



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CIENCIA APLICADA  
Y TECNOLOGÍA AVANZADA CICATA-IPN, UNIDAD ALTAMIRA**

**“DESARROLLO DE ALIMENTO ANIMAL  
MELAZADO, Y ENRIQUECIDO A PARTIR DE  
INSUMOS NO-CONVENCIONALES Y  
SUBPRODUCTOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR,  
PARA ENGORDA DE GANADO BOVINO EN  
ETAPA DE FINALIZACIÓN”**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA**

Presenta:

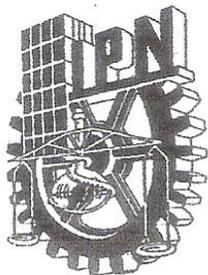
**ING. JOSUÉ BENITO BERMAN DELGADO**

Director de Tesis:

**DR. JORGE AURELIO LOIS CORREA**

ALTAMIRA, TAMPS.

OCTUBRE DEL 2011



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de Altamira, Tamaulipas el día 24 del mes Octubre del año 2011, el (la) que suscribe Josué Benito Berman Delgado alumno (a) del Programa de Tecnología Avanzada con número de registro B091256, adscrito a Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Jorge Aurelio Lois Correa y cede los derechos del trabajo intitulado Desarrollo de alimento animal melazado, y enriquecido a partir de insumos no-convencionales y subproductos de la caña de azúcar, para engorda de ganado bovino en etapa de finalización, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección josbberdel@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
Ing. Josué Benito Berman Delgado

Nombre y firma



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

México, D.F. a 27 de Abril del 2011

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA-ALT en su sesión ORD. RCP No. 06 celebrada el día 27 del mes de ABR-11 conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

Berman	Delgado	Josué Benito							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre (s)							
		Con registro:							
		<table border="1"> <tr> <td>B</td><td>0</td><td>9</td><td>1</td><td>2</td><td>5</td><td>6</td> </tr> </table>	B	0	9	1	2	5	6
B	0	9	1	2	5	6			

Aspirante de:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:  
Desarrollo de alimento animal melazado, y enriquecido a partir de insumos no-convencionales y subproductos de la caña de azúcar, para engorda de ganado bovino en etapa de finalización.

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

- Desarrollo de un alimento balanceado para engorda de ganado bovino.
- Confección del alimento balanceado idóneo.
- Caracterización bromatológica, morfológica y cualitativa del alimento balanceado.

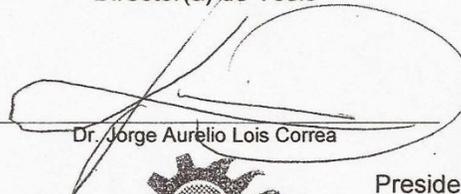
2.- Se designa como Director de Tesis al Profesor:  
Dr. Jorge Aurelio Lois Correa

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesina será elaborado por el alumno en:  
CICATA ALTAMIRA

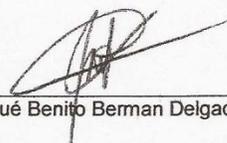
que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Director(a) de Tesis

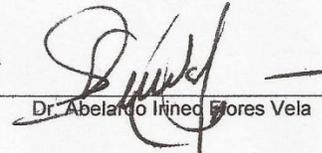
  
Dr. Jorge Aurelio Lois Correa

Aspirante

  
I. Q. Josué Benito Berman Delgado

Presidente del Colegio

  
CENTRO DE INVESTIGACION EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGIA AVANZADA  
DEL I.P.N.  
UNIDAD ALTAMIRA

  
Dr. Abelardo Irined Flores Vela



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Altamira Tamps. siendo las 12 horas del día 24 del mes de Octubre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA ALTAMIRA para examinar la tesis titulada:  
**Desarrollo de alimento animal melazado, y enriquecido a partir de insumos no-convencionales y subproductos de la caña de azúcar, para engorda de ganado bovino en etapa de finalización.**

Presentada por el alumno:

Berman	Delgado	Josué Benito							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
		Con registro:	B	0	9	1	2	5	6

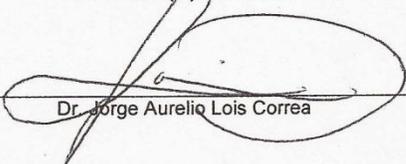
aspirante de:

### MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

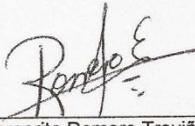
Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

  
Dr. Jorge Aurelio Lois Correa

  
Dra. Aidé Minerva Torres Huerta

  
Dra. Elvia Margarita Romero Treviño

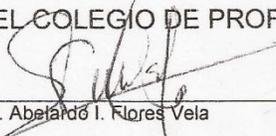
  
Dr. Eugenio Rodríguez González

  
M.C. José Luis Horak Loya

  
Dr. Edgar Onofre Bustamante



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA  
DEL IPN  
UNIDAD ALTAMIRA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES  
  
Dr. Abelardo I. Flores Vela

A mis padres Honorato y Alejandrina  
y a mis hermanos, Emmanuel y Honorato por  
brindarme su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN, por facilitar las instalaciones para la realización de este trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico.

Un sincero reconocimiento al Dr. Jorge Aurelio Lois Correa, por brindarme su confianza, apoyo y por guiarme a la realización de este proyecto, que contribuyo en mi formación profesional.

A la Dra. Elvia Margarita Romero Treviño y al M.C. José Luis Horak Loya, del Instituto Tecnológico de Altamira (ITA), por su valiosa colaboración y enseñanza para la realización de este proyecto. De igual manera al ITA por facilitar sus instalaciones como el Laboratorio de Bromatología que dirige la Dra. Elvia Margarita en la parte de la caracterización bromatológica.

A la Dra. María Elena Sánchez Pardo de la ENCB-IPN por su valiosa colaboración en la parte de caracterización bromatológica y por facilitar el laboratorio de alimentos de la misma que ella dirige.

A la Dra. Mayahuel Ortega del CNMN-IPN, por su valiosa colaboración en la parte de caracterización morfológica.

Al Dr. Fabio Felipe Chalé Lara, al Dr. Eugenio Rodríguez González, a la Dra. Aide Torres Huerta y al Dr. Edgar Onofre Bustamante por su valiosa contribución en la realización de este proyecto y en mi formación profesional.

Un agradecimiento especial a mis compañeras y amigas, Ing. Denisse Paola Ortega Grimaldo y a la Lic. Diana Isis Llanes Gil López, por sus consejos, colaboración y apoyo que me brindaron en la realización de este trabajo de investigación.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xiii
LISTA DE CUADROS.....	xiv
GLOSARIO.....	xv
RESUMEN/ ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES.....	3
1.1 LA CAÑA DE AZÚCAR.....	3
1.1.1 Importancia estratégica de la caña de azúcar en México.....	4
1.1.2 La caña de azúcar como productora de biomasa.....	5
1.1.3 Composición física de la caña de azúcar.....	6
1.1.4 Composición química de la caña de azúcar.....	6
1.1.5 Ventajas de la caña de azúcar para la producción animal.....	6
1.1.6 Subproductos de la caña de azúcar.....	7
1.1.6.1 Bagazo de caña.....	8
1.1.6.2 Mieles.....	10
1.1.6.3 Cachaza.....	10
1.2 COGOLLO DE CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	10
1.3 MIEL FINAL.....	11
1.3.1 Clasificación de la miel final.....	12
1.3.2 Otras clasificaciones de la miel final.....	13
1.3.3 Obtención de la miel final.....	14
1.3.5 Composición de la miel final.....	17
1.3.5.1 Azúcares.....	17
1.3.5.2 Cenizas.....	17
1.3.5.3 Compuestos nitrogenados.....	18
1.3.5.4 Ácidos no nitrogenados.....	19

1.3.5.5 Ceras, esteroides y lípidos.....	20
1.3.5.6 Vitaminas.....	20
1.3.5.7 Materias colorantes.....	20
1.3.6 Propiedades reológicas.....	20
1.3.6.1 Importancia del pH.....	21
1.3.6.2 Viscosidad.....	21
1.3.6.3 Efecto de la temperatura sobre la viscosidad.....	21
1.3.6.4 Calor específico y conductividad térmica de las mieles.....	21
1.3.6.5 Densidad.....	22
1.3.7 La miel final en la alimentación del ganado bovino de carne.....	22
1.3.7.1 Como saborizante y aglutinante.....	25
1.3.7.2 Como aditivo favorecedor de la fermentación (ensilaje) de forrajes..	25
1.3.7.3 Como suplementos energético-proteicos simples.....	25
1.3.7.4 Incorporada a forrajes melazados.....	26
1.3.7.5 Como suplementos energético-proteicos en bloques sólidos.....	26
1.3.7.6 En dietas integrales.....	26
1.4 MIEL DESHIDRATADA.....	29
1.5 LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO BOVINO DE CARNE.....	30
1.5.1 Tipos de alimentos para el ganado.....	30
1.5.2 Elementos nutricionales frecuentes en un alimento balanceado, para ganado bovino.....	32
1.5.3 Aparato digestivo del ganado bovino.....	36
1.5.4 Alimentación del ganado de engorda de finalización.....	37
1.5.4.1 Engorde intensivo.....	37
1.5.4.2 Engorde mixto.....	38
1.5.4.3 Engorde en pastizal.....	38
1.5.4.4 Edad para el engorde.....	38
1.5.5 Formulación de raciones.....	39
1.5.5.1 Ración equilibrada.....	39
1.5.5.2 Formulación de la ración.....	39
1.5.5.2.1 Método algebraico.....	40

1.5.5.2.2 Programación lineal.....	40
1.5.6 Confección de alimentos balanceados.....	40
1.6 ANÁLISIS DE LOS ALIMENTOS.....	41
1.6.1 Análisis proximal.....	41
1.6.2 Método de <i>Van Soest</i> .....	42
1.7 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE <i>FOURIER</i> .....	43
1.8 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	44
1.9 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).....	44
1.10 MICROSCOPIA CONFOCAL DE BARRIDO LÁSER (MCBL).....	45
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	46
2.1 UBICACIÓN DONDE SE REALIZARON LAS MEZCLAS EXPLORATORIAS.....	46
2.2 PRUEBAS EXPLORATORIAS REALIZADAS.....	46
2.2.1 Enriquecimiento de la melaza en la mezcla E3.....	46
2.2.2 Análisis de la mezcla exploratoria E-3 fracción granulada (E-3B).....	46
2.3 SECUENCIA GENERAL APLICADA AL DESARROLLO DE LOS ALIMENTOS BALANCEADOS.....	46
2.4 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DESARROLLO DE LOS ALIMENTOS BALANCEADOS.....	50
2.4.1 Formulación del alimento balanceado MFS.....	50
2.4.2 Formulación del alimento balanceado ABM.....	50
2.4.3 Confección de los alimentos balanceados a escala de laboratorio.....	51
2.4.3.1 Preparación del alimento balanceado MFS.....	51
2.4.3.2 Preparación del alimento balanceado alternativo ABM.....	54
2.5 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	55
2.5.1 Caracterización bromatológica.....	56
2.5.1.1 Análisis bromatológico de la melaza.....	56
2.5.1.2 Análisis bromatológico del cogollo de la caña de azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	57
2.5.1.3 Análisis bromatológico del pasto maralfalfa ( <i>Pennisetum sp.</i> ).....	58

2.5.1.4 Análisis bromatológico del subproducto de MTGasa.....	58
2.5.1.5 Análisis bromatológico del alimento balanceado MFS.....	58
2.5.1.6 Análisis bromatológico del alimento balanceado ABM.....	58
2.5.2 Caracterización química-cualitativa.....	60
2.5.2.1 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de <i>Fourier</i> (FT-IR).....	60
2.5.2.2 Difracción de Rayos X (DRX).....	62
2.5.3 Caracterización morfológica.....	63
2.5.3.1 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), con Espectrómetro de Dispersión de Energía (EDS).....	64
2.5.3.2 Microscopía Confocal de Barrido Láser (MCBL).....	65
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
3.1 MEZCLA EXPLORATORIA E3.....	66
3.2 MELAZA UTILIZADA.....	67
3.3 SUBPRODUCTO DE LA FABRICACIÓN DE MTGASA.....	71
3.4 COGOLLO DE CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	72
3.5 PASTO MARALFALFA ( <i>Pennisetum sp.</i> ).....	73
3.6 ALIMENTO BALANCEADO (MFS).....	74
3.7 ALIMENTO BALANCEADO (ABM).....	77
4. CONCLUSIONES .....	86
5. RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXO A: Determinación de proteína cruda de los alimentos.....	95
ANEXO B: Determinación de Humedad de los alimentos.....	97
ANEXO C: Determinación de cenizas de los alimentos.....	98
ANEXO D: determinación de extracto etéreo o grasas.....	99

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Co-productos de la industria de la caña de azúcar.....	9
<b>Figura 2.</b> Principales alimentos, concentrados energéticos y proteicos para ganado de carne.....	35
<b>Figura 3.</b> Partes que conforman el estómago de los bovinos.....	36
<b>Figura 4.</b> Calentamiento de melaza a 65 °C.....	47
<b>Figura 5.</b> Vertimiento de la mezcla en charolas.....	47
<b>Figura 6.</b> Mezcla con 10% de humedad.....	47
<b>Figura 7.</b> Mezcla E-3 molida.....	47
<b>Figura 8.</b> Cribado de la mezcla E-3.....	47
<b>Figura 9.</b> Presentación de la mezcla E-3.....	47
<b>Figura 10.</b> Diagrama general para el desarrollo de alimentos balanceados.....	49
<b>Figura 11.</b> Desarrollo de los alimentos balanceados a escala de laboratorio.....	51
<b>Figura 12.</b> Mezclado de la melaza con Oxido de calcio.....	52
<b>Figura 13.</b> Mezcla de la melaza con MTGasa.....	53
<b>Figura 14.</b> Adición de melaza enriquecida al cogollo de caña de azúcar.....	53
<b>Figura 15.</b> Mezcla de la melaza suplementada con fibra de cogollo de caña de azúcar.....	53
<b>Figura 16.</b> Alimento balanceado terminado.....	53
<b>Figura 17.</b> Presentación del alimento balanceado (MFS).....	53
<b>Figura 18.</b> Homogenización de las fibras de cogollo para realización de análisis.....	57
<b>Figura 19.</b> Medición de la charola para la división para el muestreo.....	58
<b>Figura 20.</b> Charola dividida en nueve cuadros para muestreo.....	58
<b>Figura 21.</b> Toma de la muestra.....	58
<b>Figura 22.</b> Cuadros de donde se tomó la muestra de cogollo.....	58
<b>Figura 23.</b> Forraje de cogollo muestreada para su análisis de proteína y humedad.....	59

<b>Figura 24.</b> Vista del equipo <i>Kjeldahl</i> . (Etapa de Digestión).....	60
<b>Figura 25.</b> Titulación (determinación de la cantidad de nitrógeno en las muestras).....	60
<b>Figura 26.</b> Equipo de Espectroscopia <i>Raman</i> e IR.....	62
<b>Figura 27.</b> Colocación de melaza deshidratada en el porta-muestras para análisis de DRX.....	63
<b>Figura 28.</b> Muestra para la toma de imágenes en el MEB.....	65
<b>Figura 29.</b> Espectros de, a) Melaza deshidratada a 60 °C, b) Alimento (MFS) parte fibrosa y c) Alimento (MFS) parte fina.....	68
<b>Figura 30.</b> Difractogramas de, a) Melaza deshidratada y b) Azúcar comercial...	70
<b>Figura 31.</b> Micrografía obtenida mediante MEB del alimento balanceado. (a) partes fibrosas, (b) Partes aglomeradas.....	75
<b>Figura 32.</b> Micrografía obtenida mediante MEB de una muestra del alimento MFS.....	76
<b>Figura 33.</b> Imagen obtenida mediante MCBL de una muestra del alimento balanceado MFS, partes fibrosas (a).....	77
<b>Figura 34.</b> Espectros IR de la melaza utilizada (a) y del alimento ABM parte fibrosa (b).....	79
<b>Figura 35.</b> Micrografía obtenida mediante MEB de una hoja de maralfalfa de la muestra ABM. (a), incrustación grande, (d) incrustación pequeña y (c) pared de la hoja de maralfalfa.....	80
<b>Figura 36.</b> Espectros EDS de las zonas: (a) incrustación grande, (b) incrustación pequeña y (c) pared o superficie del forraje (trozo de una hoja de maralfalfa).....	81
<b>Figura 37.</b> Micrografía del trozo de una hoja de maralfalfa, mostrando las fibras internas lignocelulósicas expuestas.....	83
<b>Figura 38.</b> Espectro EDS de las fibras expuestas del trozo de hoja que se muestra en la figura 37.....	83
<b>Figura 39.</b> Micrografías tomas de una muestra del alimento ABM, partes finas...	84
<b>Figura 40.</b> Espectro EDS, de una muestra de ABM, en sus partes finas o polvos.....	85

## LISTA DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Composición física de la caña de azúcar.....	6
<b>Tabla 2.</b> Composición química general de la caña de azúcar entera.....	7
<b>Tabla 3.</b> Producción Comparativa de Biomasa.....	8
<b>Tabla 4.</b> Composición bromatológica comparativa del cogollo de caña y la Hierba NAPIER.....	10
<b>Tabla 5.</b> Morfología fibrosa del cogollo de caña.....	11
<b>Tabla 6.</b> Composición comparativa del contenido de los jugos.....	11
<b>Tabla 7.</b> Composición porcentual aproximada en peso de la miel de caña.....	18
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje y cantidades utilizadas para el alimento (MFS).....	54
<b>Tabla 9.</b> Porcentaje y cantidades utilizadas para el alimento (ABM).....	55
<b>Tabla 10.</b> Análisis químico y bromatológico de la formulación exploratoria E-3B	66
<b>Tabla 11.</b> Resultados de sacarosa, °Bx y PC.....	67
<b>Tabla 12.</b> PC, cenizas, MS y humedad del subproducto de MTGasa, en base seca (BS).....	71
<b>Tabla 13.</b> Humedad y PC del cogollo de caña, (BS).....	72
<b>Tabla 14.</b> Humedad y PC del pasto maralfalfa, (BS).....	73
<b>Tabla 15.</b> Humedad, cenizas y proteína cruda, del Alimento MFS (BS).....	74
<b>Tabla 16.</b> Análisis bromatológico básico del alimento balanceado ABM (BS).....	77
<b>Tabla 17.</b> Requerimientos de PC, para ganado de engorda a finalizar hasta 453.59 kg (NRC 1996).....	78
<b>Tabla 18.</b> Contenido porcentual elemental del espectro de (a).....	81
<b>Tabla 19.</b> Contenido porcentual elemental del espectro de (b).....	81
<b>Tabla 20.</b> Contenido porcentual elemental del espectro de (c).....	81
<b>Tabla 21.</b> Contenido porcentual elemental de las fibras expuestas .....	83
<b>Tabla 22.</b> Contenido porcentual elemental de las partes finas de la muestra de maralfalfa.....	85

## LISTA DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1.</b> Contenido de azúcares en diferentes melazas.....	17
<b>Cuadro 2.</b> Composición de los no-azúcares en las mieles finales.....	19
<b>Cuadro 3.</b> Porcentaje máximo de melaza absorbida por ingredientes en las dietas.....	24
<b>Cuadro 4.</b> Respuesta de la suplementación con melaza o melaza/urea en pastos de mala calidad.....	27
<b>Cuadro 5.</b> Requerimientos minerales y límites de toxicidad en bovinos (NRC 2000).....	34
<b>Cuadro 6.</b> Contenido promedio de calcio y fósforo de diferentes forrajes (g Kg <sup>-1</sup> ).....	34
<b>Cuadro 7.</b> Características de sales minerales para la complementación de diferentes recursos forrajeros (Ca y P), en concentración gramos Kg <sup>-1</sup> .....	35

## GLOSARIO

**ALIMENTO:** son todas las sustancias que, introducidas en el organismo, sirven para recompensar las pérdidas, de materia y energía, suministrando a la vez, materiales para la composición de células y tejidos.

**ALIMENTO BALANCEADO:** desde el punto de vista técnico, es la mezcla de ingredientes cuya composición nutricional permite aportar la cantidad de nutrientes biodisponibles necesarios para cubrir el requerimiento del metabolismo de un animal, en función de su etapa metabólica, edad y peso.

**AMINOÁCIDOS:** moléculas orgánicas que poseen simultáneamente una función amina ( $\text{NH}_2$ ) y una función ácida ( $\text{COOH}$ ) situadas sobre un mismo átomo de carbono.

**ALBÚMINAS:** es una proteína que se encuentra en gran proporción en el plasma sanguíneo, siendo la principal proteína de la sangre y a su vez la más abundante en el ser humano. Es sintetizada en el hígado.

**BIOCEREAL:** viene de los alimentos BIO que son aquellos alimentos que no contienen ningún producto químico (pesticidas, herbicidas, colorantes y conservantes artificiales, organismos modificados genéticamente, etc.) y que están garantizados por organismos de control (Consejos Reguladores de la Producción Ecológica tanto nacionales como extranjeros). Por lo tanto, es un alimento a base de cereales naturales y puros.

**BROMATOLOGÍA:** (del gr. *Brôma*, 'alimento', y *lógos*, 'tratado'), f. Ciencia que estudia las sustancias alimenticias, sus características, valor nutritivo, conservación y adulteraciones.

**CACHAZA:** residuo que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña durante la fabricación de azúcar. Es un material rico en fósforo, calcio, nitrógeno y materia orgánica.

