de melaza y ALTEN-60.

**Digestibilidad de la muestra con melaza**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs M	L	Q	C
24	64.29	69.98a	71.49a	73.37a	76.23a	2.26	0.0006	0.0093	0.0097	0.5978
48	70.52	73.88a	76.66a	77.96a	81.03a	2.47	0.0007	0.0003	0.2706	0.9850
72	73.44	73.37a	76.99a	80.03a	80.99a	2.11	0.2807	0.0212	0.4424	0.2986

**Digestibilidad de la muestra con ALTEN-60**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs AL	L	Q	C
24	64.29	70.09a	69.51a	72.66a	74.93a	2.87	<0.0001	0.0037	0.2292	0.9400
48	70.52	73.50a	76.14a	77.93a	79.30a	1.05	<0.0001	0.0079	0.2978	0.3565
72	73.44	72.99a	76.53a	78.47a	79.80b	2.32	0.0002	0.0695	0.2626	0.7313

EEM: Error estándar de la media. H: Horas, T: testigo, M: melaza, SE: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

La producción de ácido acético en los diferentes tratamientos con diferentes porcentajes de los productos evaluados se muestra en el Cuadro 14. La producción de ácido acético fue muy parecida entre los diferentes tratamientos y el testigo. Al comparar la producción de este ácido en los tratamientos con los dos subproductos evaluados no encontramos diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Para los tratamientos con melaza la mayor producción de ácido acético se dio en los tratamientos que contenían el 21%, mientras que para los tratamientos con el subproducto ALTEN-60, los valores más altos se dieron con 28% del subproducto. No hubo efectos lineales, cúbicos ni cuadráticos, debido a la semejanza en la producción de ácido acético de los tratamientos. El Cuadro 15 muestra la producción de ácido propiónico en los diferentes tratamientos de los subproductos evaluados. Observamos una mayor producción de ácido propionico en el grupo testigo comparado con los demás tratamientos de los subproductos evaluados. Al realizar la comparación entre los tratamientos con melaza contra los de ALTEN-60 encontramos que no presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). En la prueba de contrastes, para los dos subproductos a las 24 h, observamos que al menos un tratamiento es diferente ( $P < 0.05$ ). Con excepción del tratamiento a las 24 h de incubación con melaza en el cual encontramos un efecto cuadrático, para ambos casos no existen efectos lineales cúbicos ni cuadráticos lo que nos muestra lo parecido en cuanto a la producción de ácido propionico en los diferentes horarios de incubación. El Cuadro 16 muestra las concentraciones de ácido butírico en los diferentes tratamientos con los subproductos energéticos evaluados. La producción de ácido butírico fue similar entre el testigo y todos los tratamientos existiendo un ligero aumento en estos últimos conforme aumentaba el porcentaje de los subproductos. Las principales diferencias entre los subproductos se dieron a las 72 h de incubación con 28% de los subproductos evaluados en la dieta en donde encontramos diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los tratamientos con 24 y 48%. No hubo efectos lineales cúbicos ni cuadráticos debido a que la producción de ácido butírico no cambió al transcurrir el tiempo de incubación.

**Cuadro 14.** Producción de ácido acético con tratamientos que contenían melaza y ALTEN-60.

**Ácido acético en tratamientos con Melaza**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs M	L	Q	C
24	59.96	62.42a	60.81b	63.02a	62.91a	0.52	0.0002	0.0004	0.8026	0.0001
48	61.89	61.86a	62.18a	63.23a	62.62a	0.07	0.5463	0.2965	0.8917	0.9859
72	63.52	62.52a	62.15a	63.20a	63.05a	1.62	0.2880	0.5667	0.3535	0.8518

**Ácido acético en tratamientos con ALTEN-60**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs AL	L	Q	C
24	59.96	62.23a	63.72a	60.91a	63.15a	0.55	<0.0001	0.2631	0.0010	0.7566
48	61.89	62.26a	62.50a	62.68a	63.74a	1.26	0.0402	0.2112	0.4578	0.1098
72	63.52	63.21a	63.14a	62.11a	63.07a	1.62	0.3551	0.8897	0.4103	0.9022

EEM: Error estándar de la media. H: Horas, T: testigo, M: melaza, SE: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

**Cuadro 15.** Producción de ácido propiónico con tratamientos que contenían melaza y ALTEN-60.

**Ácido propiónico en tratamientos con Melaza**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs M	L	Q	C
24	25.47	21.96b	24.64a	22.35a	21.69a	0.43	<0.0001	0.0002	0.1467	<0.0001
48	23.72	23.12a	23.15a	21.08a	23.21a	0.44	0.2494	0.3696	0.4642	0.6177
72	23.11	21.59a	24.10a	20.47a	20.82a	1.53	0.1825	0.3193	0.7655	0.0112