**CELULOSA:** polisacárido compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa; es pues un homo-polisacárido (compuesto por un solo tipo de monosacárido); es rígido, insoluble en agua, y contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de  $\beta$ -glucosa. La celulosa es la bio-molécula orgánica más abundante en la naturaleza ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre, y es el hidrato de carbono polimérico que se encuentra en las paredes de las células de las plantas.

**CENIZAS:** conjunto de minerales que no arden ni se evaporan.

**DEXTRANO:** es un polisacárido complejo y ramificado formado por numerosas moléculas de glucosa; unidades en cadenas de longitud variable (de 10 a 150

kilodaltons). Es usado como antitrombótico (antiplaqueta) y para reducir la viscosidad de la sangre.

**DIETA:** conjunto de sustancias alimentarias que se ingieren formando hábitos o comportamientos nutricionales de los animales y forma parte de su estilo de vida, proviene del término griego *díaita* que significa "modo de vida". En definitiva, todo ser vivo tiene su dieta.

**DIGESTIBILIDAD:** es una forma de medir el aprovechamiento de una alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino.

**ENSILADO:** almacenamiento de productos agrícolas o minerales en silos para su mejor conservación.

**ESTEROLES:** son esteroides con 27 a 29 átomos de carbono. Su estructura química deriva del ciclopentanoperhidrofenantreno o esterano, una molécula de 17 carbonos formada por tres anillos hexagonales y uno pentagonal.

**FLUIDO NO NEWTONIANO:** son aquellos en los que la relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal. Estos fluidos a su vez se diferencian en *dependientes e independientes del tiempo*.

**FLUIDO SEUDOPLASTICO:** Es un fluido que se caracteriza por una disminución de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación.

**FRUCTOSA:**  $C_{16}H_{12}O_6$ , monosácarido del grupo de las catohexosas, hidrosoluble presente en los frutos. Importante en el metabolismo intermedio.

**GANADERÍA:** conjunto de ganado. Crianza de ganado y aprovechamiento de sus productos.

**GANADO:** grupo de animales domésticos de una misma especie.

**GLICINA:** La glicina o glicocola (Gly, G) es uno de los aminoácidos que forman las proteínas de los seres vivos. En el código genético está codificada como GGT, GGC, GGA o GGG.

**GLUCOSA:**  $C_6H_{12}O_6$ , monosácarido que constituye la principal fuente de energía de los organismos vivos. Posee un grupo aldehídico en la molécula (aldohexosas). Se presenta libre en los frutos, en la miel y en otras partes vegetales.

**GRAMÍNEAS:** nombre común de una extensa familia de plantas con flor, la más importante del mundo desde los puntos de vista económico y ecológico. La familia

contiene unos 635 géneros y 9.000 especies, y es la cuarta más extensa después de Leguminosas, Orquidáceas y Compuestas.

**GUARAPO:** jugo de la caña dulce exprimida, que por vaporización produce el azúcar.

**HEMICELULOSA:** son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero), formado, en este caso un tanto especial, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces  $\beta$  (1-4)(fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucurónico) , que forman una cadena lineal ramificada. Entre estos monosacáridos destacan más: la glucosa, la galactosa o la fructosa.

**LEUSINA:** es uno de los veinte aminoácidos que utilizan las células para sintetizar proteínas. Está codificada en el ARN mensajero como UUA, UUG, CUU, CUC, CUA o CUG. Su cadena lateral es no polar, un grupo isobutilo (2-metilpropilo).

**LIGNINA:** constituyente intercelular incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales. Se concentra en la lámela media y funciona prácticamente como relleno para impartir rigidez al tallo de la planta. El segundo elemento en importancia de la composición vegetal.

**LISINA:** es un aminoácido componente de las proteínas sintetizadas por los seres vivos. Es uno de los 10 aminoácidos esenciales para los seres humanos. **MÉDULA:** tejido blando que constituye el interior de algunos tallos como en el caso de las gramíneas.

**MANITOL:** Es un edulcorante obtenido de la hidrogenación del azúcar manosa. Pertenece al grupo de los edulcorantes denominado polioles o polialcoholes.

**METIONINA:** es un  $\alpha$ -aminóacido con la fórmula química  $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_3$ . Este aminoácido esencial está clasificado como no polar.

**MIEL DESHIDRATADA ENRIQUECIDA:** polvo higroscópico de color pardo rojizo y agradable sabor. Se puede obtener como un surtido en las plantas de levadura Torula.

**MIEL PROTEICA:** mezcla de carbohidratos y proteínas en proporciones que permita obtener un contenido de 15 a 16% de proteínas y entre 38 y 40% de materia seca. Es un líquido viscoso de apariencia similar a una miel intermedia de la fabricación de azúcar crudo.

**MASA COCIDA:** fluido que se forma cuando los cristales de azúcar formados llenan los tachos.

**MONOSACÁRIDO:** azúcares simples, son los glúcidos más sencillos, que no se hidrolizan, es decir, que no se descomponen para dar otros compuestos, conteniendo de tres a seis átomos de carbono. Su fórmula empírica es  $(CH_2O)_n$  donde  $n \geq 3$ . Se nombran haciendo referencia al número de carbonos (3-7), terminado en el sufijo osa.

**PIENSO:** alimento seco que se le suministra al ganado.

**PROTEÍNAS:** compuesto polimérico, de elevado peso molecular, integrado por una variedad de aminoácidos unidos entre sí por enlaces péptidos.

**SORVITOL:** El sorbitol es un polialcohol o alcohol polihidrico de azúcar descubierto por el francés Boussingault en 1872 en las bayas de serbal de cazadores o capudre (*Sorbus aucuparia* L.)

**SACAROSA:** glúcido que se obtiene de la caña de azúcar y de la remolacha  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Es un polvo cristalino de color blanco, soluble en agua. Está formado por glucosa y fructosa.

**SERINA:** es uno de los veinte aminoácido componentes de las proteínas codificado en el genoma.

**SUPLEMENTO ENERGÉTICO:** aquellos alimentos que se suministran no se agregan principalmente a la ración con el fin de incrementar el consumo energético o la densidad energética de la ración y para suministrar energía a los animales.

**TACHOS AL VACÍO:** evaporadores al vacío de simple efecto que sirven para cristalizar el azúcar de la meladura.

**UREA:** compuesto orgánico (diamida del ácido orgánico carbónico) presente en la sangre, que se elimina en notable cantidad por la orina (25-30 g/24 h). Es el producto final del catabolismo proteico.

**VITAMINAS:** compuestos heterogéneos imprescindibles para la vida, que al ingerirlos de forma equilibrada y en dosis esenciales promueven el correcto funcionamiento fisiológico. La mayoría de las vitaminas esenciales no pueden ser sintetizadas (elaboradas) por el organismo, por lo que éste no puede obtenerlas más que a través de la ingesta equilibrada de vitaminas contenidas en los alimentos naturales. Las vitaminas son nutrientes que junto a otros elementos nutricionales actúan como catalizadoras de todos los procesos fisiológicos (directa e indirectamente).

**ZAFRA:** época de recolección y cosecha de la caña de azúcar. Fabricación del azúcar de caña, y tiempo que dura.

## RESUMEN

El objetivo del proyecto, se basó en el desarrollo de un alimento, a base de melaza o miel final, destinado fundamentalmente para ganado bovino, la malaza, suministrada por el Ingenio “Pánuco” ubicado en el estado de Veracruz, se combinó con ingredientes proteicos y fibrosos no convencionales. En el curso de la investigación, se desarrolló inicialmente, varias mezclas exploratorias alimenticias y por ultimo dos alimentos balanceados, donde se formularon empleándose el método del cuadrado de *Pearson* modificado utilizando como propiedad nutritiva de estudio, la proteína cruda fijándose para esta última un valor de 12% PC. Para la formulación de los alimentos balanceados se empleó: melaza, óxido de calcio, pre-mezcla de vitaminas y minerales, cogollo de caña de azúcar, pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*) y el subproducto del hidrolizado en la producción de transglutaminasa. Las mezclas exploratorias alimenticias sirvieron para definir el tratamiento previo de alcalización con el óxido de calcio, así como afinar con mayor precisión la secuencia del proceso. Se determinó un análisis bromatológico y un análisis químico-cualitativo de la melaza, donde para el análisis bromatológico se usaron los métodos de acuerdo a las normas mexicanas y para el análisis químico-cualitativo de la melaza se utilizó las técnicas de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de *Fourier* (FT-IR) y Difracción de Rayos X. Por su parte, al cogollo de caña de azúcar se le analizó el contenido de proteína cruda (PC) y humedad según las normas AOAC 955.04 y AOAC 930.04, respectivamente. A los alimentos balanceados, se les realizó un análisis morfológico empleando las técnicas de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Microscopía Confocal de Barrido Láser (MCBL), un análisis químico-cualitativo mediante FT-IR y un análisis bromatológico básico (proteína, fibra, cenizas y humedad) de acuerdo a las normas mexicanas y de las AOAC. El contenido de PC resultante de los alimentos, es adecuado para la engorda de ganado bovino de carne en la etapa de finalización. De acuerdo al contenido de humedad es aceptable para su almacenamiento por largos periodos, en los análisis químicos-cualitativos y morfológicos indican que el alimento se homogenizó correctamente. Los resultados alcanzados evidencian la idoneidad del alimento desarrollado.

## ABSTRACT

The aim of the project, based on the development of a food, based on treacle or molasses, primarily intended for cattle, the molasses provided by “Panuco”, sugar factory located in the state of Veracruz, combined with ingredients unconventional protein and fibrous. In the course of the investigation, was initially developed, various food exploratory mixtures and finally two balanced feeds, which were made using the method of the square of Pearson modified using the property nutrient study, crude protein by looking for the latter a value of 12%. For feed formulation was used: molasses, calcium oxide, pre-mix of vitamins and minerals, sugar cane tops, grass maralfalfa (*Pennisetum* sp.) And the hydrolyzed by-product of the production of transglutaminase. Exploratory food mixes served to define the previous pretreatment of alkalizing with calcium oxide, and more accurately refine the process sequence. Was determined Bromatological analysis and qualitative-chemical analysis of molasses, where for bromatological analysis were methods used according to Mexican standards and the AOAC standars, and for qualitative-chemical analysis of molasses was used Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and X-ray Diffraction (XRD), techniques. For its part, the sugar cane tops was analyzed for crude protein (CP) and moisture according to AOAC 955.04 and AOAC 930.04 standards, respectively. The balanced food, was performed a morphological analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Confocal Laser Scanning Microscopy (CLSM) techniques, a qualitative-chemical analysis by FT-IR and basic bromatological analysis (protein, fiber , ash and moisture) according to Mexican standards and AOAC standars. The resulting PC content of foods is adequate for fattening beef cattle in the stage of completion. According to the moisture content is acceptable for storage for long periods, in chemical-qualitative and morphological analysis indicate that food is homogenized correctly. The results obtained demonstrate the suitability of the food developed.

**Keywords:** bromatological analysis, crude protein, maralfalfa grass, molasses, morphological analysis, sugar cane, transglutaminase.

## INTRODUCCIÓN

México, es el séptimo productor mundial de ganado con 2.25 millones de toneladas de carne de res (2008)<sup>1</sup>. Según las perspectivas, la producción de ganado bovino se mantiene igual pero últimamente está bajando la producción debido a afectaciones provocadas por la crisis económicas a nivel mundial, la sequía y el incesante alza de los precios en los alimentos como son: sorgo, maíz, alfalfa y zacate entre otros, que sirven para preparar las raciones alimenticias comunes o tradicionales.

En este contexto, vale señalar que diversas experiencias llevadas a cabo en diferentes partes del mundo han demostrado que la melaza es una rica fuente de minerales y vitaminas factible de ser utilizada para alimento animal. El objetivo del proyecto, por tanto, consistió en desarrollar un alimento melazado, balanceado y enriquecido, destinado fundamentalmente a la alimentación del ganado bovino en su etapa de finalización, a base de *meladura* (miel final C) combinado con una fuente de proteína a partir de insumos no convencionales.

Por otra parte, no es posible formular un análisis típico de la composición de la melaza, ya que la misma varía por varios factores, como son la variedad y madurez de la caña, las condiciones climáticas, las características del terreno, los procedimientos de la clarificación, por el proceso de la obtención de azúcar en cada ingenio. La miel contiene principalmente H<sub>2</sub>O y carbohidratos, el primero aparece en forma libre; el segundo, está constituido de sacarosa, fructosa y glucosa. La amplia gama de mieles tal y como sale de las centrífugas se encuentra entre los 85 a 92 °Brix y de 77 a 84% de sólidos por desecación. La sacarosa varía entre el 25 y 40% y por su parte los azúcares reductores (fructosa y glucosa) el 12 al 35%; por tanto, la sumatoria de todos los azúcares es 50% o mayor. Se encuentran además, los compuestos nitrogenados, ácidos orgánicos, aminoácidos, proteínas, vitaminas, ceras, esteroides, lípidos, fenoles, reductores no fermentables, ácidos no-nitrogenados, compuestos materias colorantes y sales minerales.

-----  
<sup>1</sup> Financiera Rural, (Mayo-2009), "Monografía Ganado bovino"  
<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/MONOGRAFIA%20POLLO%202009.pdf>

El sector ganadero o pecuario, al que está destinado este proyecto, es de suma importancia ya que dicho sector representa una de las principales actividades económicas del país y generador de empleos. En el sector primario, que comprende a su vez, los sectores agropecuario, silvicultor, caza, pesca, y agricultura, se genera un 3.99% promedio del PIB total nacional (del 2º trimestre del año 2009) que es la tercera parte del PIB y del sector primario el sector ganadero o pecuario genera un 30.83% del PIB total del sector primario<sup>2</sup>.

Los alimentos balanceados de buena calidad tienen un costo relativamente elevado ya que los ingredientes que los conforman, como es el caso de la pasta de soya, harina de carne y harina de pescado entre otros, últimamente se han encarecido conllevando a que la proteína contenida en estos últimos sea costosa. A todo esto se le suma el hecho de que los pastos, de que se alimentan naturalmente los bovinos, escasean en épocas de sequía y que otros ingredientes que se usan para suplementar las dietas diarias como el sorgo, el maíz, pulido de arroz, etc. tienen igualmente precios elevados y compiten con la alimentación humana. Por tanto, se impone la toma de decisiones en el necesario desarrollo de alimentos económicamente balanceados que no compitan con la alimentación humana, utilizando para ello ingredientes no convencionales a partir de subproductos agroindustriales, pastos no comunes y residuos agrícolas, como los que se utilizaron en este proyecto.

Diversas experiencias llevadas a cabo en otras partes del mundo han demostrado que la melaza es una rica fuente de minerales y vitaminas factible de ser utilizada eficientemente como alimento animal. El objetivo del proyecto, por tanto, se enfocó al desarrollo de un alimento balanceado y enriquecido, destinado fundamentalmente a la alimentación del ganado bovino en su etapa de finalización, a base de *meladura* (miel final) combinado con una fuente de proteína aportada por ingredientes no convencionales

-----  
<sup>2</sup> Datos obtenidos de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA, datos en línea en: [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/IndMacroeconomicos/prointbto.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/IndMacroeconomicos/prointbto.pdf)

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1 LA CAÑA DE AZÚCAR

La Caña de Azúcar es una gramínea tropical perenne, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz. Tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm. de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; el tallo acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis con hojas que llegan a alcanzar de 2 a 4 metros de longitud. En su parte superior encontramos la punta de caña o cogollo, que mide unos 30 cm. de largo<sup>3</sup>. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) se cultiva mucho en los trópicos para producción de azúcar. Al cabo de unos 18 meses de plantada, o después de la anterior cosecha, la caña de azúcar se vuelve rígida y de color amarillo pálido. Es ese momento, el de la cosecha. En general, el cañaveral se quema antes de la cosecha, con objeto de defoliar las cañas y facilitar las operaciones de recolección; sin embargo, en los países de clima seco, no se recomienda quemar la caña, ya que las hojas que quedan en el campo mejoran la retención de humedad del suelo, además del valor que representan como materia prima para co-productos de valor agregado<sup>4</sup>, además del impacto negativo que ejerce esa quema sobre el medio ambiente.

En México, la caña llegó con la conquista instalándose las primeras industrias azucareras en las zonas cálidas del país como parte de la colonización<sup>5</sup> siendo uno de los principales cultivos agrícolas, con presencia en más de 15 regiones cañeras distribuidas en la costa del Pacífico, Área Central, Golfo de México y Área Caribeña en la Península de Yucatán. De la caña de azúcar dependen 165,000 productores y 54 ingenios azucareros que procesan por encima de 48.3 millones de ton de caña

-----  
<sup>3</sup> SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA, "Caña de azúcar", <http://www.siap.gob.mx>

<sup>4</sup> *Animal feed from local products and by-products in the British Caribbean*. (1970). Roma, AGA/Misc/70/25.

<sup>5</sup> CENTRO DE ESTUDIOS PARA LA TRANSICIÓN DEMOCRÁTICA, A.C. (1999) "Cultivo e industrialización de la caña de azúcar en México", Revista Transición, Debate y Propuesta en Veracruz, Xalapa, México, Vol. 2, No. 21

para una producción de 5.4 millones de toneladas de azúcar, suficiente para el consumo nacional que es de 5 millones de toneladas. Durante la pasada zafra 2009-2010 que concluyó el 10 de julio, el rendimiento de la caña en campo fue de 70.7 ton/Ha; en México, el consumo de azúcar por habitante es de 44 kilogramos anualmente. La producción de azúcar en México se ubicó en 4,8 millones de toneladas al cierre de la zafra antes mencionada<sup>6</sup>.

**1.1.1 Importancia estratégica de la caña de azúcar en México.** La utilización integral de la caña está vinculada a tres fenómenos generales que acaparan la atención de la humanidad; estos son: los alimentos, la energía y el medio ambiente, los que, a la vez, constituyen los escenarios de las principales preocupaciones con las que se ha entrado en el tercer milenio. De la caña, es posible obtener energía convencional y alimentos en una forma conciliable<sup>7</sup>, mientras que de los sub-productos y residuales industriales también se logra energía y alimento evitándose al mismo tiempo la degradación del medio ambiente. Actuando con inteligencia y elevado sentido de responsabilidad, las acciones de este trío de factores como respuesta a las dificultades del mercado internacional y las tendencias desfavorables de los precios pueden ser armonizadas y lograrse respuestas satisfactorias para el hombre y su medio<sup>8</sup>. Los productores de caña de azúcar tienen que enfrentar el reto de diversificar y a la vez, tienen una indiscutible ventaja, al contar con una materia óptima, renovable, creadora de compuestos químicos básicos, de un rendimiento por hectárea no igualado por otra planta. La capacidad de conversión de la energía, cinco veces superiores a la empleada en producirla, unido a las posibilidades que ofrece su mejoramiento genético, hacen de la caña de azúcar la materia prima ideal para las exigencias de este nuevo siglo. Por otra parte, la diversificación a partir de la caña de azúcar ofrece al empresario importantes ventajas que van desde una materia prima renovable, altos rendimientos en biomasa, compatibilidad con

-----  
<sup>6</sup> México-Azúcar, "Producción de azúcar en México retrocede 2,8% en zafra 2009-2010". En: MXNOTICIAS, Periódico virtual. México, (19 de julio de 2010). Disponible en línea en: [http://www.mxnoticias.com/189\\_mexico/775624\\_produccion-de-azucar-en-mexico-retrocede-2-8-en-zafra-2009-2010.html](http://www.mxnoticias.com/189_mexico/775624_produccion-de-azucar-en-mexico-retrocede-2-8-en-zafra-2009-2010.html).

<sup>7</sup> Lois, J. (2009). Caña de azúcar y co-productos. Memorias XXXII Convención de la ATAM, Córdoba, Agosto, Veracruz.

<sup>8</sup> ICIDCA, (2000), Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. Imprenta MINAZ, Habana, Cuba, CDU: 664.11, p. 3.

el medio ambiente, un importante número de alternativas productivas a seleccionar y una menor dependencia de la comercialización de un solo producto<sup>9</sup>.

**1.1.2 La caña de azúcar como productora de biomasa.** La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En ese sentido, la caña de azúcar posibilita: la obtención de combustible y energía renovables incrementando su valor agregado a partir de<sup>10</sup>:

- **Residuos Agrícolas de la Cosecha (RAC) y el Bagazo:** generación de energía eléctrica y/o combustible sólido.
- **Cachaza:** como fuente para la producción de biogás y fertilizantes.
- **Alcohol:** de las mieles finales y/o jugos. Biogás y fertilizantes a partir de los mostos o vinazas.

La caña es uno de los mejores productores de biomasa y el mejor acumulador de azúcar y fibra por su alta capacidad fotosintética<sup>11</sup>. En campos con un rendimiento de 70 ton de caña/ Ha, la cantidad de biomasa obtenida representa el equivalente a ocho toneladas de petróleo<sup>12</sup>

La biomasa en la caña de azúcar se distribuye entre el tallo verde (75%) y los residuos agrícolas cañeros, en estos últimos se incluye el cogollo (parte superior de la planta 30%), hojas secas (30%) y hojas verdes (40%) y su rendimiento en Cuba alcanza las  $60 \frac{t}{ha \cdot año}$ <sup>13</sup>. Por lo tanto las potencialidades de la agroindustria cañera debido a la biomasa de la caña de azúcar son<sup>14</sup>:

-----  
<sup>9</sup> Reyes García, M. (29 de sept. 2009). "Buenos tiempos para la caña de azúcar". *El Economista*, Agro-negocios.

<sup>10</sup> Ingeniería Civil, Construcción y el Medio Ambiente, "Biomasa", [http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E\\_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp#Introducción](http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp#Introducción)

<sup>11</sup> Cabello Balbín, A., (2002). *Los Sistemas Agroalimentarios Actuales y la Caña de Azúcar: Un Análisis Comparativo*. ICIDCA. La Habana Cuba, p. 70. ISBN: 959-7165-03-1.

<sup>12</sup> Valdés, A. (2005) Obtención de energía a partir de la biomasa de la caña de azúcar. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA (2º Seminario: ciudad de Montevideo). Ponencias del II Seminario Iberoamericano de Energía. Ciudad de Montevideo. LATU.

<sup>13</sup> Curbelo, Alfredo; GAREA, Bárbara y VALDES, Antonio. (1995) Generación de electricidad a partir de bagazo en Cuba. En: REUNIÓN REGIONAL SOBRE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOMASA. En: FAO, Depósitos de documentos de la FAO.

<sup>14</sup> González, Carlos. Energía Renovable, Biocombustibles y Caña de Azúcar en Cuba. En: SEMINARIO LATINOAMERICANO Y CARIBEÑO DE BIOCMBUSTIBLES OLADE –IICA –FAO (5º Seminario, 2010: ciudad de Santiago). Ponencias del 5º Seminario Latinoamericano y Caribeño de Biocombustibles OLADE –IICA –FAO. Ciudad de Santiago, 2010.

- Por su potencial energético y distribución territorial, representa la mayor contribución a la generación eléctrica renovable.
- La co-generación de excedentes para venta a la red nacional de electricidad constituye una alta prioridad.

**1.1.3 Composición física de la caña de azúcar.** Las partes principales de la planta de caña de azúcar son los tallos, hojas y las raíces<sup>15</sup>. El porcentaje de cada una de las partes de la caña se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Composición física de la caña de azúcar<sup>16</sup>.

Partes	%
Tallos molederos	71.80
Cogollo	12.58
Hojas y otros	8.70
Tallos no desarrollados	6.92

**1.1.4 Composición química de la caña de azúcar.** La naturaleza química de la caña de azúcar presenta características que están representadas por el gran contenido de azúcares solubles, específicamente sacarosa y por la presencia en cantidades considerables de azúcares insolubles de origen estructural especialmente celulosa, hemicelulosa y lignina. Hay que hacer notar el bajo nivel de materia seca al compararlo con los cereales, sin embargo, la superioridad que tiene la caña frente a los cereales en cuanto a rendimiento hace que este bajo nivel de materia seca no se convierta en una limitante para ser incluido en la alimentación animal<sup>17</sup>. En la tabla 2, se presenta la composición química general de la caña de azúcar.

**1.1.5 Ventajas de la caña de azúcar para la producción animal.** Entre todos los cultivos tropicales que permiten integrar la producción agrícola con la ganadería, sobresale la caña de azúcar, no solo por el alto rendimiento si se compara con

<sup>15</sup> Miller, J. D. y Gilbert R. A. (2009). *Sugarcane Botany: A Brief View*. Series de publicaciones en línea del Agronomy Department, Florida Cooperative, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Serie SS-AGR-234. p. 1.

<sup>16</sup> Subirós Ruiz, F. (2008) El cultivo de la caña de azúcar. En: Chaves Solera, M. "Uso de la caña de azúcar como forraje", *Revista especializada Ventana Lechera*, San José, Costa Rica, CEBS, Diciembre, Ed. No. 10, Año: 3, pp. 45-51.

<sup>17</sup> González, B.D., "La Caña de Azúcar en la Alimentación de Cerdos", artículo virtual del portal web, Sistema de Información Agrícola Nacional, en Producción Alternativa de Cerdos, tomado de la "Expoferia porcina 2002", celebrado en Venezuela, p. 3.

Tabla 2. Composición química general de la caña de azúcar entera<sup>18</sup>.

Nutriente	% materia seca (MS)
Materia Seca	29
Proteína Cruda (N X 6.25)	2*
Hemicelulosa	20*
Celulosa	27*
Lignina	7*
Azúcares Solubles	40*
Cenizas	5*

\* Porcentajes basados al 29% de materia seca de la caña de azúcar.

los cereales u otros cultivos, (Tabla 3), sino también por la posibilidad de diversificar su uso como fuente de alimento para el hombre y para diferentes especies de animales, como energía renovable y como fuente de materia prima o sustratos para la industria de derivados<sup>19</sup>. Esto posibilita al pequeño y mediano productor organizar la producción de alimentos para los cerdos (jugo de caña) con independencia de la industria azucarera y suministrarlos diariamente sin complejos mecanismos de conservación<sup>19</sup>.

Por otra parte, a causa de su elevado contenido de azúcar y gran rendimiento, la caña de azúcar, en muchas partes del mundo, no tiene igual en cuanto a la producción de calorías por hectárea como lo demuestra la Tabla 3. La caña de azúcar entera puede suministrarse fresca a los bovinos como alimento de emergencia; pero, debido a su corteza dura y fibrosa, es mejor picarla en un picador de ensilaje. La caña de azúcar contiene muy poca proteína asimilable y, por consiguiente, tiene que suplementarse con un concentrado proteico. Por otra parte, la caña de azúcar puede proveer un valioso forraje para la temporada seca. Es preferible que la caña de azúcar se establezca en una zona compacta (aproximadamente 1 ha por cada 30 cabezas de bovino adulto), y que se consuma por entero cada año, ya que la masa completa se reemplaza cada 7-10 años<sup>19</sup>.

**1.1.6 Subproductos de la caña de azúcar.** Los problemas que generan los bajos precios en el azúcar en los mercados internacionales han obligado a buscar soluciones tanto en la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar,

<sup>18</sup> Ibid., p. 4.

<sup>19</sup> *Animal feed from local products and by-products in the British Caribbean.* (1970) Roma, AGA/Misc/70/25

Tabla 3. Producción Comparativa de Biomasa

	Rendimiento Mundial (ha/año)	
	Ton MS*	MJ
<b>Caña de azúcar</b>	18	189
<b>Miel rica de caña</b>	9	135
<b>Batata (raíz)</b>	4.2	57
<b>Yuca (raíz)</b>	3.5	49
<b>Maíz (grano)</b>	3.2	51

\* MS = Materias seca.

produciendo subproductos y derivados, así como en la diversificación del cultivo; es decir, programas de intercalación de cultivos con la caña, lo que resulta en rentabilidad del uso del suelo<sup>20</sup>.

El bagazo, la melaza o miel final, la torta de filtro o cachaza, las cenizas de las calderas, los Residuos Agrícolas Cañeros RAC (paja y cogollo), los gases de combustión, y las aguas residuales, son los sub-productos colaterales de la producción azucarera. Así mismo, se denominan co-productos de la caña de azúcar a aquellos que se obtienen industrialmente a partir de los subproductos de la agroindustria cañera. De ellos, el bagazo, la cachaza y la miel final son los de mayor importancia en la alimentación del ganado<sup>21</sup>.

**1.1.6.1 Bagazo de caña.** Residuo fibroso que queda después de la molienda de caña de azúcar. Está formado por un conjunto de partículas de diferentes tamaños cuyo promedio oscila alrededor de 2 a 2.5 mm, el resto consta de sólidos solubles e insolubles. Es utilizado normalmente como combustible en las calderas que le dan energía a los ingenios<sup>22</sup>. En la figura 1 se presentan los subproductos de la industria azucarera así como los derivados de los subproductos.

<sup>20</sup> Colegio de Postgraduados. (Noviembre 2003), Fundación Produce de Veracruz, A.C., "Azúcar", Sistema nacional de investigación y transferencia de tecnología para el desarrollo sustentable (SNITT), artículo en línea, pág. 43.

<sup>21</sup> *Ibíd.*, p. 43.

<sup>22</sup> Leeson, S. y Summers, J., (2000). *Nutrición aviar comercial*. En: FAJARDO CASTILLO, Erika Esperanza y SARMIENTO FORERO, Sandra Constanza. Evaluación de la Melaza de Caña como Sustrato para la Producción de *Saccharomyces cerevisiae*. Bogotá, 2007, 120 p. Trabajo de grado (Microbiólogo Industrial): Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas. Área de Microbiología Industrial.

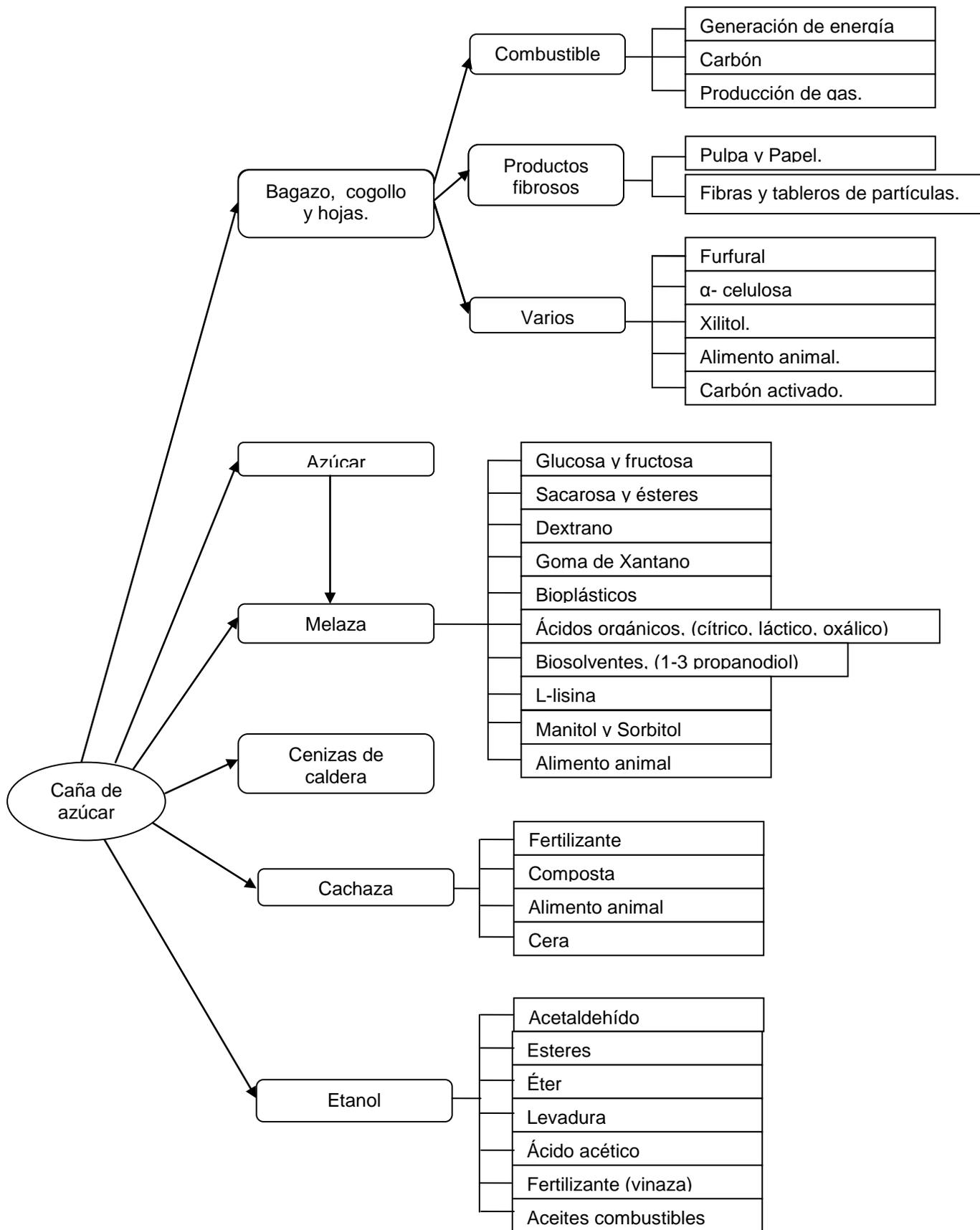


Figura 1. Co-productos de la industria de la caña de azúcar<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Verde, Regis. *Better sugar; better business mill issues and co-products*. TALLER DE LA WWF. (Taller: 2005, Londres) Taller de la WWF. Londres. UNICAMP. 2005.

**1.1.6.2 Mieles.** La miel o también llamada *melaza*, es un líquido denso y viscoso de color oscuro, es producto final de la fabricación o refinación de la sacarosa procedente de la caña de azúcar<sup>24</sup>.

**1.1.6.3. Cachaza.** Residuo que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña durante la fabricación de la azúcar. Es un material rico en fósforo, calcio, nitrógeno y materia orgánica. Se usa principalmente como abono, ya que mejora algunas propiedades físicas y ácidas del suelo, aunque también se emplea en alimentación de ganado vacuno y en la obtención de ceras y aceites<sup>24</sup>.

## 1.2 COGOLLO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)

Es la parte superior de la caña de azúcar, junto con la mayor parte de las hojas verdes, vegetativamente es la parte más joven, su alto contenido de fibras, almidones y monosacáridos la hace indeseable a los efectos de la producción azucarera y por esta razón se separa del tallo durante el proceso de cosecha<sup>25</sup>.

En la tabla 4 se muestra la composición del cogollo de caña verde comparada con el NAPIER, gramínea forrajera que se cultiva en las zonas tropicales:

Tabla 4. Composición bromatológica comparativa del cogollo de caña y la hierba NAPIER<sup>26</sup>.

	Materia Seca (%)	Proteína (% M.S.)	Fibra (% M.S.)	Ceras (% M.S.)	Cenizas (% M.S.)	Carbohidratos (% M.S.)
<b>Cogollo Fresco</b>	20-25	5.4	34.5	1.0	5.9	53.2
<b>Napier (<i>Pennisetum purpureum</i>)</b>	18-20	6.9	32.1	2.1	11.1	47.8

<sup>24</sup> Leeson, S. y Summers, J., (2000). *Nutrición aviar comercial*. En: FAJARDO CASTILLO, Erika Esperanza y SARMIENTO FORERO, Sandra Constanza. Óp. Cit., p. 22-23.

<sup>25</sup> Almazán, O., (Mayo-Diciembre 1977). "Los subproductos de la industria azucarera como fuente de alimentación animal en el trópico", *Revista ICIDCA*. ICIDCA. La Habana, Cuba. Vol. 11, Nos. 2-3, pp. 32-54.

<sup>26</sup> *Ibíd.*, p. 39.

La morfología del cogollo es bastante variable en dependencia de la variedad de la caña cosechada. Estudios morfológicos realizados en Cuba y otros países con diferentes variedades han permitido establecer rangos de valores para su componente fibroso como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Morfología fibrosa del cogollo de caña<sup>27</sup>.

	Min. (mm)	Max. (mm)
<b>Fibra entera.</b>	1.4	2.5
<b>Fibra rota.</b>	0.8	1.1
<b>Elementos no-fibrosos</b>	0.19	0.22
<b>Diámetro equivalente de fibras</b>	0.019	0.023

En la tabla 6, se exponen datos de la composición del cogollo y del tallo, correspondientes a la variedad B-4362, a los 20 meses de edad con respecto a su contenido de azúcares y °Brix.

Tabla 6. Composición comparativa del contenido de los jugos<sup>28</sup>.

	Jugo de Cogollo	Jugo de Caña
<b>°Brix (%)</b>	9.55	18.20
<b>Pol<sup>a</sup> (%)</b>	1.13	15.38
<b>No. Pol (reductores)<sup>b</sup> (%)</b>	8.46	3.85
<b>Pureza (%)</b>	11.66	88.16

<sup>a</sup> Sacarosa

<sup>b</sup> Fructosa y glucosa

Como se puede observar, al contrario de la Pol y el °Brix, los valores de los azúcares reductores aumentan, proporcionalmente, con la longitud de la planta, razón por la cual se estima que dentro de una concentración dada, a cada tramo de su longitud, los azúcares totales pudieran permanecer constantes<sup>28</sup>.

El alto porcentaje de cogollo y caña limpia de los residuos agrícolas le confiere un potencial energético de alto valor cuando se considera como fuente de alimento animal, presentando características nutricionales muy similares a las de las plantas forrajeras<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> Costales Sotelo, R. y Lois Correa, J. (2000). *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar*. 3<sup>o</sup> Edición. ICIDCA, Ciudad de La Habana, p. 62.

<sup>28</sup> Padilla Méndez, J. A. y Lois Correa, J. (1986). *La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar*. Editorial Científico-Técnica, ICIDCA, Ciudad de La Habana, p. 132.

<sup>29</sup> Costales Sotelo, R. y Lois Correa, J. Óp. Cit., p. 1.

### 1.3 MIEL FINAL

La miel o melaza final o residual es el subproducto (o producto final) ya sea de la fabricación o de la refinación del azúcar crudo; es el líquido denso o viscoso que se separa de la masa cocida final de bajo grado a partir del que no es posible cristalizar azúcar adicional mediante los métodos corrientes. Se describe por lo general como no comestible porque no se usa para consumo humano<sup>30</sup>. Cuando se emplea la palabra melaza sin especificación, se suele referir a la melaza residual<sup>31</sup>. Las mieles (o *melaza de caña de azúcar*) por tanto, son el licor madre final, resultante de la cristalización final del azúcar a partir de varias materias primas, (entre ellas la caña de azúcar), y de las cuales, a escala comercial, no puede ser extraída económicamente más sacarosa por métodos convencionales. La melaza es considerada como uno de los principales sub-productos del proceso industrial azucarero<sup>32</sup>. Físicamente, la melaza es un fluido de color oscuro con una gravedad específica de 1.4 como promedio. Su viscosidad varía de acuerdo con la composición, concentración y temperatura y su pH es de alrededor de 6.0. La melaza tiene un dulce sabor debido a su contenido de azúcares<sup>33</sup>.

No es posible formular un análisis típico de la composición de la melaza, debido a que su composición varía por varios factores, como son la variedad y madurez de la caña, las condiciones climáticas y del terreno, el grado de la molienda, los procedimientos de la clarificación y otros factores y también, por el proceso de la obtención de azúcar en cada ingenio; pero ciertas cifras generales revisten interés. La amplia gama de mieles tal y como provienen de las centrífugas sería de 85 a 92 °Brix o alrededor de 77 a 84% de sólidos por desecación. La sacarosa varía entre 25 y 40% y los azúcares reductores de 35 a 12%<sup>34</sup>.

**1.3.1 Clasificación de la miel final.** Existen diversas clasificaciones, que se determinan tanto mediante los azúcares totales como por el contenido de humedad.

-----  
<sup>30</sup> Chen, J., (1991). *Manual del azúcar de caña*, LIMUSA, México D.F., p. 465. ISBN: 968-18-3662-6.

<sup>31</sup> FAO, "Melaza", <http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/554.HTM>

<sup>32</sup> Manohar Rao, P. J., (1997), *Industrial Utilization of Sugar Cane and its Co-products*, ISPCK Publishers and Distributors, Delhi, India, p. 232, ISBN: 81-7525-017-8.

<sup>33</sup> *Ibid.*, p. 240.

<sup>34</sup> CHEN, Op. Cit., p. 472.

A continuación se muestran varios ejemplos<sup>35</sup>:

- *Miel final superior*: Se trata de miel de caña que contiene 23.4% o menos de agua y 53.5% o más, de azúcares totales.
- *Miel final*: Contiene entre 23.5 y 26.4% de agua y entre 48.5 y 53.4% de azúcares totales.
- *Miel final corriente*: Contiene 26.5% o más agua y 42.5 a 48.4% de azúcares totales.

*Crochet*<sup>36</sup> sugiere que el °Brix sea el único criterio. Recomienda tres grados de miel de caña (en los informes, las mezclas de los insolubles de destilación, los concentrados de cítricos, etc., deben considerarse como tales).

- ***Miel final***: producto de la fabricación o refinación de la caña de azúcar; °Brix, diluida con un peso igual de agua, 42.5 (es decir, 85 °Brix)<sup>36</sup>.
- ***Miel de caña de alimentos***: miel final reducida con agua hasta una proporción no menor de 39.75 °Brix por el método de la doble dilución (una norma de la AAFCO, excepto que no especifica el contenido de los azúcares totales)<sup>36</sup>.
- ***Mieles de alta pureza o siropes invertidos***: producto que se obtiene concentrando jugo clarificado hasta aproximadamente 85 °Brix, invertido ya sea con ácido o invertasa, °Brix por doble dilución no menor de 40 (es decir, 80 °Brix)<sup>36</sup>.

**1.3.2 Otras clasificaciones de la miel final.** La melaza de caña para alimento es melaza residual diluida en agua hasta un °Brix normal de 79.5. El peso específico de para ganado la melaza se indica por el valor en °Brix. A 79.5 °Brix, la melaza pesa 1,39 kg por litro. La melaza residual sin diluir se sitúa, generalmente, entre 80-90 °Brix. La melaza integral, o melaza sin clarificar, se prepara mediante la inversión

-----  
<sup>35</sup> *Ibíd.*, p. 466.

<sup>36</sup> *Sugar Journal*. En: CHEN, James (1991), *Manual del Azúcar de Caña*, Limusa, México D.F., p. 468, ISBN-968-18-3662-6

parcial del jugo de caña de azúcar para evitar la cristalización de la sacarosa, concentrándolo hasta 80-85 °Brix<sup>37</sup>.

La melaza de gran calidad, o melaza clarificada, es igual que la melaza integral, pero está hecha de jugo de caña de azúcar clarificado por encalado y filtración para eliminar las impurezas. La sacarosa del jugo de caña de azúcar se invierte, lo que produce azúcares reductores por la acción del ácido sulfúrico o de la invertasa de la levadura<sup>37</sup>.