**Ácido propiónico en tratamientos con ALTEN-60**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs AL	L	Q	C
24	25.47	23.17a	21.76b	24.80b	22.72a	0.35	<0.0001	0.1532	0.0008	0.0200
48	23.72	22.64a	22.86a	23.12a	20.91b	1.59	0.0186	0.3481	0.1929	0.0069
72	23.11	21.29a	20.60b	21.72b	21.63a	0.91	0.452	0.3353	0.9287	0.8913

EEM: Error estándar de la media. H: Horas, T: testigo, M: melaza, SE: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

**Cuadro 16.** Producción de ácido butírico con tratamientos que contenían melaza y ALTEN-60.

**Ácido butírico en tratamientos con Melaza**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs M	L	Q	C
24	14.56	15.60a	14.53a	14.61a	15.38a	0.41	0.5364	0.3197	0.3861	0.0932
48	14.37	15.01a	14.66a	15.68a	14.16b	0.38	0.0599	0.8154	0.0325	0.1592
72	13.36	15.87a	13.74a	16.32a	16.12a	0.79	0.0077	0.0534	0.5038	0.0018

**Ácido butírico en tratamientos con ALTEN-60**

H	T	7%	14%	21%	28%	EEM	T vs AL	L	Q	C
24	14.56	14.59b	14.50a	14.28a	14.12b	0.69	0.9170	0.9928	0.3488	0.1138
48	14.37	15.09a	14.62a	14.18a	15.16a	0.33	0.0610	0.8737	0.0451	0.0002
72	13.36	15.48a	16.25a	16.15a	15.28a	0.82	0.0015	0.2231	0.4042	0.7334

EEM: Error estándar de la media. H: Horas, T: testigo, M: melaza, SE: ALTEN-60, L: Lineal, Q: Cubico, C: Cuadrático

Letras diferentes entre los dos grupos energéticos de cada columna muestran diferencias significativas (P<0.05).

Las diferencias estadísticas por renglón en el testigo, las fuentes energéticas y los polinomios ortogonales, muestran los niveles de significancia.

## CONCLUSIONES

- ❖ La mayor producción de gas que se obtuvo fue con el tratamiento con 7% de los dos subproductos evaluados. El aumento de los subproductos energéticos en las dietas provocó un descenso en la producción de gas.
- ❖ La mayor digestibilidad se observó en los tratamientos con 28% de los subproductos evaluados por la mayor cantidad de los subproductos evaluados.
- ❖ Para la melaza, el mejor tratamiento para la producción de AGV, se obtuvo con la inclusión del 21% de este producto. Mientras que la inclusión del subproducto ALTEN-60 a una concentración de 21 a 28% de subproducto produjeron las mayores cantidades de producción de ácido acético y propionico.

## LITERATURA CONSULTADA

- Hidalgo K., Rodríguez B., Valdivié M. y Febles M. 2009. Utilización de la vinaza de destilería como aditivo para pollos en ceba. Instituto de Ciencia Animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 43, Número 3, 2009
- Mojica, M. M. 2010. Establecimiento y Uso de la Técnica de Digestibilidad *In Vitro* Para Evaluar Nutricionalmente Maíz Forrajero. Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tesis
- Morales J. J. G. y Noguera M. J. D. 2009. La Vinaza como Suplemento Nutricional en la Producción Animal. Universidad EARTH. Guacimo, Limón Costa Rica. Tesis 2009.
- Obispo, N.E., P. Pares, C. Hidalgo, J. Palma y S. Godoy. 2001. Consumo de forraje y ganancia diaria de peso en bovino de carne en crecimiento suplementados con fuentes proteicas. Zootecnia Tropical 19(3):423-442
- Orskov, E, R. y McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science 92:499.
- Sarria, P. & Preston, T.R. 1992. Reemplazo parcial del jugo de caña con vinaza y uso del grano de soya a cambio de torta en dietas de cerdos de engorde. Livestock Res. Rural Development. 4:80
- S.A.S. 2002. User's guide statistics. SAS institute Inc. Cary. N.C, USA.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

- ✓ En épocas de escasas de forraje es necesario incluir un producto que ayude a mejorar la digestibilidad de los forrajes toscos (rastrosos o pajas) los cuales pueden ser la melaza o el ALTEN-60.
- ✓ La producción de gas es mayor con melaza mientras que la digestibilidad es superior con ALTEN-60, por lo que al incrementar los subproductos en forrajes toscos como bagazo de caña, ayudaría a mejorar la producción.
- ✓ Al comparar el tratamiento testigo contra los tratamientos con ALTEN-60 o melaza la digestibilidad es mayor en estas últimas al incrementar su porcentaje de inclusión, pero entre los tratamientos con los dos subproductos no existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), mientras que la producción de gas y AGV se mantiene muy parecida.
- ✓ Estos aspectos nos llevan a considerar a los subproductos analizados como una posibilidad para disminuir los costos de producción adicionándolos a pajas para mejorar su digestibilidad o sustituyendo los granos por los subproductos.