El azúcar sólo se extrae parcialmente de las melazas A y B. La melaza de refinería es el subproducto de la refinación del azúcar bruto para obtener azúcar blanco. Las cantidades producidas son bastante pequeñas<sup>37</sup>.

**1.3.3 Obtención de la miel final.** Primeramente, se comienza con la extracción del jugo mediante la molienda de la caña de azúcar entre pesados rodillos o mazas constituyendo la primera etapa del procesamiento del azúcar crudo. La caña se prepara para la molienda mediante cuchillas giratorias que cortan los tallos en trozos pequeños, seguida de molinos de martillos llamados desfibradoras, que desmenuzan la caña pero no extraen el jugo, o bien en, en forma más general, por una combinación de dos o tres de esos métodos. A su vez, el molino o trapiche consta de unidades múltiples que utilizan combinaciones de tres rodillos, a través de los cuales pasan sucesivamente la caña exprimida o bagazo. Para ayudar a la extracción del jugo (guarapo) se aplican aspersiones de agua o guarapo diluido sobre la capa de bagazo según sale de cada unidad de molienda; lo anterior contribuye a extraer por lixiviación el azúcar<sup>38</sup>.

El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, fibra leñosa y un promedio de 45 a un 55% de agua. Este material pasa por lo general a las calderas como combustible<sup>39</sup>.

-----  
<sup>37</sup> FAO, "Melaza", <http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/554.HTM>.

<sup>38</sup> CHEN, Óp. Cit., p. 73.

<sup>39</sup> Ibíd., p. 73-75.

*Clarificación.* El jugo color verde oscuro procedente de los trapiches es ácido y turbio. El proceso de clarificación (o defecación), diseñado para mover las impurezas tanto solubles como insolubles, emplea en forma universal cal y calor y agentes clarificantes,- la lechada de cal- formando sales insolubles de calcio, en su mayor parte fosfato de calcio. El calentamiento de guarapo alcalizado hasta el punto de ebullición o ligeramente arriba coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas; el precipitado, así formado, atrapa los sólidos en suspensión al igual que las partículas más finas. Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en tambores rotativos de filtración. El jugo clarificado regresa al proceso o pasa directamente al jugo clarificado y la torta de la prensa, conocida como *cachaza* es desechada o se emplea en los campos como fertilizante. El jugo clarificado transparente y de un color parduzco pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional<sup>40</sup>.

*Evaporación.* El jugo clarificado, contiene aproximadamente 85% de agua. Dos terceras partes de esta agua se eliminan en evaporadores al vacío de múltiple efecto, dispuestos en serie, de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un grado más alto de vacío y, por consiguiente, hierve a una temperatura más baja<sup>47</sup>. Los vapores de un cuerpo hacen hervir de esta manera el jugo contenido en el siguiente cuerpo. Mediante este sistema, el vapor introducido en el primer cuerpo efectúa una evaporación de múltiple efecto. El vapor del cuerpo final pasa a un condensador. En el diagrama de la figura 3 se muestra un cuádruple efecto en el cual el vapor elimina cuatro veces su peso en agua. El jarabe (conocido como *meladura* en Latinoamérica) sale en forma continua del último cuerpo con aproximadamente 65% de sólidos y 35% de agua<sup>40</sup>.

*Cristalización.* La cristalización tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto, donde el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar. En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar, y se va añadiendo más jarabe según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho, y los cristales y el jarabe formen una masa

-----  
<sup>40</sup> *Ibíd.*, p. 75.

densa, conocida como *masa cocida* (llamada también *fill mass* en algunas ramas de la industria). La *templa* (el contenido del tacho) se descarga por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristalizador<sup>40</sup>.

*Centrifugación o purga.* La maza cocida proveniente del mezclador o del cristalizador se lleva máquinas giratorias llamadas centrífugas. El tambor cilíndrico suspendido de un eje tiene paredes laterales perforadoras forradas en el interior con tela metálica; entre ésta y las paredes, hay láminas metálicas que contienen entre 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El tambor gira a velocidades que oscilan entre 1000 y 1800 rpm. El revestimiento perforado contiene los cristales de azúcar que pueden lavarse con agua si se desea<sup>41</sup>.

El licor madre, la miel, pasa a través del revestimiento debido a la fuerza centrífuga ejercida (de 500 hasta 1800 veces la fuerza de la gravedad), y después de que el azúcar es *purgado*, se *corta*, dejando la centrífuga lista para recibir otra carga de masa cocida. Las máquinas modernas son exclusivamente del tipo de alta velocidad (o de una alta fuerza de gravedad) provistas de control automático para todo ciclo. Los azúcares de un grado pueden purgarse utilizando centrífugas continuas<sup>41</sup>.

En el sistema de tres cristalizaciones, la primera ebullición del jarabe crudo produce azúcar cruda y miel *A*, mismas que se regresan al tacho al vacío para que vuelvan a hervir a un *pie* de masa cocida de primer grado y se forme una segunda masa cocida (*B*), la que a su vez produce una segunda carga de cristales. El azúcar *B* se mezcla con el azúcar *A* para constituir la producción comercial del ingenio<sup>41</sup>.

La miel *B*, o de segunda, tiene una pureza mucho más baja y a su vez se vuelve a hervir sobre un *pie* de cristales de jarabe para formar una masa cocida de grado bajo o *C*. Estas masas cocidas de bajo grado permanecen durante varios días en los cristalizadores, donde se enfrían y se mantienen en movimiento por medio de brazos agitadores. El azúcar *C* se mezcla con el jarabe y se utiliza como semilla para las masas cocidas *A* y *B*. Las *mieles* o *melazas finales* o *residuales*, un material denso y

-----  
<sup>40</sup> *Ibíd.*, p. 75.

<sup>41</sup> *Ibíd.*, p. 76.

viscoso que contiene aproximadamente una tercera parte de sacarosa, una quinta parte de azúcares reductores y el resto ceniza, compuestos orgánicos no azúcares y agua, sirve como base para alimentación del ganado, fabricación de alcohol industrial, producción de levadura y para otros usos diversos<sup>41</sup>.

**1.3.5 Composición de la miel final.** Las mieles no son un líquido homogéneo o una solución verdadera de azúcar, contienen, siempre, compuestos, en suspensión, de composición variable, constituyentes que se originan en las operaciones de fabricación de azúcar. La complicada composición de las mieles obliga a realizar su estudio en forma sistemática<sup>42</sup>. En la tabla 8 se muestra la composición química de la melaza final.

**1.3.5.1 Azúcares.** Los principales azúcares que se encuentran en las mieles finales son sacarosa, glucosa y fructosa, las dos últimas constituyen la porción principal de los “azúcares reductores” que se mencionan en los análisis. Se ha reportado la presencia de algunos azúcares raros en cantidades minúsculas, tales como la manosa y psicosa<sup>43</sup>.

En el Cuadro 1 se muestran los promedios en porcentaje, de los azúcares en las diferentes clases de melazas. Las cifras varían mucho según la fábrica.

Cuadro 1. Contenido de azúcares en diferentes melazas<sup>44</sup>.

	Sacarosa	Azúcares Totales	Azúcares Reductores
<b>Jugo de caña deshidratado</b>	90	75	25
<b>Melaza A</b>	68	60	40
<b>Melaza B</b>	57	50	50
<b>Melaza final</b>	47	40	60
<b>Melaza de gran calidad</b>	78	30	70
<b>Azúcar bruto</b>	99	98	1

**1.3.5.2 Cenizas.** En general, la composición de la ceniza es cualitativamente semejante a la del jugo a partir del que se ha obtenido la miel. Normalmente, la

-----  
<sup>41</sup> *Ibíd.*, p. 76.

<sup>42</sup> Serrano, P.; Biart, J. R. y Conde, J. (1986). *La industria de los derivados de la caña de azúcar*. Editorial Científico-Técnica, ciudad de La Habana. p. 148.

<sup>43</sup> CHEN, Óp. Cit., p. 472.

<sup>44</sup> FAO, “Melaza”, <http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/554.HTM>

ceniza en las mieles finales muestra un valor mayor del 10 al 11%, pero 12 a 15% es un valor bastante común<sup>45</sup>.

Tabla 7. Composición porcentual aproximada en peso de la miel de caña<sup>46</sup>.

Constituyentes principales	Componentes	Límites normales de los porcentajes	
Agua		17-25	
Azúcares	Sacarosa	30-40	
	Glucosa (dextrosa)	4-9	
	Fructosa (levulosa)	5-12	
	Otras sustancias reductoras (como invertidos)	1-4	
	Total de sustancias reductoras (como invertidos)	10-25	
Otros carbohidratos	Gomas, almidón, pentosas, también trazas de hexitoles, D-manitol y ácidos urónicos (Meo, 2.0-3.0)		
Ceniza	Como carbonatos	7-15	
		Por ciento de ceniza	
	Bases: K <sub>2</sub> O	30-50	
	CaO	7-15	
		2-14	
	MgO		
	Na <sub>2</sub> O	0.3-9	
	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fe)	0.4-2.7	
	Ácidos: SO <sub>3</sub>	7-27	
	Cl	12-20	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5-2.5	
	SiO <sub>2</sub> e insolubles	1-7	
Compuestos Nitrogenados	“Proteína cruda” (como N x 6.25)	2.5-4.5	
	Proteína verdadera	0.5-1.5	
	Aminoácidos, principalmente, ácidos aspártico y glutámico, incluso alguna pirrolidina del ácido carboxílico	0.3-0.5	
Ácidos no nitrogenados	Compuestos nitrogenados sin identificar	1.5-3.0	
	Ácido aconítico (1 a 5%), cítrico, málico, oxálico, glicólico, mesa cónico, succínico, Fumárico, tartárico	1.5-6.0	
		0.5-1.5	
Cera, esteroides y fosfátidos		0.1-1.0	
Vitaminas	Vitamina A, biotina, niacina, ácido pantoténico, riboflavina, tiamina	Cantidades variables	

<sup>45</sup> CHEN, Óp. Cit., p. 472.

<sup>46</sup> Ibíd., p. 473.

**1.3.5.3 Compuestos nitrogenados.** El nitrógeno total en las mieles varía de 0,4 a 1.5%, y basándose en estas cifras se calcula frecuentemente la “proteína cruda” como  $N \times 6.3$ , es decir, 2.5 a 9.0%. La proteína digerible puede tener un valor igual a la mitad o menos de la proteína cruda, un punto que reviste importancia en las mieles utilizadas para la alimentación. *Bikley y Wolfrom* citan a los ácidos aspártico y glutámico junto la aspargina entre los aminoácidos y las amidas que se encuentran en las mieles<sup>47</sup>.

Entre otros compuestos nitrogenados identificados en este grupo, se encuentran la lisina, la alanina y algunas purinas. Dichos constituyentes pueden totalizar menos del 0.25% en las mieles, pero tienen una gran importancia debido a los efectos en las reacciones con los azúcares reductores<sup>47</sup> que se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición de los no azúcares en las mieles finales<sup>48</sup>.

	%
<b>Cenizas</b>	9.57
<b>Coloides</b>	8.06
<b>Gomas</b>	3.15
<b>Acidez total</b>	0.56
<b>Cloruros</b>	1.25
<b>Nitrógeno total</b>	0.50
<b>Ácido aconítico</b>	4.00
<b>Ácido láctico</b>	0.57
<b>Sólidos suspendidos</b>	8.80 (v v <sup>-1</sup> )

Las albúminas y otros productos del tipo de las proteínas que son removidas o precipitadas en mayor proporción por la clarificación sólo se encuentran en cantidades infinitesimales<sup>49</sup>.

**1.3.5.4 Ácidos no nitrogenados.** El ácido aconítico es con mucho el ácido más abundante en los productos de la caña; se ha hallado hasta un 6% de ácido aconítico en los sólidos de las mieles finales en Louisiana, USA. Los ácidos málico y cítrico están presentes en el jugo en cantidades minúsculas, pero aparecen en cantidades

-----  
<sup>47</sup> *Ibíd.*, p. 474.

<sup>48</sup> ICIDCA, (1998). *Manual de los derivados de la caña de azúcar*, IDCICA-GEPLACEA-PNUD, México D.F., p. 42.

<sup>49</sup> CHEN, *Óp. Cit.*, p. 475.

apreciables en las mieles. El ácido cítrico se produce comercialmente a partir de las mieles por fermentación microbiana, y el ácido fórmico está presente como un producto de la fermentación<sup>50</sup>.

**1.3.5.5 Ceras, esteroides y lípidos.** Proviene de la clarificación y persisten en las mieles, el total en una muestra de mieles cubanas se ha mencionado como 0.50% de sólidos<sup>50</sup>.

**1.3.5.6 Vitaminas.** Las vitaminas estables al calor y a los álcalis se hallan concentradas en las mieles finales; pero solo el mioinositol satisface los requerimientos dietéticos mínimos. Biotina, niacina, ácido pantoténico y riboflavina pueden estar presentes en cantidades significativas, y varias otras vitaminas en menores cantidades. *Crochet* considera que las vitaminas de las melazas representan un importante papel en la alimentación del ganado<sup>50</sup>.

**1.3.5.7 Materias colorantes.** *El-Maghraby y Hassan*<sup>51</sup> descubrieron por varias técnicas que los aminoácidos presentes en la miel son glicina, ácido aspártico, ácido glutámico, alanina, serina, metionina, lisina y leucina. Los compuestos que se separan de la melanoidina son glucosa-ácido aspártico, glucosa-serina, glucosa-lisina y glucosa-metionina.

**1.3.6 Propiedades reológicas.** La miel final, desde el punto de vista reológico, se pueden considerar como un fluido no newtoniano y ligeramente pseudo-plástico, ya que al aumentar la velocidad de deformación, disminuye la viscosidad aparente. Como fluido pseudoplástico, cumple *la ley de potencias* o de *Ostwald de Walle*<sup>52</sup>:

$$Tr = K (Dr)^n$$

Dónde:  $Tr$ : fuerza de cizallamiento  $\frac{dy}{cm^2}$

$Dr$ : velocidad de deformación ( $s^{-1}$ )

-----  
<sup>50</sup> Ibíd., p. 477.

<sup>51</sup> *International Sugar Journal* En: Chen, Óp. Cit., p. 477

<sup>52</sup> ICIDCA, (1982), *Estudio de la mieles finales de la caña de azúcar*, Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba, p. 35.

$K$ : constante, que para un líquido no newtoniano es la viscosidad.

$n$ : constante adimensional que para líquidos newtonianos es la unidad.

**1.3.6.1 Importancia del pH.** Las melazas de caña son ligeramente ácidas. Tienen un pH entre 5.5 y 6.5; El pH de las melazas cambia con la temperatura y depende también de la naturaleza y de la cantidad de estabilizador del pH que posea<sup>53</sup>.

**1.3.6.2 Viscosidad.** No existe relación alguna entre el °Brix de dos mieles *diferentes* y sus viscosidades. La viscosidad de cualquier miel dada, o de cualquier licor de azúcar, se reducirá rápidamente por dilución (es decir, cambio del °Brix). Lo cierto es que el °Brix no constituye una *medida* de viscosidad. A 20 °C la viscosidad inicial de 47100 centipoises (82.3 °Brix) disminuye a 5600 centipoises cuando se diluye la miel a 78.5 °Brix. Algunas mieles con un °Brix más bajo pueden tener una viscosidad más alta que la de otra miel de mayor °Brix. La región de viscosidad crítica de la miel de caña está por encima de 79 °Brix, y generalmente entre 81 y 85 °Brix<sup>54</sup>.

**1.3.6.3 Efecto de la temperatura sobre la viscosidad.** Es bien conocido el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de las mieles, pero la magnitud del efecto es mucho mayor de lo que generalmente se supone. Los autores ICUMSA\* concluyen que para una miel dada: *“cuando se conoce la viscosidad a una temperatura un Brix dados, se puede determinar de una manera bastante precisa la viscosidad de una miel a cualquier ° Brix y cualquier temperatura.* La relación lineal se mantiene para temperaturas entre 20 y 80 °C y °Brix de 72 a 89, pero la extrapolación suministrará cifras razonablemente confiables más allá de dichos límites<sup>54</sup>.

**1.3.6.4 Calor específico y conductividad térmica de las mieles.** Estos valores no han sido calculados para las mieles como tales, pero es práctica general usar valores para soluciones de sacarosa, siendo la variable la densidad. El calor específico  $c$  se

-----  
<sup>53</sup> Swan, H y Karalazos, A. Las Melazas y sus Derivados. En: FAJARDO CASTILLO, Erika Esperanza y SARMIENTO FORERO, Sandra Constanza. 2007. Evaluación de la Melaza de Caña como Sustrato para la Producción de *Saccharomyces cerevisiae*. Bogotá, 120 pp. Trabajo de grado (Microbiólogo Industrial): Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas. Área de Microbiología Industrial.

<sup>54</sup> Chen, Óp. Cit., p. 478.

\*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis

expresa en calorías por kilogramo por °C<sup>55</sup>. Hugot<sup>56</sup> cita la ecuación de  $c = 1 - 0.006B$ , donde  $B$  es el Brix de la solución. Para una miel de 80 °Brix, esto resulta un valor específico de alrededor de 0.5. La conductividad calórica ( $\text{Kcal mol}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ) de una solución al 60% de sacarosa a 50 °C es alrededor de 0.37. Si la miel se va a calentar para ser bombeada, son preferibles los serpentines de agua caliente en lugar de los de vapor para evitar el sobrecalentamiento<sup>57</sup>.

**1.3.6.5 Densidad.** En la práctica, se determina mediante equivalencia con la concentración en °Brix. Además, para su determinación se usan tres instrumentos densimétricos: el hidrómetro, la balanza de *Westphal* y el picnómetro, de los cuales el primero es el más utilizado<sup>58</sup>.

**1.3.7 La miel final en la alimentación del ganado bovino de carne.** La miel final es el sub-producto de caña más utilizado en el presente y desde hace años como fuente de alimentación animal principalmente por su contenido de carbohidratos asimilables. Tradicionalmente, los países tropicales productores de azúcar han sido grandes exportadores de mieles finales a países desarrollados, las cuales las han utilizado en su mayor parte para la preparación de piensos o uso directo para los animales<sup>59</sup>.

La forma más generalizada de uso de la miel final es en la engorda de bovinos, en forma de mezcla con urea en una concentración de esta última que depende de la cantidad de miel que se oferta al animal. Cuando la miel se ofrece *ad libitum* la concentración de urea es generalmente de 2%. Si se restringe el consumo, la concentración de urea puede subir hasta 10 %<sup>60</sup>.

-----

<sup>55</sup> *Ibíd.*, p. 479.

<sup>56</sup> Pieter Honing, et. al. "*Principles of sugar technology*". *En*: Chen, *Óp. Cit.*, p. 479.

<sup>57</sup> Chen, *Óp. Cit.*, p. 479.

<sup>58</sup> Fajardo Castillo y Sarmiento Forero, *Óp. Cit.*, p. 35

<sup>59</sup> Almazán, O. (Mayo-Diciembre 1977). "Los productos de la industria azucarera como fuente de alimentación animal en el trópico" *Revista ICIDCA*, La Habana, Cuba. Vol. 11, Nos. 2-3, pp. 32-54.

<sup>60</sup> Cabello Balbín, A. (2000). *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar*. 3º Edición. ICIDCA, Ciudad de La Habana, p. 274.

Por lo regular la melaza se usa como suplemento cuando se alimenta a ganado de producción de carne en pastoreo a base de pastos y forrajes<sup>61</sup>. Unas dos terceras partes de las mieles consumidas en Estados Unidos se utilizan para producir pienso para el ganado. La miel se suministra directamente en cantidades considerables al ganado en ese país, pero la mayor parte se utiliza para mezclarla con otros forrajes como una fuente de carbohidratos y dar un buen sabor a la mezcla de alimentos. La alimentación con mieles aumenta el consumo de agua, y el contenido de vitaminas, sales minerales y proteínas presentes en las mieles también es importante. En las secas, tales alimentos concentrados sirven como una fuente conveniente de mieles para el ganado vacuno o los carneros en los pastizales. En las granjas, la miel se diluye y se rocían por lo general sobre cualquier tipo de alimento seco que se disponga<sup>62</sup>.

En las regiones secas generalmente en el período de sequía solo se dispone de rastrojos y zacates muy maduros. La melaza mezclada con agua y urea diariamente se debe agregar al forraje que se le va a dar al ganado, rociando bien el zacate seco, para que el animal lo coma mejor, sin dejar desperdicios<sup>63</sup>. En los piensos secos. Además de mejorar la apetecibilidad, sedimentar el polvo y servir de aglutinante, la melaza puede reemplazar, en los piensos, a otros carbohidratos más costosos. Su efecto laxante es una ventaja más en muchos piensos. En los piensos mixtos comerciales, generalmente no se superan las siguientes proporciones: bovinos, 15%; terneros, 8%; ovinos, 8%; cerdos, 15%; y en aves de corral, 5%. La cantidad máxima de melaza que hay que utilizar se suele determinar por la absorbencia de la melaza por los otros ingredientes de la ración<sup>64</sup>. Las cifras siguientes en el cuadro 3, ilustran el porcentaje máximo de melaza que absorben algunos ingredientes de los piensos:

-----  
<sup>61</sup> Martín, P. C., (2004), "La melaza en la alimentación del ganado vacuno", *Avances en la Investigación Agropecuaria*, (Artículo invitado), Artículo en línea, Colima México, Octubre, Vol. 8, No. 3, pp. 1-13.

<sup>62</sup> CHEN, Op. Cit., p. 485.

<sup>63</sup> UNIÓN GANADERA REGIONAL DE JALISCO, (Octubre 2009), "Uso de la melaza/urea como apoyo en la alimentación bovina", artículo virtual: p. 2.

<sup>64</sup> Sistema de información de los recursos del pienso. (2000) "Melaza" [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion\\_proteica\\_y\\_con\\_nitrogeno\\_no\\_proteico/02-melaza.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/02-melaza.htm) 2000.

Cuadro 3. Porcentaje máximo de melaza absorbido por ingredientes en las dietas<sup>64</sup>.

Ingrediente	Porcentaje
<b>Zuros de maíz molidos</b>	40
<b>Harina de coco</b>	33
<b>Ahechaduras de trigo</b>	19
<b>Harina de maíz</b>	15
<b>Harina de semilla de algodón</b>	15
<b>Granos de cervecería desecados</b>	9

En general, no se obtiene ventaja añadiendo melaza a los forrajes de mala calidad como la paja, para aumentar la ingesta del pienso. En la mayoría de los casos, no se obtendrá aumento de peso vivo, a pesar del mayor consumo. El riesgo de impacción\* es sin embargo, menor cuando se añade melaza a la paja<sup>64</sup>.

El empleo de melaza en la ración para los bovinos de engorde es mucho más extensivo, generalmente con melaza/urea *ad libitum* y forraje restringido para aumentar el consumo de melaza. El sistema ideado en Cuba implica la alimentación *ad libitum* con una mezcla que contiene 91% de melaza y 6,5% de agua. La urea y la sal se disuelven en el agua y se mezclan con la melaza. A la mezcla, suministrada en comederos abiertos, se añade en cobertera un suplemento de proteína insoluble a razón de 70 g de proteína por 100 kg de peso vivo. En Cuba se emplea harina de pescado peruana. Cada animal consume 8-9 kg al día de esta mezcla. Además, se suministra *ad libitum* una mezcla mineral (50% de harina de huesos o de fosfato bi-cálcico y 50% de sal), y 10 kg de forraje recién cortado. La ganancia de peso diaria es alrededor de 1 kg por cabeza<sup>64</sup>.

En cambio, la melaza y los suplementos de melaza-urea han influido notablemente en la producción y la capacidad de reproducción de los bovinos cuando se reduce la disponibilidad de forrajes y nutrientes, como ocurre en la temporada seca. La cantidad de melaza que se suele suministrar varía entre 0,5-3 kg al día por cabeza,

-----  
<sup>64</sup> Sistema de información de los recursos del pienso. (2000) "Melaza" [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion\\_proteica\\_y\\_con\\_nitrogeno\\_no\\_proteico/02-melaza.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/02-melaza.htm) 2000.

\* Es la acumulación de heces secas, endurecidas en el recto o en el colon, de los animales.

según el pasto. Si la ingesta de proteína limita la producción puede mezclarse urea con la melaza. El hecho de añadir un 2-3% de melaza no disminuye la apetecibilidad. Como la mezcla de melaza y urea es deficiente en fósforo, es esencial añadir a la mezcla ácido fosfórico o que la mezcla mineral que se suministra a los bovinos contenga bastante fósforo<sup>65</sup>.

**1.3.7.1 Como saborizante y aglutinante.** Se usan niveles del 2 al 5% de los suplementos concentrados; inclusive en estos niveles se puede revolver en mezcladoras verticales, siempre y cuando se hayan mezclado primero los ingredientes secos, es decir, la melaza se incorpora al último y poco a poco. Los mismos niveles se usan cuando los alimentos se hacen pastillas o *pellets*<sup>65</sup>.

**1.3.7.2 Como aditivo favorecedor de la fermentación (ensilaje) de forrajes.** Se usan niveles del 2.5% del forraje, diluida en agua junto con 0.5% de urea, rociando la mezcla en capas del forraje al ensilar. El nivel de melaza puede duplicarse cuando el forraje a ensilar sea pobre en azúcares solubles (que son los que fermentan), como cuando se pasa la edad óptima para ensilar de los forrajes. En el caso del ensilaje de la caña del maíz sin elote, y que se le ha retirado energía por ese hecho, se le puede restituir con una fuente rica en energía barata (cuando menos más barata que la del elote-verdura) como puede ser la melaza<sup>65</sup>.

**1.3.7.3 Como suplementos energético-proteicos simples.** Complementada con urea y diluida en agua en la proporción 80 partes de melaza, 3 de urea y 17 de agua, mezclando primero la urea y el agua e incorporando ésta a la melaza. El suplemento se ofrece para su consumo a voluntad a animales en pastoreo en lamederos<sup>65</sup>.

Un lamedero puede ser un medio tambo colocado a la altura de los animales dotado de un “flotador” de madera o bien tapado pero con una rueda (colocada en un eje) que el mismo animal hace girar al lamerla y se va embebiendo en la mezcla<sup>65</sup>.

-----  
<sup>65</sup> MARTÍNEZ Rojas, L., “Uso de la melaza en la alimentación de ovinos”, artículo virtual de Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos, parte de Fortalecimiento del Sistema Producto Ovinos, p. 11.

**1.3.7.4 Incorporada a forrajes melazados.** Se aprovecha la capacidad absorbente de forrajes secos como las pajas, rastrojos y bagazos (del 70 al 80%) para incorporar del 20 al 30% de melaza, así como del 2% de urea a expensas de alguno de los otros ingredientes, como dietas de mantenimiento y/o baja producción o como complementos de otros forrajes<sup>66</sup>.

Es importante mencionar que no debe incluirse la fuente de proteína ya que usar solo los esquilmos agrícolas o industriales con melaza desbalancea la ración e inclusive los animales pueden perder peso en lugar de ganarlo. Igualmente si no se tiene confianza en el uso de urea se puede usar otra fuente como las pastas de oleaginosas o una mezcla de éstas y urea<sup>67</sup>.

**1.3.7.5 Como suplementos energético-proteicos en bloques sólidos.** Una mezcla de ingredientes secos y melaza son solidificados con cal elaborados artesanalmente y usados como bloques multi-nutricionales de melaza en calidad de suplemento alimenticio para ovinos<sup>67</sup>.

**1.3.7.6 En dietas integrales.** Una dieta integral es una dieta completa que se ofrece a los animales como alimento único, adecuadamente balanceada a las necesidades específicas de un grupo de animales (en engorda, en gestación, en lactancia, etc.). Entre las fuentes de energía puede incluirse la melaza. Los niveles óptimos de utilización están entre 30 y 35% de la ración; sin embargo, para crecimiento se ha logrado incrementar a 45% siempre y cuando se incremente en 2 unidades la proteína cruda y que una parte de ésta sea de proteína sobrepasante de la panza. Si todos los ingredientes son secos, incluido el forraje, para hacer la mezcla se utiliza una mezcladora horizontal de bajas revoluciones y al final se incorpora la melaza; en cuanto más alto sea el nivel de inclusión de la melaza más difícil y complicado es el mezclado. Una alternativa es hacer el premezclado de los ingredientes secos e incorporar la melaza en una mezcladora de gusano sinfín dotado de rociadores de melaza; la melaza se incorpora poco a poco, a medida que avanza el alimento seco<sup>67</sup>.

-----  
<sup>66</sup> Ibíd., p. 11-12.

<sup>67</sup> Ibíd., p. 12.

En el caso de que la dieta se haya balanceado con forrajes verdes, éstos se dan por separado de los secos con melaza o bien todos separados por estado físico, es decir los forrajes verdes por una parte, los alimentos secos y la melaza aparte y/o en otro momento. Mientras que el forraje se puede ofrecer para su consumo a voluntad, los ingredientes suplementarios se dan en cantidades medidas<sup>67</sup>.

En un experimento realizado en Australia por *Morris y Gulbransen*<sup>68</sup>, cuando se ofertó melaza, o melaza con urea, a toros que pastaban sobre pastos de buena calidad, no se encontró un efecto importante de la suplementación. En este caso, el contenido de proteína bruta de la hierba varió entre 8.1 y 13.1%, sin embargo, cuando el contenido de proteína bajó a un rango entre 5.0 y 6.1 %, la suplementación con melaza y con urea tuvo una respuesta significativa y los resultados se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4: Respuesta de la suplementación con melaza o melaza/urea en pastos de mala Calidad<sup>69</sup>.

Indicador	Sin suplemento	Melaza/Minerales	Melaza/Urea
Peso Inicial, kg.	151	149	152
Peso Final, kg.	176	193	200
Ganancia diaria, g/día	400	480	540

En un estudio alimentaron a 24 novillos Criollos, con subproductos de la industria cañera a base de 50% afrecho de trigo ó 50% bagazo melazado con 20% harina de ajonjolí o su equivalente de urea. El bagazo melazado fue compuesto de 30% de bagazo de caña y 70% de melaza. Los resultados que se obtuvo de ganancia diaria en peso durante 136 días fueron 830, 778, 708 y 682 g/animal, para los suplementos de afrecho de trigo con ajonjolí, afrecho de trigo con urea, bagazo melazado con ajonjolí y bagazo melazado con urea y los índices de conversiones fueron 10.8; 11.0; 12.7 y 13.4 para las respectivas raciones y de acuerdo a los resultados que obtuvieron concluyeron que es factible el engorde de novillos con raciones a base de

-----  
<sup>67</sup> *Ibíd.*, p. 12.

<sup>68</sup> Morris, J.C. y Gulbransen, B. (1970). Effect of *nitrogen and energy supplements on the growth of cattle grazing oats or Rhodes grass*, *En: Martín P. C.*, (Octubre 2004), "La melaza en la alimentación del ganado vacuno", *Avances en la Investigación Agropecuaria*, (Artículo invitado), Artículo en línea, Colima México, Vol. 8, No. 3, p. 7.

<sup>69</sup> Martín, P. C., *Óp. Cit.*, p. 7.

bagazo melazado y urea, abaratando los costos y sustituyendo materias primas susceptibles de tener otro destino para la alimentación animal<sup>69</sup>.

Bortolussi, G. y Hunter<sup>70</sup> hicieron un estudio económico utilizando dietas en la que se les incluyó melaza, en ganado de finalización, donde el sistema de alimentación, consistió en dos niveles de rendimiento: una de 1.3 kg/d y otra de 1.5 kg/d. El número de reproductoras aumentó en un 20%, de una población de 2500 adultos equivalentes de 3-4 años de edad, cuando se cambió a un sistema intensivo de alimentación de melaza a la de un sistema de alimentación al pastoreo, donde cada reproductora producía dos novillos de un año. Y el margen bruto de ganado se incrementó en un 9.7% cuando el precio de la melaza aumentó a \$120 (EUA)/ton y se incrementó el rendimiento de alimentación de un 1.3 kg/d a 1.5 kg/d que representa un 2.7%.

Thanh Tham, H<sup>71</sup>, a quince becerros de la raza *Sindhi* los alimentaron con harina de hojas de yuca, como fuente de proteínas en una dieta basada de paja de arroz rociado con una mezcla de urea / melaza (10% de urea) (para proporcionar un kg de urea por kg de paja). Según en este estudio, las tasas de crecimiento y conversión alimenticia de los becerros de la raza *Sindhi* alimentados con paja de arroz rociado con urea y melaza, se mejoró el consumo de proteína (harina de hojas de yuca) donde hubo un aumento de cero a 1,1 g / kg de peso vivo.

En otro estudio, 40 novillos (ganado de carne, cruza de *Brahman-Angus* y otro de *Angus-Africano*) fueron divididos en cinco lotes iguales. Cuatro de estos lotes se alimentaron con, melaza y un lote se alimentó con una ración sin melaza que fue el lote testigo. Dos de los lotes alimentados con melaza recibieron melaza líquida y los otros dos se alimentaron con melaza deshidratada. Una de las mezclas deshidratadas contiene cascarilla de algodón como absorbente y otro con bagazo.

-----  
<sup>69</sup> Martín, P. C., Óp. Cit., p. 7.

<sup>70</sup> Bortolussi, G. y Hunter., R. A. (Julio-2000) "*High Molasses Feeding of Intensively Finished Beef Cattle: An Economic Analysis*", *Asian-Australian Journal of Animal Science*, revista virtual, Vol. 13, pp.: 132-135.

<sup>71</sup> Thanh Tham, H.; Van Man, N, y Preston, T. R. (Mayo-2008). "*Performance of young cattle fed rice straw sprayed with mixture of urea and molasses supplemented with different levels of cassava leaf meal*", *Livestock Research for Rural Development*, revista en línea, Vol. 20.

Todos los animales que se alimentaron con melaza líquida lograron ganancias satisfactorias en cuanto al crecimiento y la ganancia en peso vivo diario (1.63 Kg /día). Y el lote de control que se alimentó con raciones que no contenía melaza, las ganancias en peso diario no fueron satisfactorias (1.55 kg / día)<sup>72</sup>.

Shi Xiong, W., et. al<sup>73</sup>., en su estudio alimentaron a 48 animales de ganado de carne de la raza *Simmental*, en donde fueron divididos en ocho grupos, con seis animales cada uno con diferentes porcentajes de inclusión de melaza en raciones de alimentos. Se hicieron cuatro tratamientos, en el Tratamiento 1, 2, 3 y 4 se incluyó indistintamente 0 kg, 1 kg, 2 kg y 3 kg de melaza respectivamente, cada tratamiento contenía ensilaje de maíz y concentrados alimenticios. Se concluyó que al suplementar las dietas con melaza se obtenía una mayor ganancia de peso total que en el tratamiento sin inclusión de melaza con un aumento de peso total de 83.88kg contra los 119.83 kg de peso total del tratamiento 3.

#### **1.4 MIEL DESHIDRATADA**

La miel deshidratada enriquecida o biocereal melazado, está constituida por azúcares como fuente de carbohidratos y levadura como fuente de proteína. Los azúcares pueden ser aportados por la miel final, meladura o mieles intermedias pero su aceptación, proporción en las dietas y valor nutritivo varía de acuerdo con el tipo de miel empleada, y la proteína es suministrada por la crema de levadura formalizada de 18 % de M.S., la que aporta también vitaminas del complejo B y aminoácidos esenciales. Esta miel está enriquecida además con calcio, fósforo, sales minerales y microelementos. La miel deshidratada es empleada conjuntamente con otros alimentos o residuos fibrosos de menor palatabilidad y bajo valor nutritivo en la alimentación de poligástricos<sup>74</sup>.

-----  
<sup>72</sup> Tillman, A. D.; Singletary, C. B.; Kidwell, J. F. y Bray, C. I. (Noviembre.1951). "Methods of Feeding Cane Molasses and Urea to Beef Cattle", *Journal of Animal Science*, artículo en línea, Vol. 10, No. 4, pp. 939-946.

<sup>73</sup> Shi Xiong, W., et al, (2009). "Study on fattening effect of beef cattle with different amounts of molasses", *China Cattle Science*, Yunnan, China, Vol. 36, No. 1, pp. 32-35.

<sup>74</sup> Campos Rodríguez, F. y Sáenz Coopat, T. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azúcar*, 3ª Ed., ICIDCA, Cuba, La Habana, p. 259.

## 1.5 LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO BOVINO DE CARNE

En la alimentación del ganado bovino para carne hay que considerar el aparato digestivo de los rumiantes, los nutrientes, los alimentos que los proporcionan, las formas de suministrarlos y las distintas raciones, según la edad y la función de los animales<sup>75</sup>.

**1.5.1 Tipos de alimentos para el ganado.** Los alimentos pueden ser clasificados acorde con los elementos mayoritarios que los componen, de acuerdo a su naturaleza, origen y composición química<sup>76</sup>. A continuación, se presenta los tipos de alimentos para ganado de acuerdo a su origen:

**Forrajes:** Usualmente los forrajes se producen en la finca. Pueden ser pastoreados directamente, o cosechados y preservados como ensilaje o heno. Según la etapa de lactancia, pueden contribuir desde casi 100% (en vacas no-lactantes) a no menos de 30% (en vacas en la primera parte de lactancia) de la materia seca en la ración<sup>77</sup>. Y la composición de los mismos es el siguiente:

*Contenido de la proteína.* De un 85 a un 90% aproximadamente del contenido del nitrógeno celular de las plantas forrajeras, es proteína cruda, sintetizada a partir de los aminoácidos. El nitrógeno de los forrajes procede del nitrógeno del suelo y del nitrógeno del aire (simbiosis)<sup>77</sup>.

*Celulosa y lignina.* El proceso de la maduración afecta el valor nutritivo de los forrajes, de un modo más significativo que cualquier otro factor, la hierba tierna tiene un alto valor nutritivo; durante la maduración se acumulan concentraciones crecientes de fibra lignificada en la armadura estructural de las plantas forrajeras y cuando esto ocurre, el valor nutritivo decrece, los forrajes contienen de 3 a 20% de lignina según el estado de maduración en que se encuentran<sup>77</sup>.

-----  
<sup>75</sup> Lesur, L. (2008). *Manual del ganado bovino para carne: una guía paso a paso*, Trillas, México, D.F., p.38. ISBN: 978-968-24-0521-1.

<sup>76</sup> Belmar Casso, R. (2003). *Principios para la alimentación de rumiantes*, Volumen 2 de Serie manuales, UADY, p. 15, ISBN: 9789706980502.

<sup>77</sup> Chávez Vásquez, R., "Manejo de Pastos y Forrajes", curso de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Agronomía Departamento Académico de Producción Animal, pp. 2-3.

*Otros componentes (factor de crecimiento).* Las plantas forrajeras contienen, vitaminas, hormonas y enzimas que son esenciales para las plantas y para los animales. Desde el punto de vista de la nutrición animal, los más importantes son las vitaminas del complejo B, C, E, K y el Caroteno (o pro - vitamina A) siendo rara vez limitantes en los forrajes utilizados como raciones. La vitamina D se encuentra en la hierba sometida al rayo del sol, la exposición de los animales a los rayos ultravioletas activan la provitamina D en los tejidos de la piel, los rumiantes y los microorganismos de la panza sintetizan las vitaminas del Complejo B<sup>77</sup>.

*Elementos minerales.* Por otra parte, la fertilidad del suelo afecta el contenido de elementos minerales y el desarrollo de los tejidos de las plantas y por tanto, al vigor de los animales que consumen el forraje. En general, los forrajes producidos en condiciones adecuadas de fertilidad, contienen una cantidad suficiente de los elementos principales: fósforo, potasio, calcio y magnesio, para satisfacer las necesidades del ganado, cuando el suelo es deficiente en fósforo se retarda el crecimiento, según el análisis químico, gran parte del fósforo móvil está concentrado en los tejidos meristemáticos<sup>77</sup>.

El calcio de la planta no es fácilmente asimilable, pero el contenido del calcio en la hierba es flexible; en general las leguminosas contienen de 1.0 a 1.5% del calcio en la materia seca, mientras que las gramíneas contienen de 0.18 a 0.48%<sup>77</sup>.

**Pajas.** El uso de las pajas de cereales en la alimentación animal presenta factores ventajosos como son la disponibilidad y una posible maximización de los recursos. Con respecto a la disponibilidad, los rastrojos de cereales constituyen los subproductos más abundantes en algunos países y la paja de trigo es el más importante entre ellos. En general, los cultivos de cereales producen una relación grano: paja, cercana a 1:1, con lo cual cada hectárea puede producir entre 3000 y 5000 kg de paja<sup>78</sup>.

-----  
<sup>77</sup> CHÁVEZ Vásquez, R., "Manejo De Pastos y Forrajes", curso de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad De Agronomía Departamento Académico de Producción Animal, pp. 2-3.

<sup>78</sup> WOLFGANG Stehr, W., "Alimentos complementarios para la producción de carne", portal web, de la Universidad Austral de Chile, p. 3. Disponible en:  
<http://intranet.uach.cl/dw/canales/repositorio/archivos/993.pdf>

La paja se caracteriza nutricionalmente por tener baja digestibilidad (<40%), bajo contenido de energía metabolizable (inferior a 1.4 Mcal Kg<sup>-1</sup>), bajo contenido de proteína (< 5%) y un contenido celular bajo, tiene un alto contenido de fibra y lignina, todo lo cual hace que la paja tenga un bajo valor nutricional, por lo que solamente se usan parte de raciones para rumiantes. Además, el contenido de vitaminas y minerales es bajo. Por lo tanto, la naturaleza química y física de la paja de trigo, determina que la cantidad de nutrientes ofrecidos no son adecuados para que se produzca una fermentación ruminal eficiente e impiden poder alcanzar un alto nivel de productividad. Para aumentar la calidad nutricional de la paja existen tratamientos químicos y físicos<sup>78</sup>.

**Concentrados.** Son alimentos que se caracterizan por su mayor digestibilidad y contenido de nutrientes orgánicos en relación a los forrajes. Sus características más relevantes, son ser bajos en fibras, altos en energía y de mayor digestibilidad que las praderas. Los concentrados tienen alta palatabilidad y usualmente son consumidos rápidamente. En contraste a forrajes, los concentrados tienen bajo volumen por unidad de peso y usualmente fermentan más rápidamente que los forrajes en el rumen por lo que aumentan la acidez (reducen el pH) y pueden interferir en la fermentación normal de la fibra<sup>79</sup>.

**1.5.2 Elementos nutricionales frecuentes en un alimento balanceado, para ganado bovino.** Tanto el productor pecuario, como el fabricante de alimentos balanceados, manejan ingredientes alimenticios que tienen una mayor o menor concentración de algún nutriente específico ya sea proteína, energía o calcio, etc., lo que permite agrupar dichos alimentos como proteicos (pastas de oleaginosas, harinas de origen animal), energéticos (granos de cereales, harinas de tubérculos, aceites, miel final de caña), minerales (roca fosfórica, piedra caliza, concha de ostión), etc., así la terminología gira en torno a alimentos clasificados por su contenido del nutriente dominante, sin tomar en cuenta los otros componentes

-----  
<sup>78</sup> WOLFGANG Stehr, W., "Alimentos complementarios para la producción de carne", portal web, de la Universidad Austral de Chile, p. 3. Disponible en:  
<http://intranet.uach.cl/dw/canales/repositorio/archivos/993.pdf>

<sup>79</sup> *Ibíd.*, p. 4.

aportados por el ingrediente. Los nutrientes presentes en la ingesta de un animal son<sup>80</sup>:

- *Agua*
- *Proteínas*: formada a la vez por aminoácidos.
- *Nitrógeno no proteico*: de utilidad solo para los rumiantes y presente en forma de urea, sales de amonio, nitritos y nitratos, ácidos nucleicos, etc.
- *Carbohidratos*
- *Carbohidratos estructurales*: disponibles solo para los rumiantes y formados por celulosa, hemicelulosa y lignina.
- *Lípidos*: compuestos triglicéridos, glicéridos y ácidos grasos.
- *Minerales*: calcio, fósforo, sodio, potasio, cloro, magnesio, manganeso, zinc, cobre, hierro, yodo, selenio, cobalto, molibdeno, azufre, flúor.
- *Vitaminas liposolubles*: tiamina, rivo flavina, vitamina B6 o piridoxina, vitamina B12, ácido nicotínico, ácido pantoteico, ácido fólico, colina, inositol, biotina, ácido ascórbico.
- *Vitamina hidrosolubles*: A, D, E, K.
- *Aditivos*: compuestos agregados por el hombre con el fin de aumentar el consumo y la digestibilidad de los alimentos

La composición de los alimentos debe ser, entonces, la base sobre la cual se deciden los ingredientes a usar y sus combinaciones. La información composicional puede obtenerse en dos formas<sup>80</sup>:

- A partir de los valores tabulados.
- A partir de análisis químicos de los alimentos.

Los valores tabulados son útiles para obtener una idea general sobre la composición de un alimento, pero tiene como desventaja el hecho de que se elaboran a partir de promedios, por lo que no se puede determinar si el ingrediente con el que se cuenta está dentro de ese promedio o en los extremos de los rangos de los valores.

-----  
<sup>82</sup> Mora Brautigan, I. (2007). *Nutrición Animal*, 3ª reimpresión de la 1ª Ed., EUNED, Costa Rica, San José, p. 16. ISBN: 997764557

Además, el empleo de este sistema no permite la posibilidad de detección temprana de los ingredientes adulterados con productos similares. Los datos obtenidos a partir de análisis químicos, si bien son más exactos, son más costosos, y requieren que la muestra analizada haya sido bien tomada<sup>81</sup>.

En el cuadro 5 se presentan los requerimientos de minerales en algunas etapas de madurez de los animales:

Cuadro 5. Requerimientos minerales y límites de toxicidad en bovinos (NRC 2000)<sup>82</sup>.

Mineral	Unidad	Requerimientos			Límites de toxicidad
		Crecimiento y engorda	Gestación (Vaca seca)	Inicio de lactancia	
<b>Calcio</b>	%	0.60	0.25	0.30	-----
<b>Fósforo</b>	%	0.30	0.16	0.20	-----
<b>Magnesio</b>	%	0.10	0.12	0.20	0.40
<b>Potasio</b>	%	0.60	0.60	0.70	3.00
<b>Sodio</b>	%	0.06	0.06	0.10	-----
<b>Cobre</b>	mg/kg	10.00	10.00	10.00	100.00
<b>Cobalto</b>	mg/kg	0.10	0.10	0.10	10.00
<b>Manganeso</b>	mg/kg	20.00	40.00	40.00	1000.00
<b>Zinc</b>	mg/kg	30.00	30.00	30.00	500.00
<b>Selenio</b>	mg/kg	0.10	0.10	0.10	2.00

En el cuadro 6 se presenta la composición de los tres minerales importantes que se encuentran en diferentes forrajes para ganado:

Cuadro 6. Contenido promedio de calcio y fósforo de diferentes forrajes (g Kg<sup>-1</sup>)<sup>82</sup>.

	Calcio	Fósforo	Ca:P
<b>Trébol Rosado</b>	16.2	2.9	5.6
<b>Trébol blanco</b>	18.9	2.5	7.6
<b>Alfalfa</b>	19.6	2.8	7.0
<b>Maíz (planta entera verde)</b>	6.0	2.9	2.1
<b>Maíz (planta entera grano lechoso)</b>	3.8	3.1	1.2
<b>Pradera mixta</b>	6.6	3.9	1.7
<b>Rastrojos de cereales</b>	3.4	0.3	11.3

<sup>81</sup> Ibíd., p. 16-17.

<sup>82</sup> Wolfgang Stehr, W., "Óp., Cit., p. 4.

En el cuadro 7 se presentan la relación calcio fosforo de diferentes recursos forrajeros en la alimentación para el ganado bovino de carne y en el cuadro 9 se presentan varios insumos que se consideran proteicos y energéticos con su respectivo contenido de proteína cruda y energía metabolizable, que son considerados al momento de elaborar un alimento balanceado para ganado bovino de producción de carne.

Cuadro 7. Características de sales minerales para la complementación de diferentes recursos forrajeros (Ca y P), en concentración gramos Kg<sup>-1</sup>.<sup>82</sup>

	Características nutricionales de las sales minerales para distintos forrajes		
	Calcio	Fósforo	Ca:P
<b>Leguminosas (trébol, alfalfa)</b>	7.0	12	0.6
<b>Praderas mixtas (regular a buena)</b>	11.0	8.0	1.4
<b>Rastrojos de cereales (paja)</b>	180.0	90.0	2.0

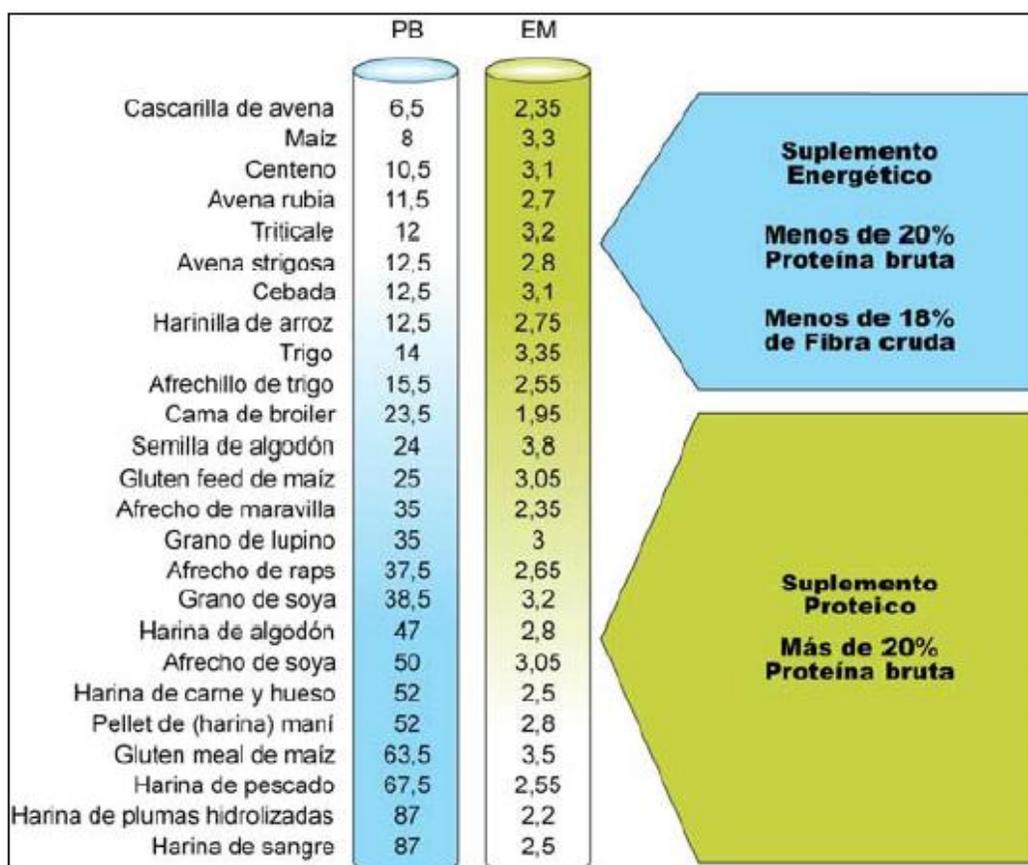


Figura 2. Principales alimentos, concentrados energéticos y proteicos para ganado de carne<sup>82</sup>.

<sup>82</sup> Wolfgang Stehr, W., Óp., Cit., p. 4.

**1.5.3 Aparato digestivo del ganado bovino.** El aparato digestivo de los bovinos se caracteriza por digerir grandes cantidades de forraje, fabricar las vitaminas del complejo B, aprovechar proteínas de baja calidad y convertir cierta cantidad de nitrógeno en proteínas. A los bovinos se les conoce como rumiantes, ya que tienen el estómago dividido en cuatro compartimientos: el rumen, retículo, omaso y abomaso<sup>83</sup>, en la figura 3, se presenta un esquema de las partes que conforman el sistema digestivo de los bovinos. A continuación se describen los compartimientos del estómago de las reses:

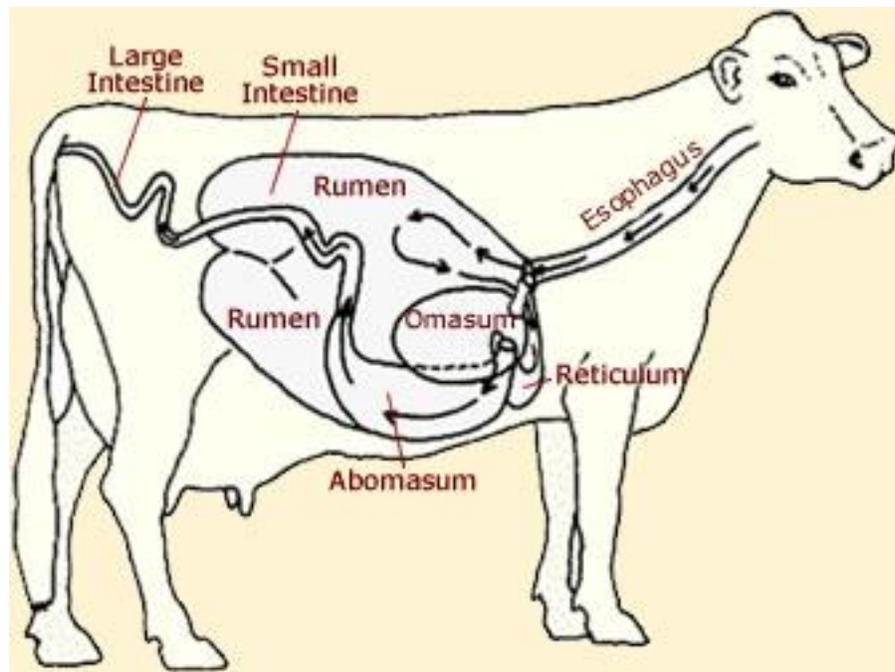


Figura 3. Partes que conforman el estómago de los bovinos.

*Rumen.* Es el primer compartimento y el más grande, con una capacidad de 150 a 225 litros de alimento fibroso en el animal adulto. Cuando las reses comen, mastican el alimento sólo lo necesario para poder tragarlo. Una vez en el rumen, las bacterias que se encuentran ahí se encargan de degradarlo por primera vez<sup>83</sup>.

*Retículo.* En este compartimento se retienen muchos de los cuerpos extraños que el animal ingiere, como clavos, alambres, etcétera. También sirve para regurgitar el alimento durante la rumia<sup>83</sup>.

-----  
<sup>83</sup> Lesur, L. Óp., Cit., p.39.

*Omaso*. Es el tercer compartimento. Allí se elimina el agua de los alimentos antes de entrar al abomaso<sup>83</sup>.

*Abomaso*. Es el verdadero estómago de los rumiantes, donde se segregan los jugos gástricos para la digestión de las proteínas. En cuanto al alimento sale del abomaso pasa al intestino delgado, donde se absorben los componentes digestibles para pasar al torrente sanguíneo. El alimento no digerido se elimina en forma de eses<sup>84</sup>.

**1.5.4 Alimentación del ganado de engorda de finalización.** Hay tres formas de alimentación del ganado bovino para carne: pastoreo o alimentación extensiva; alimentación intensiva en confinamiento; y alimentación mixta de pastoreo y de confinamiento<sup>85</sup>.

*Raciones*. Los bovinos necesitan raciones o ciertas cantidades de nutrientes según su propósito y la etapa de vida en la que se encuentren. Para formular una ración, deben considerarse los requerimientos nutritivos del ganado y, por otra parte, la composición de los forrajes y otros alimentos. En términos generales, un animal requiere consumir diariamente entre 2 y 3% de su peso. La ración más aceptable es aquella que, además de estar bien balanceada con la proporción y cantidad adecuada de alimentos disponibles, resulta también la más económica<sup>85</sup>.

De acuerdo con sus necesidades de alimentación, el ganado de carne se puede dividir en dos grupos: ganado reproductor y ganado de engorda<sup>85</sup>. Hay ganaderos que crían su ganado y luego lo engordan para la venta, pero también hay criadores que no lo engordan, si no que lo venden a otros para engordar, y engordadores que no crían ganado, sino que lo compran para engordarlo y venderlo<sup>86</sup>.

**1.5.4.1 Engorde intensivo.** Si se dispone de pastos y terreno para cultivo de cereales, muchos ganaderos criadores suelen mantener en el potrero un hato de vacas de vientre y otro de engorda que más tarde, tres meses antes de su venta, se

-----  
<sup>83</sup> Lesur, L. Óp., Cit., p.39.

<sup>84</sup> Ibíd., p. 40.

<sup>85</sup> Ibíd., p. 43.

<sup>86</sup> Ibíd., p. 47.

confina a los corrales para un engorde intensivo, baso casi enteramente de en alimentación con concentrados<sup>87</sup>.

Cuando se dispone de suficiente grano a buen precio para cebar el ganado, conviene vender una parte del hato para que otro ganadero lo engorde<sup>19</sup>. Cuando no se dispone de pastizales, la opción es formar un centro de engorde en el que se compran los animales listos para ser engordados bajo un sistema de engorde intensivo<sup>87</sup>.

La ración para el ganado de engorde debe de contener de 9.5 a 10% de proteínas. El ganado que entre en la fase de engorde intensivo debe cambiar su alimentación paulatinamente hasta adaptarse perfectamente a la ración de concentrados<sup>19</sup>.

**1.5.4.2 Engorde mixto.** Consiste en mantener el ganado en el potrero y reforzar la alimentación con algún concentrado<sup>87</sup>.

**1.5.4.3 Engorde en pastizal.** Consiste en engordar el ganado de manera más lenta, sin proporcionales alimento complementario, excepto sal<sup>87</sup>.

**1.5.4.4 Edad para el engorde.** La edad en la que deben engordarse para su finalización depende del tipo de carne que se requiera<sup>87</sup>.

Un becerro de un año de edad, bien alimentado, pesará entre 300 y 400 kg en pie, con un canal de 200 a 230 kg de una carne excepcionalmente tierna, que tendrá menos grasa y menos colesterol que la de un novillo o la de un toro maduro<sup>87</sup>.

Un novillo de dos años, bien desarrollado, pesará en pie entre 500 y 600 kg y rendirá en canal entre 300 y 400 kg de canal después de comer un año más, que de un becerro de un año<sup>87</sup>.

-----  
<sup>87</sup> Ibíd., p. 48.

La diferencia de precio en el mercado entre la carne de un animal de acabado superior y uno de acabado regular debe de ser un factor determinante que decida la duración que debe darse al periodo de engorde<sup>87</sup>.

**1.5.5 Formulación de raciones.** Se entiende por formulación de raciones al procedimiento aritmético-matemático aplicado a la confección de raciones<sup>88</sup>.

**1.5.5.1 Ración equilibrada.** Es aquella ración que provee todas las cantidades y proporciones adecuadas de energía y todos nutrientes que requiere el animal en un determinado periodo de tiempo (veinticuatro horas). Preparar una ración balanceada conlleva generalmente suministrar una combinación de ingredientes más o menos compleja, que proporciona los nutrientes necesarios por el animal. Entre estos ingredientes encontraremos<sup>88</sup>:

- Los *Macroingredientes* o ingredientes mayoritarios (4-12 ingredientes). representan alrededor del 95% de la ración y generalmente describen su presencia en porcentaje (%). Suministran la energía, proteína y aminoácidos necesarios por el animal.
- Los *Macronutrientes* como el Ca, P, Na o Cl se suministran mediante el aporte de 4-10 ingredientes, y se representan entre un 2 y un 5% de la ración. Su presencia generalmente se define en g/kg,
- Finalmente, entre 12 y 25 Micronutrientes (mg/kg) representan menos de un 1% de la ración.

**1.5.5.2 Formulación de la ración.** Hay dos maneras de hacer el cálculo de la combinación de ingredientes que satisfacen las recomendaciones nutritivas las cuales pueden ser de forma MANUAL (Método algebraico) o utilizando Programas

-----  
<sup>87</sup> *Ibíd.*, p. 48.

<sup>88</sup> Pérez Hernández, J. F.; Martín-Orúe, S. y Sala Pallarés, R. Manual Práctico de Formulación de Piensos, material de la asignatura "Nutrición II", de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona, p. 4, consultado el 4 de Agosto del 2011.

Matemáticos en Ordenador. La elección de un procedimiento u otro depende de la dificultad de los objetivos y de la información y tecnología disponible<sup>89</sup>.

**1.5.5.2.1 Método algebraico.** Para el método algebraico existen tres procedimientos comunes para calcular la combinación de ingredientes de una formulación las cuales se describen a continuación<sup>90</sup>:

- **Cuadrado de Pearson:** Permite el cálculo de la proporción de mezcla de dos ingredientes para obtener un determinado valor nutritivo.
- **Método de sustitución (sistema de ecuaciones).** Este procedimiento se desarrolla mediante un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. La primera, relativa al porcentaje de inclusión, la segunda al contenido en energía de la ración objetivo.
- **Método de sustracción.** Es semejante que el método de sistema de ecuaciones pero la diferencia es que este, permite ir eliminando incógnitas para facilitar el cálculo.

**1.5.5.2.2 Programación lineal.** En la mayor parte de los casos, el alimento balanceado debe de contener una serie de valores nutritivos necesarios (mínimos) o de ingredientes que lo conforman. El sistema a resolver contiene una serie de ecuaciones e inecuaciones que definen la composición de los nutrientes necesarios, y la conformación de la ración con los ingredientes disponibles. El cálculo de programación lineal permite hacer el cálculo del alimento balanceado que satisface la ecuación objetivo o de mínimo coste. La ejecución de la programación lineal puede realizarse mediante programas informáticos de formulación<sup>91</sup>.

**1.5.6 Confección de alimentos balanceados.** Una vez calculados los ingredientes para confeccionar el alimento balanceado, la información se debe de entregar a la

-----  
<sup>89</sup> *Ibíd.*, p. 7

<sup>90</sup> *Ibíd.*, pp. 8-9.

<sup>91</sup> *Ibíd.*, p. 9.

planta de alimentos para su preparación y fabricación. El proceso de fabricación del alimento balanceado requiere también de escoger la tecnología necesaria para los animales y la más conveniente para la empresa. A continuación, se describen algunos de los aspectos que se deben de tomar en cuenta<sup>92</sup>:

#### *1- Preparación de los insumos.*

- Número y cantidad de ingredientes disponibles
- Estado físico de cada uno y forma de almacenaje (Silos y tipos)
- Tecnología disponible para elaborar alimento balanceados

#### *2- Propuesta de ingeniería*

- Picado / Troceado / Molido
- Mezclado (A mano vs Mezcladoras Horizontales y Verticales)
- Procesados especiales: Granulado, Expansión, Extrusión,...

#### *3- Envasado y transporte*

- En sacos / Big Bags / A granel
- En camión / En cuba /.....

### **1.6 Análisis de los alimentos**

Los datos de la composición química o bromatológica, de los alimentos se obtienen principalmente con base en el llamado Análisis Proximal principalmente en el caso de alimentos balanceados. Para el análisis de forrajes se utiliza el método de *Van Soest*<sup>93</sup>.

**1.6.1 Análisis proximal.** Este análisis se efectúa con un mínimo de tres submuestras. A la primera, se le somete a calentamiento (100 °C) por varias horas

-----  
<sup>92</sup> *Ibíd.*, pp. 10-11

<sup>93</sup> Mora Brautigan, I., *Óp. Cit.*, p., 17.

con el objeto de determinar su humedad, (y su complemento que sería la materia -MS-, donde se calcula por diferencia). Posteriormente se incinera a 500-600 °C para obtener, por diferencia, el contenido mineral (cenizas)<sup>93</sup>.

Una segunda submuestra se somete al análisis de proteína cruda (PC), que no es más que una determinación del nitrógeno total liberado por un proceso de digestión química, multiplicado por el factor de 6.25 (valor que se obtiene al asumir que, en promedio, 100 g de proteína contienen 16 g de nitrógeno)<sup>93</sup>.

La tercera submuestra se somete a una extracción con un solvente orgánico que arrastra el llamado extracto etéreo (EE) o grasa cruda, que comprende de aceites las grasas y otros materiales liposolubles como los pigmentos. El material sobrante se expone a una digestión ácida seguida de una alcalina, quedando como remanente la llamada fibra cruda (FC)<sup>93</sup>.

Al restar de 100 lo previamente determinado o sea humedad, materia mineral, proteína cruda, extracto etéreo y fibra cruda, se obtiene una diferencia a la que se denomina extracto libre de nitrógeno (ELN) y que abarca principalmente a los carbohidratos solubles (almidones, pectinas, etc.)<sup>93</sup>.

**1.6.2 Método de Van Soest.** El objetivo de este método es buscar una mejor alternativa para la determinación de la fracción de la fibra cruda en los forrajes utilizados para la alimentación de rumiantes, donde la calidad nutricional de la fibra es muy importante. Por lo tanto, los métodos de análisis se modifican dando origen a los procedimientos que se describen a continuación<sup>94</sup>:

*Fibra Neutro Detergente (FND).* Comprende la fracción que contiene los componentes de la pared celular.

La determinación comprende en hervir con un detergente neutro a reflujo., la muestra de forraje (antes secada a 60 °C), obteniéndose un residuo insoluble, compuesto

-----  
<sup>93</sup> Mora Brautigan, I., Óp. Cit., p., 17.

<sup>94</sup> *Ibíd.*, pp. 18-19.

principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina.

*Fibra Ácido Detergente (FAD)*. En este procedimiento, la muestra de forraje es sometida a reflujo con una solución detergente en medio ácido, la cual disuelve todo el contenido celular más la hemicelulosa. El residuo insoluble está compuesto principalmente por celulosa y lignina. Si restamos el porcentaje de FND el porcentaje de FAD, obtenemos por diferencia, el contenido de hemicelulosa de la muestra analizada.

*Lignina Ácido Detergente (LAD)*. El contenido de lignina presente en el residuo de FAD, se obtiene mediante la oxidación de compuestos orgánicos con  $H_2SO_4$ . La lignina y el sílice son resistentes a esta oxidación. El contenido de sílice existente en el residuo se separa de la lignina por incineración.

Si restamos el porcentaje de FAD el porcentaje de LAD, obtenemos por diferencia, el contenido de celulosa de la muestra analizada.

## **1.7 ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER**

El término de espectrometría infrarroja designa normalmente al estudio de la absorción de la radiación de longitudes de onda comprendidas entre 1 y 1000 micras. Este intervalo se acostumbra a dividir en tres regiones: el “infrarrojo cercano” que es la región comprendida entre 0.8 y 2.5  $\mu m$  (12500 a 4000  $cm^{-1}$ ); el “infrarrojo medio” que esta entre 2.5 y 50  $\mu m$  (4000 a 200  $cm^{-1}$ ); y el “infrarrojo lejano”, que corresponde a la región del espectro de 50 a 1000  $\mu m$  (200 a 10  $cm^{-1}$ )<sup>95</sup>.

Los espectros de absorción en el infrarrojo se originan en las transiciones entre los niveles vibracionales y rotacionales de moléculas que se encuentran en su estado electrónico fundamental<sup>95</sup>.

-----  
<sup>95</sup> Pickering, W.F., (1980). *Química analítica moderna*, Reverte, Barcelona, España, pp., 173-174. ISBN: 84-291-7471-0

## 1.8 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).

Esta técnica se utiliza para determinar el arreglo de átomos en los compuestos sólidos y para medir las longitudes y los ángulos de enlace<sup>96</sup>.

Esta técnica consiste en pasar por una sustancia solida cristalina un haz de rayos X y cuando este has pasa por la sustancia en estudio, se observa el fenómeno de interferencia como un aumento o una disminución de la amplitud total de la onda. El fenómeno de la difracción es la interferencia entre las ondas que se genera cuando hay un objeto en su trayecto<sup>96</sup>

Los rayos X se generan acelerando electrones a muy alta velocidad y dejándolos luego chocar con un blanco metálico. En la técnica de difracción de polvo, un haz monocromático (de una sola frecuencia) de rayos X se dirige a una muestra pulverizada dispersa en un soporte, y la intensidad de la difracción se mide a medida que el detector se mueve a diferentes ángulos y el patrón obtenido es característico del material de la muestra<sup>97</sup>.

## 1.9 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).

Es un instrumento que por medio de un cañón de electrones produce un haz de electrones enfocado con precisión, denominado haz primario. Estos electrones atraviesan lentes electromagnéticas y son dirigidos sobre la superficie de la muestra. El haz primario de electrones elimina electrones de la superficie externa de la muestra, éstos, emitidos en forma secundaria, son transmitidos hasta un colector, luego amplificados y utilizados para formar una imagen sobre una pantalla o sobre una placa fotográfica<sup>98</sup>. También cuando el has de electrones incidente son dirigidos a la muestra hace colisión con la superficie de la misma, y hay una emisión de rayos X<sup>99</sup>.

-----  
<sup>96</sup> William Atkins, P. y Jones, L., (2006). *Principios de química: los caminos del descubrimiento*. 3° Edición, Medica Panamericana; Buenos Aires, Argentina; p. 196. ISBN: 978-950-06-0080-4.

<sup>97</sup> *Ibíd.*, p. 197.

<sup>98</sup> Tortora, G.J.; Funke, B.R. y Case, C.L., (2007). *Introducción a la microbiología*, 9° Edición, Médica Panamericana; Buenos Aires, Argentina; p. 66. ISBN: 978-950-06-0740-7.

<sup>99</sup> Hernández Albañil, H. y Espejo Mora, E. (2002). *Mecánica de fractura y análisis de falla*, Volumen 8, Univ. Nacional de Colombia; Bogotá, Colombia; p. 238. ISBN: 958-701-242-9.

## 1.10 MICROSCOPIA CONFOCAL DE BARRIDO LÁSER (MCBL).

Esta técnica se basa en el empleo de un microscopio de fluorescencia modificado que permite la obtención de imágenes de un espesor reducido del tejido que no presentan elementos fuera de foco<sup>100</sup>.

El microscopio Confocal, utiliza normalmente un láser como fuente de iluminación, que se desplaza por la muestra, realizando un barrido punto a punto del tejido. Para dirigir la trayectoria del láser en este barrido, se intercala en la vía óptica un sistema de deflectores (espejos) que giran en ángulos opuestos, cuyo movimiento está controlado digitalmente. El láser es enfocado a través del objetivo para focalizar la luz sobre un punto del tejido, minimizando la luz a las zonas adyacentes, tanto en el plano horizontal (X-Y) como en el eje axial (Z). Los fluoróforos presentes en el punto iluminado son excitados por la luz incidente y responden emitiendo luz fluorescente de menor longitud onda, que es captada por el objetivo del microscopio, para posteriormente atravesar un condensador que focaliza la luz emitida sobre un receptor (un fotomultiplicador, un fotodiodo o un GCD)<sup>100</sup>.

-----  
<sup>100</sup> Ríos, M., (2007). *Neuroimagen. Técnicas y procesos cognitivos*. Elsevier, España; Barcelona, España, pp. 15-16. ISBN: 978-84-458-1776-6.

## **2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **2.1 UBICACIÓN DONDE SE REALIZARON LAS MEZCLAS EXPLORATORIAS**

Las mezclas exploratorias se realizaron en las instalaciones del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada unidad Altamira, del IPN (CICATA-IPN) y se encuentra ubicado en la Ciudad de Altamira al sur del Estado de Tamaulipas, en la carretera Tampico-Puerto Industrial, km 14.5, C.P. 89600.

### **2.2 PRUEBAS EXPLORATORIAS REALIZADAS**

La mezcla exploratoria más sobresaliente fue la correspondiente a la codificada como E-3.

**2.2.1 Enriquecimiento de la melaza en la mezcla E3.** Para la preparación de la mezcla se vertió 1524 gr de melaza en un recipiente, calentándose a 65°C en una estufa durante 30 minutos, (figura 4). Se pesaron 108 gr de hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) la cual se agregó a la melaza en agitación constante durante 20 minutos. Previamente, se diluyó 60 gr de urea en 219 ml de agua y se mezcló con la melaza tratada con  $\text{Ca(OH)}_2$ . Luego se agregó 42 gr de sal mineral. A la melaza con  $\text{Ca(OH)}_2$  y sal, se le añadió 231 gr de sorgo y 816 gr de maíz amarillo partido. La mezcla en su conjunto se agitó hasta que quedó homogeneizada. A continuación, se vertió en charolas como se puede apreciar en la figura 5 procediéndose a secar a 65°C. La mezcla se secó en 53 horas eliminándose un 90% de humedad, (figura 6). La mezcla una vez secada se sometió a un proceso de molido, (figura 7). Finalmente, la mezcla se cribó para formar una parte fina y otra granulada, (figuras 8 y 9).

**2.2.2 Análisis de la mezcla exploratoria E-3 fracción granulada (E-3B).** Para la caracterización de la mezcla fueron enviadas muestras al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) en la Habana, Cuba donde se les realizó un análisis bromatológico básico, que consistió en



Figura 4. Calentamiento de melaza a 65 °C.



Figura 5. Vertimiento de la mezcla en charolas



Figura 6. Mezcla con 10% de humedad



Figura 7. Mezcla E-3 molida.



Figura 8. Cribado de la mezcla E-3



Figura 9. Presentación de la mezcla E-3

determinar el porcentaje de Materia Seca (MS), de Cenizas, de Fósforo (P), de Proteína Cruda (PC), de ART\*, y de Calcio (Ca). Las técnicas analíticas utilizadas fueron las siguientes:

- **Masa seca:** por desecación a 105 °C por 12 horas y pesada hasta peso constante.
- **Cenizas:** a partir de la masa seca, incineración a 650 °C por seis horas seguido de pesada en balanza analítica. (AOAC 1984)<sup>101</sup>.
- **Fósforo (P):** determinación por el método de metavanadato de amonio.
- **Proteína cruda:** por el método de *Kjeldahl*, por digestión en presencia de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, destilación en medio alcalino del NH<sub>3</sub> y valoración con HCl, (AOAC 1984)<sup>1</sup>.
- **Azúcares reductores totales (ART):** método clásico de *Einon-Lane* (1923).
- **Calcio (Ca):** mineralización de la muestra y posterior determinación del complejo formado con el EDTA\*\*.

-----  
\* Azúcares Reductores Totales.

<sup>101</sup> AOAC, (1984), *Official Methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist.* 13°, Ed. Washington

\*\* Ácido etilendiaminotetracético.

## 2.3 SECUENCIA GENERAL APLICADA AL DESARROLLO DE LOS ALIMENTOS BALANCEADOS.

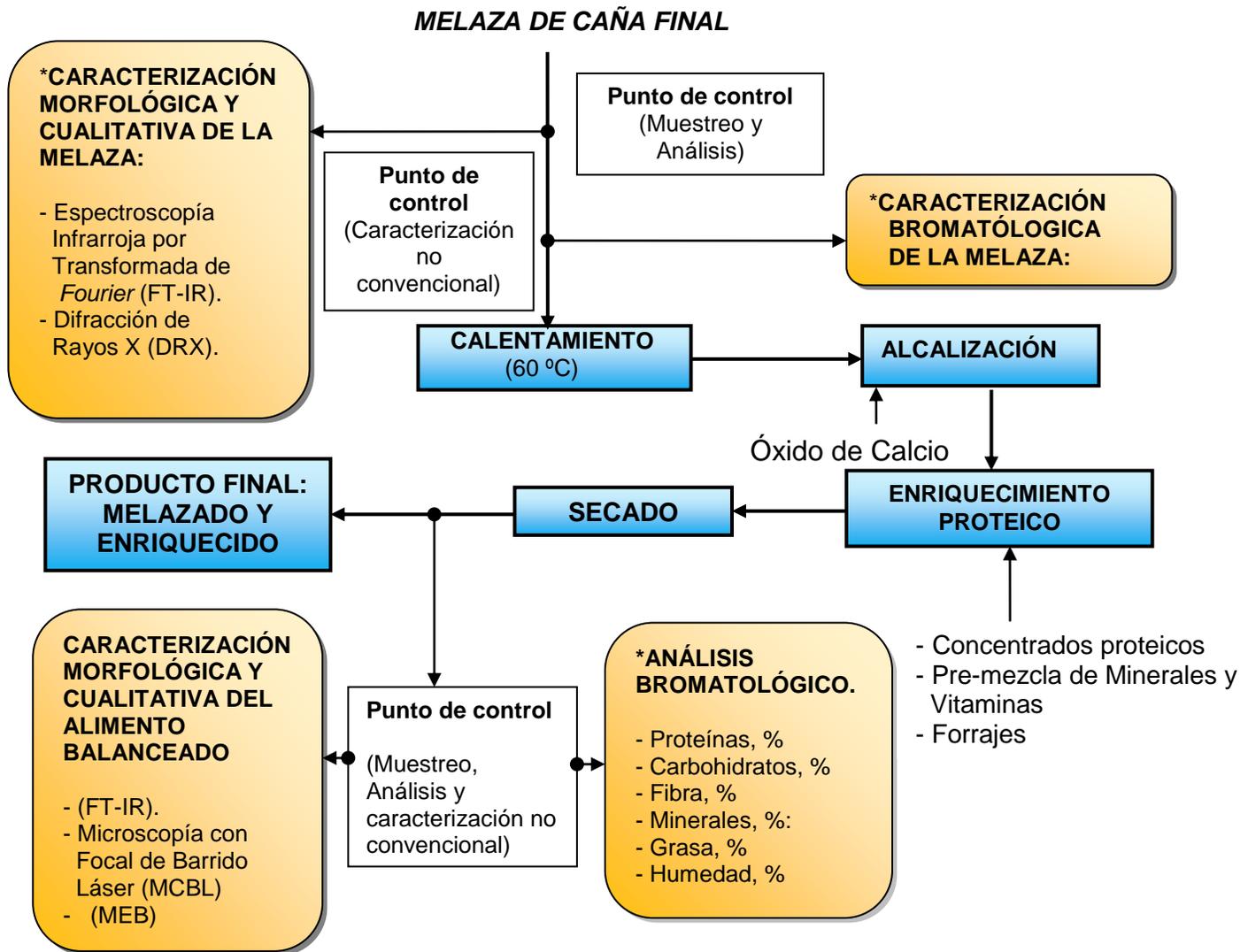


Figura 10. Diagrama general para el desarrollo de alimentos balanceados.

## 2.4 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DESARROLLO DE LOS ALIMENTOS BALANCEADOS.

A continuación se detalla el desarrollo de los alimentos balanceados, realizado en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN), Unidad Altamira.

**2.4.1 Formulación del alimento balanceado MFS.** Para la formulación del alimento MFS se utilizó el cuadrado de *Pearson* modificado utilizando como propiedad nutritiva de estudio la proteína cruda y se corroboró utilizando el programa de formulación para alimentos balanceados denominado CONFOR. Para el balance proteico se fijó 12% de PC, como valor recomendado para el aumento en peso de ganado de carne en etapa de finalización (350 a 450 kg), de acuerdo a las tablas del NRC (*National Research Council*).

De acuerdo al método de formulación de alimentos “cuadrado de *Pearson*” se fijaron los tres ingredientes:

- **Melaza**, utilizando un 41%, ya que este proyecto trata del uso primordial de melaza para el desarrollo del alimento balanceado ya que actualmente se utiliza como concentrado energético para el aporte de energía.
- Se fijó un 3.0 % de **óxido de calcio** para el tratamiento de alcalización de la melaza,
- Y un 2.0% de **pre-mezcla de vitaminas y minerales comercial** como aporte de micronutrientes y macronutrientes.

Para el balance de la formulación del alimento se empleó otros dos ingredientes no convencionales que fueron:

- **Cogollo de caña de azúcar** que representa el ingrediente fibroso o el forraje,
- **Residuos de la hidrólisis enzimática** de la harina de sorgo que es un subproducto de la fabricación de transglutaminasa (MTGasa), que es el ingrediente que aporta la mayor parte de la proteína.

De acuerdo al balance del cuadrado *Pearson* se llegó al criterio de que se debe utilizar 31% de cogollo de caña de azúcar que representa el forraje y 23% de subproducto de MTGasa que representa el concentrado proteico.

**2.4.2 Formulación del alimento balanceado ABM.** La formulación del alimento

ABM se realizó de acuerdo a una experiencia realizada en Brasil, donde FUE desarrollado un alimento balanceado para bovinos a base de subproductos de la caña de azúcar.

Como en el alimento MFS, en él alimento ABM se usaron dos ingredientes no convencionales:

- *Pasto maralfalfa*, que es una gramínea híbrida, y que representa el forraje,
- *Subproducto* de la fabricación de la MTGasa.

**2.4.3 Confección de los alimentos balanceados a escala de laboratorio.** La confección de los alimentos balanceados se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del IPN, Unidad Altamira (CICATA-IPN). El proceso de elaboración de los alimentos balanceado se refleja en la figura 11.



Figura 11. Desarrollo de los alimentos balanceados a escala de laboratorio

**2.4.3.1 Preparación del alimento balanceado MFS.** Se elaboró 400 g del alimento balanceado y en su desarrollo se procedió en la siguiente manera:

Se calentó 164 g de melaza a 60 °C en una estufa por un espacio de 30 minutos, para que los azúcares contenidos en la misma no se degradaran y la melaza tuviera más fluidez; a continuación, para favorecer el secado de la melaza y adicionarle calcio, se mezcló con 12 g de óxido de calcio (CaO) agitándose constantemente durante 20 minutos ver figura 12.



Figura 12. Mezclado de la melaza con Oxido de calcio.

Posteriormente, se adicionó 92 g del concentrado proteico MTGasa, para enriquecer proteicamente a la melaza ya que la misma tiene un bajo contenido de proteína, (figura 13). A continuación, se adicionó 8.0 g de pre-mezcla de minerales y vitaminas a la melaza enriquecida, para el completamiento del desarrollo del alimento completo ya que ello requiere de minerales y vitaminas. Posteriormente, se adicionó 124 g de cogollo de caña de azúcar a la melaza enriquecida como aporte de fibra ya que el ganado bovino necesita fibra para no provocar hinchamiento y generación abundante de gases en el rumen de los animales, (figuras 14 y 15).

Finalmente, al producto final (alimento MFS), se le eliminó la mayor parte de agua posible, para no favorecer el crecimiento de hongos, (figuras 16 y 17):



Figura 13. Mezcla de la melaza con MTGasa



Figura 14. Adición de melaza enriquecida al cogollo de caña de azúcar.



Figura 15. Mezcla de la melaza suplementada con fibra de cogollo de caña de azúcar.



Figura 16. Alimento balanceado terminado.



Figura 17. Presentación del alimento balanceado alternativo (MFS).

En la Tabla 8 se muestra el porcentaje y composición utilizados en el alimento balanceado (MFS).

Tabla 8. Porcentaje y cantidades utilizadas para el alimento (MFS).

Insumos	%	Peso, g
Melaza	41.0	164
Subproducto MTGasa	23.0	92
Cogollo de caña	31.0	124
Premezcla	2.0	8
Óxido de calcio	3.0	12
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>400</b>

**2.4.3.2 Preparación del alimento balanceado alternativo ABM.** Se prepararon 960 g de alimento ABM y el procedimiento para su confección es semejante al realizado para el alimento MFS solo que el ingrediente que aporta fibra es el pasto de mar alfalfa y el procedimiento fue el siguiente:

Se calentó a 60 °C durante 30 minutos la, luego se mezcló 33 gr de CaO diluido en 462 ml de agua a la melaza, ya al instante de agregar el CaO, se agitó la mezcla alcalizada durante 20 minutos. Previamente se diluyeron 27 gr de urea en 189 ml de agua y se le añadió a la melaza, se le agrego urea porque aporta el nitrógeno no proteico al alimento y también al agregar urea al confeccionar alimentos balanceados para rumiantes abaratan los precios de los mismos a la venta ya que la urea permite añadir menos cantidad de ingredientes que aportan proteína.

Posteriormente, se mezcló 27 g de premezcla de vitaminas y minerales, para dar el aporte adicional de minerales. Luego se añadió y mezclaron 300 g de subproducto de la fabricación de MTGasa para el aporte proteico. Posteriormente para aportar fibra a la melaza enriquecida se le añadieron 347 g de pasto maralfalfa y se mezcló. Finalmente se deshidrató la mezcla final obtenida (alimento ABM) a 60 °C durante 24 horas en una estufa.

En la Tabla 9 se muestra el porcentaje y composición utilizados en el alimento balanceado alternativo (MFS):

Tabla 9. Porcentaje y cantidades utilizadas para el alimento (ABM).

Insumos	%	Peso, g
Melaza	41.0	410
Subproducto MTGasa	22.5	225
Maralfalfa	26.0	260
Premezcla	2.0	20
Óxido de calcio	2.5	25
Urea	2.0	20
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>960</b>

## 2.5 MÉTODOS ANALÍTICOS

Los análisis y caracterizaciones se realizaron en el laboratorio INDEXLAB, determinándose el contenido de proteínas y humedad para el cogollo de caña de azúcar.

Por su parte, en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Unidad Santo Tomás del IPN, en el DF, se realizaron los análisis de humedad, PC, y cenizas para la melaza deshidratada y el alimento MFS, respectivamente, y para el alimento ABM se realizaron los mismo análisis pero a este último adicionalmente se le analizó el EE y FC. También se le realizaron análisis de, PC, cenizas y humedad a los subproductos que se usaron para formular los alimentos balanceados, que fueron; el pasto de maralfalfa y el subproducto de la fabricación de la transglutaminasa.

Para efectos de comparación, en el Instituto Tecnológico de Altamira (ITA) también se realizaron análisis de PC, al alimento ABM, al pasto maralfalfa y al subproducto de MTGasa.

Igualmente, en el Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías (CNMN), del IPN, Unidad Zacatenco, DF, se realizaron las caracterizaciones morfológicas, químicas-cualitativas de los alimentos MFS y ABM. En el caso de la melaza se le realizó también una caracterización química-cualitativa.

En el CICATA-IPN, Unidad Altamira, se le realizó una caracterización química-cualitativa del azúcar comercial y la melaza adquirida en el ingenio Panuco de Veracruz.

**2.5.1 Caracterización bromatológica.** Para saber la calidad nutricional de los alimentos ABM, MFS, melaza, cogollo de caña de azúcar, maralfalfa y el subproducto de MTGasa se utilizó parte del análisis proximal o *wendee*, que comprende de, análisis de proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE) o grasas, cenizas y humedad, para la melaza se utilizó el cálculo de °Bx. También lo que se buscaba con estos análisis era saber si los alimentos que se desarrollaron son semejantes en cuanto a su calidad nutricional a los alimentos que están actualmente en el mercado. Y los resultados del análisis proximal que se obtuvo de los ingredientes no convencionales que se utilizaron para formular los alimentos balanceados que fueron, el cogollo de caña de azúcar, el pasto de maralfalfa y el subproducto de MTGasa, se usaron para poder balancear estos ingredientes al formular los alimentos ABM y MFS ya que a ese efecto en una dieta para alimentar al ganado bovino, primero se necesita saber la calidad nutricional de los ingredientes a balancear.

**2.5.1.1 Análisis bromatológico de la melaza.** Para el análisis de PC se empleó el método *Kjeldahl* y para el análisis de humedad se usó el método de secado en estufa a 110 °C, mientras que para el análisis de cenizas se usó el método de incineración de 500°C a 600 °C por medio de una mufla. Los métodos analíticos se realizaron de acuerdo a las normas de la AOAC y las normas mexicanas, modificadas por la ENCB del IPN. En los Anexos A, B, C, D se muestran los procedimientos establecidos para la determinación de la PC, Humedad, ceniza y extracto etéreo (grasas).

**2.5.1.2 Análisis bromatológico del cogollo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).** Al cogollo se le analizó el contenido de PC por el método establecido en la AOAC 955.04 y el contenido de humedad por el método implementado por la AOAC 930.04, el contenido de MS se calculó por diferencia.

**Preparación de la muestra:**

1. Se colocó la fibra del cogollo en una charola grande.
2. Se homogenizó el cogollo, ver figura 18.
3. Se midió la charola colocándose un hilo grueso para así dividirla en nueve cuadros y muestrear el cogollo para su previo análisis, ver figuras 19 y 20.
4. Se tomó muestras de los dos cuadros inferior y superior del lado izquierdo, el cuadro de en medio de los tres cuadros centrales y los cuadros inferiores y superior del lado derecho de la charola, ver figuras 21 y 22.



Figura 18. Homogenización de las fibras de cogollo para realización de análisis.



Figura 19. Medición de la charola para la división para el muestreo.



Figura 20. Charola dividida en nueve cuadros para muestreo.



Figura 21. Toma de la muestra.



Figura 22. Cuadros de donde se tomó la muestra de cogollo.

El cogollo que se muestreó en la charola dividida, se colectó en una bolsa resellable para proceder con los análisis de proteína y humedad tal y como se muestra en la figura 23. El análisis de proteína y humedad del cogollo se realizó por duplicado determinándose su promedio correspondiente.

**2.5.1.3 Análisis bromatológico del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*).** Se analizó el contenido de PC y humedad para la maralfalfa y los métodos que se utilizaron fueron los mismos que para la melaza.



Figura 23. Forraje de cogollo muestreada para su análisis de proteína y humedad.

Pero también se le hizo un análisis de PC a la maralfalfa en el Instituto Tecnológico de Altamira (ITA). El método que se utilizó fue de acuerdo a la norma AOAC 1984.

**2.5.1.4 Análisis bromatológico del subproducto de MTGasa.** Se analizó el contenido de PC, cenizas y humedad para el subproducto de MTGasa y los métodos que se utilizaron fueron los mismos que para la melaza y también se le realizó un análisis de PC en el ITA y el método que se utilizó para cuantificar el contenido de PC fue el mismo que para el pasto maralfalfa.

**2.5.1.5 Análisis bromatológico del alimento balanceado MFS.** Se analizó el contenido de PC, cenizas y humedad al alimento MFS y los métodos que se utilizaron fueron los mismos que se realizaron a la melaza en la ENCB. En las figuras 24 y 25 se muestra parte del procedimiento del análisis de PC por el método de *Kjeldahl*.

**2.5.1.6 Análisis bromatológico del alimento balanceado ABM.** Se analizó el contenido de PC, cenizas y humedad, los métodos que se utilizaron fueron los mismos que se realizaron a la melaza en la ENCB, pero adicionalmente se realizó un análisis de FC, EE. Para el análisis de FC se aplicó el método de Soxhlet, y para el análisis de FC se aplicó la norma mexicana NMX-F-090-S-1978. También se hizo un análisis de PC en el ITA y se aplicó el método de la AOAC-1984.

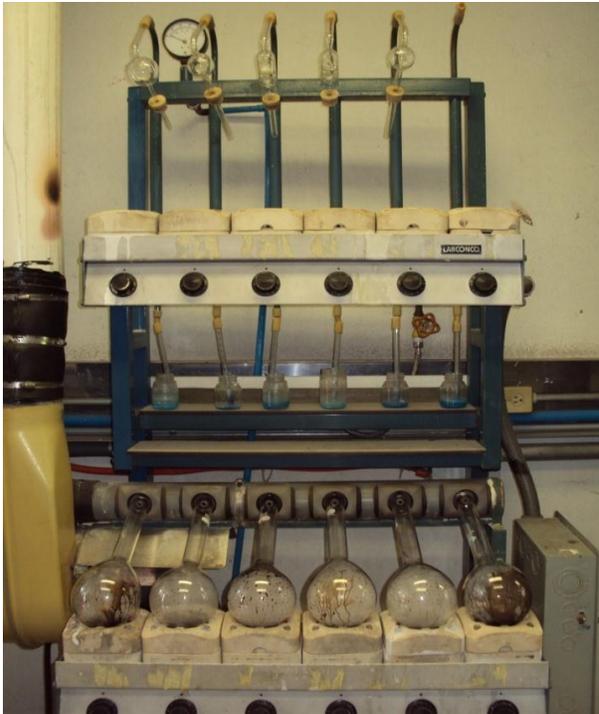


Figura 24. Vista del equipo *Kjeldahl*. (Etapa de Digestión).



Figura 25. Titulación (determinación de la cantidad de nitrógeno en las muestras).

**2.5.2 Caracterización química-cualitativa.** Para la caracterización química-cualitativa se usaron dos técnicas no convencionales para analizar, la melaza y los alimentos ABM y MFS.

Las técnicas que se usaron fueron: Espectroscopía Infrarroja por Transformada de *Fourier* (FT-IR) para analizar la melaza y los alimentos balanceados. Difracción de Rayos X (DRX) para analizar la melaza y azúcar comercial.

**2.5.2.1 Espectroscopía Infrarroja por Transformada de *Fourier* (FT-IR).** Se utilizó esta técnica para identificar de manera cualitativa los compuestos orgánicos predominantes en la melaza y en los alimentos balanceados, para verificar de una manera cualitativa si hay diferencias en el contenido proteico de la melaza contra la melaza enriquecida al añadirle los ingredientes no convencionales.

**Procedimiento general de la caracterización mediante (FT-IR).** Se utilizó un equipo marca *Horiba 50BW* y *VON LabRam* Modelo HR80, el cual cuenta con tres líneas de excitación:

1. 532 nm
2. 633 nm
3. 785 nm (fue la que se utilizó )

Se empleó un láser de  $785\text{ cm}^{-1}$  a un intervalo de  $4000\text{-}445\text{ cm}^{-1}$ , corriéndose a 10 acumulaciones de  $100\text{-}370\text{ cm}^{-1}$ , a 50 X y analizándose 600 líneas por milímetro.

En la figura 26, se muestra el equipo utilizado para la caracterización cualitativa realizada.

► **Ajustes previos al análisis:**

- Se climatizó el local donde está ubicado el equipo a una temperatura estable de  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en evitación de lecturas erróneas.
- Se corrió un patrón de Silicio el cual es un parámetro conocido con el cual se calibra el equipo.
- Se ajustó la línea base.

► **Preparación de las muestras:**

1. Se colocó un papel absorbente, en calidad de tapete para las corridas.
2. Se colocó un portaobjetos.
3. Se colocó una pequeña tira de cinta adhesiva doble.
4. Sobre la cinta fija se colocó un poco de muestra con ayuda de pinzas plásticas.

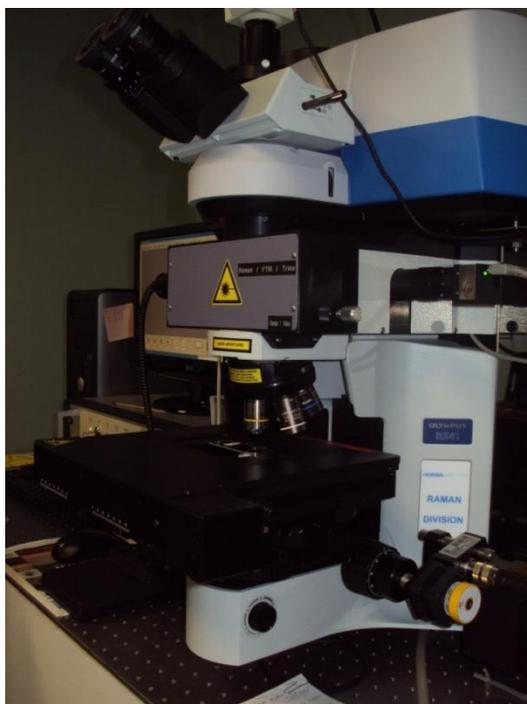


Figura 26. Equipo de Espectroscopia *Raman* e IR.

**2.5.2.2 Difracción de Rayos X (DRX).** Se usó esta técnica para identificar de manera cualitativa los cristales de sacarosa contenidos en la melaza, así como también para verificar que al deshidratar la melaza a 60 °C no hubo un deterioro de los azúcares contenidos en la misma y así afirmar de que el proceso de secado utilizado fue el idóneo.

***Procedimiento general de la caracterización de la melaza mediante DRX.*** Se utilizó un difractómetro de rayos X modelo *BRUKER ADVANCE D8*, con un ánodo de cobre, el cañón emite rayos X con una longitud de onda de 1.5406 nm.

► **Ajustes previos al análisis:**

- Se fijó un tamaño de paso de medición cada 0.2 grados
- Se fijó un intervalo de 10 a 50° en  $2\theta$  para la medición.

► **Preparación de las muestras:**

- La melaza se secó en una estufa a 60 °C y posteriormente fue sometida a un proceso de molienda hasta lograr una consistencia muy fina.
- Se procedió a muestrear una pequeña cantidad de muestra colocándose a en un porta-muestras transparente, ver figura 27.
- Se repitió el análisis por triplicado.



Figura 27. Colocación de melaza deshidratada en el porta-muestras para análisis de DRX.

También se analizó azúcar comercial (sacarosa) por difracción de rayos X, para efectos de comparación, y para el procedimiento de análisis se procedió igual que para el caso de la melaza.

**2.5.3 Caracterización morfológica.** Se usaron dos técnicas alternativas para analizar morfológicamente a los alimentos balanceados.

Para los alimentos ABM y MFS se usó la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), acoplado con un Espectrómetro de Dispersión de Energía (EDS) usando rayos X, pero solo para el alimento ABM se usó el analizador EDS.

Para el alimento balanceado MFS se usó la técnica de Microscopía Confocal de Barrido Láser (MCBL).

**2.5.3.1 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), con Espectrómetro de Dispersión de Energía (EDS).** Esta técnica fue empleada para identificar preliminarmente el contenido de minerales en los alimentos balanceados ya que los minerales son indispensables para la nutrición de los rumiantes, también para saber preliminarmente si los alimentos balanceados son potencialmente digestibles y para verificar si la melaza se impregno y homogenizo al mezclar la melaza con los forrajes al momento de elaborar los alimentos.

***Procedimiento general de la caracterización mediante (MEB).*** Se utilizó un microscopio *Quanta 3DFEG* (SEM/FIB) acoplado con un Espectrómetro de Dispersión de Energía (EDS), los ajustes y condiciones previos a los análisis fueron los siguientes:

- Se trabajó a una presión al alto vacío.
- Se empleó cinco porta muestras.
- Se instaló una distancia de 10 mm entre la muestra y el cañón (Wd).
- Se estableció un voltaje de 15 Kv (Hv) para la toma de imágenes.
- Se trabajó bajo el Modo: SE= Electrones Secundarios.

► **Preparación de las muestras:**

1. Se usaron porta muestras circulares con cinta de carbón, con un pivote el cual se insertó en una placa de unigel para poder fijar las muestras, (figura 28).
2. Se fijaron las muestras en la cinta de carbón con la ayuda de pinzas.
3. Se rociaron las porta-muestras con aire comprimido para eliminar impurezas.

El procedimiento para el análisis de EDS, consistió en que se bombardea con un rayo de electrones que se utiliza en el MEB, donde raspa una parte localizada de la

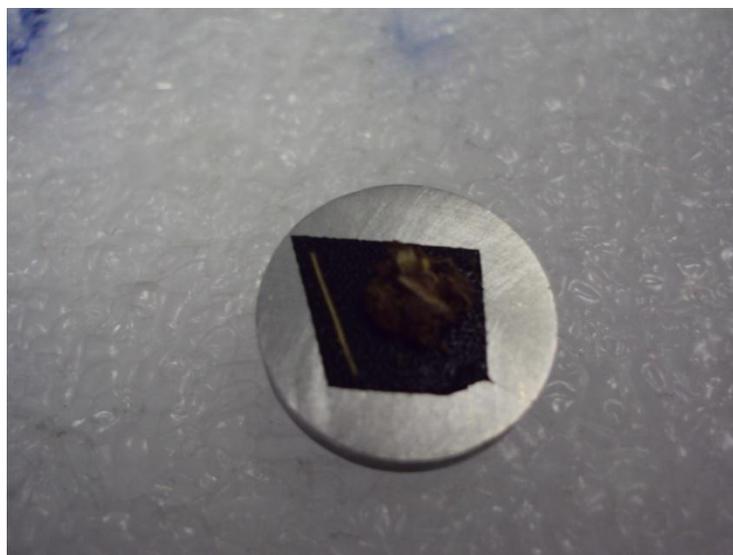


Figura 28. Muestra para la toma de imágenes en el MEB.

muestra, provocando un desprendimiento de electrones (energía), el cual ese desprendimiento se analiza por medio de rayos X y genera un espectro. Para interpretar los espectros generados se utilizó el programa DPP-2 Shell.

**2.5.3.2 Microscopía Confocal de Barrido Láser (MCBL).** Se usó esta técnica para saber las dimensiones preliminares del forraje después del proceso de molienda contenido en el alimento MFS y también para visualizar preliminarmente si el forraje es potencialmente digestible.

***Procedimiento general de la caracterización mediante (MCBL).*** Se usó un equipo modelo *LSM 710* marca *Carl Zeiss*, se trabajó con un nodo 2 sky cada  $7.2\mu$ , se usó un láser 405 y se trabajó en un área de  $1414.2\mu \times 1414.2\mu$ , el tamaño de imagen fue 512 pixeles y para la adquisición de imágenes se usó el programa *ZEN 2009*. Para la preparación de las muestras, se utilizó cajas *petri* de 35 X 10 mm.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 MEZCLA EXPLORATORIA E3.

En la tabla 10 se presenta los resultados de los análisis químicos y bromatológicos básicos de la mezcla exploratoria E-3B:

Tabla 10. Análisis químico y bromatológico de la formulación exploratoria E-3B<sup>102</sup>.

PC	Azúcares	MS	Cenizas	Ca	P	A.R.T
13.35%	49.61%	90.0%	18.35%	4.85%	0.88%	20.34%

<sup>1</sup> Análisis realizado por el ICIDCA, República de Cuba. Valores promedios

El contenido de PC, se enmarca dentro de los rangos de PC que requieren los bovinos para la producción de carne en la etapa final, similar a la PC obtenido en el estudio de Riera-Sigala<sup>1</sup> *et al*, donde se obtuvo un 14.03% de PC en su suplemento (con una ración conformada a base de 30% de harina de maíz, 20% de cama de pollo, 15 % de pulido de arroz, 10 % de soya, 10 % de olote de maíz, 10 % de miel final y 5 % de harina de carne y hueso), para mejorar la engorda de toros *Brahman* puros y F1 *Brahman X Bos Taurus*. Resultados similares fueron igualmente reportados en el estudio de Álvarez y Gutiérrez-Vázquez<sup>103</sup> (2001), en donde se desarrollaron dos alimentos a base de estiércol fresco de cerdo (30%) y miel final (35%), uno con rastrojo de maíz (35%) y otro con pasta de soya (35%), lográndose un contenido de PC de 13.7 y 14.2% respectivamente, para la engorda de la raza Cebú x *Brown Swiss*. El contenido de PC de la mezcla exploratoria está entre los rangos del contenido de PC del ensayo de Xuan y Duc<sup>104</sup> (2003), que osciló entre 12 y 23%, para la alimentación de rumiantes utilizando árboles no convencionales / plantas, *Calabauara muntingia*, *Hibisco rosa Sinensis L*, *Mora (Morus alba)* y *Trichanthera gigantea* para la alimentación de rumiantes.

<sup>102</sup> Riera-Sigala, T. J. et. al. (Febrero-2004). "Rasgos de crecimiento y pesos en canal de toros *Brahman* puros y F1 *Brahman x Bos taurus* criados y cebados semi-intensivamente en sabana mejorada", *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, Vol. 12, No. 2, pp. 66-72.

<sup>103</sup> Álvarez, S.P.C. y Gutiérrez Vázquez, E. (Agosto-2001), "Engorda de toretes a base de estiércol fresco de cerdo y dos fuentes de fibra en una empresa comercial", *Livestock Research for Rural Development*, revista en línea, Vol. 13, No. 4.

<sup>104</sup> Xuan Ba, N. y Duc Ngoan, L. (Junio-2003). "Evaluation of some unconventional trees/plants as ruminant feeds in Central Vietnam", *Livestock Research for Rural Development*, Vol. 15, No. 6.

### 3.2 MELAZA UTILIZADA

En la tabla 12 se presenta los resultados de proteína cruda (PC), sacarosa y °Bx. De acuerdo al análisis de proteína en la melaza utilizada, resultó relativamente alta comparándolo con las tablas de la NRC<sup>105</sup>, con un 5.8% de PC y muy alta de acuerdo a la investigación documentada por Otero Rambla<sup>106</sup> con un 3.2% de PC.

Tabla 11. Resultados de sacarosa, °Bx y PC.

	Promedio	Desv. Estándar
Proteína, (%)	6.875	0.271
Sacarosa (POL)	36.5	1.25
° Bx	91.2	1.13

Y el contenido de sacarosa con un 36.21% está dentro de los rangos normales de acuerdo a datos disponibles, sobre las mieles cubanas, de la zafra 2006 y el contenido de °Bx está relativamente alto de acuerdo al estudio documentado por Serrano (1986)<sup>107</sup>, donde los °Bx más altos obtenidos fue en el de 1972 con un valor de 90.35 °Bx, esto puede ser debido al proceso final del ingenio donde se obtuvo la melaza que se utilizó en los alimentos, y la causa de esto puede ser al tiempo prolongado de extracción del agua contenida en la meladura\* en los tachos, para fomentar el crecimiento de más cristales de sacarosa y esto provoca que se acumule más sólidos (incluyendo la sacarosa) en la meladura.

En la figura 29, se presenta tres espectros IR, uno de la melaza utilizada, deshidratada a 60 °C (a), otro del alimento balanceado (MFS), parte fibrosa (b) y el ultimo que es la parte fina del alimento MFS (c).

En el espectro resultante de la melaza deshidratada, en el área de 3286 cm<sup>-1</sup> surgió una banda ancha debido a la vibración y estiramiento de los enlaces –OH, que se

-----  
\* Es el fluido donde se forman los cristales de sacarosa.

<sup>105</sup> National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition, 1996, pp. 188- 190, 214.

<sup>106</sup> Otero Rambla, M.A., (1997), *Las Mielles Finales de Caña*, ICIDCA, La Habana, p. 6.

<sup>107</sup> Serrano, P.; Biart, J.R. y Conde J. (1986). *La industria de los derivados de la caña de azúcar*. Editorial Científico-Técnica, La Habana, p. 149.

encuentran abundantemente en las moléculas de los carbohidratos contenidos en la melaza, como la sacarosa, fructosa, glucosa y también debido al contenido de humedad que pudo haberse absorbido durante el traslado para hacer los análisis. En la banda que aparece en la frecuencia  $2918\text{ cm}^{-1}$  se le atribuye al estiramiento del enlace C-H, que se encuentra también en las moléculas de carbohidratos antes mencionado. En la frecuencia  $1580\text{ cm}^{-1}$ , se puede atribuir al estiramiento del grupo  $\text{COO}^-$ , muy probable por los aminoácidos carboxílicos. La banda que aparece en la frecuencias  $1403\text{ cm}^{-1}$ , es debido a la flexión y vibración del enlace C-H, muy probable por las moléculas de los carbohidratos. En la frecuencia  $1039\text{ cm}^{-1}$ , se le atribuye al estiramiento provocado por el enlace C-O, muy probablemente por la molécula de sacarosa. En la frecuencia  $924\text{ cm}^{-1}$ , se le puede atribuir a las vibraciones provocadas por los enlaces del anillo asimétrico propio de la

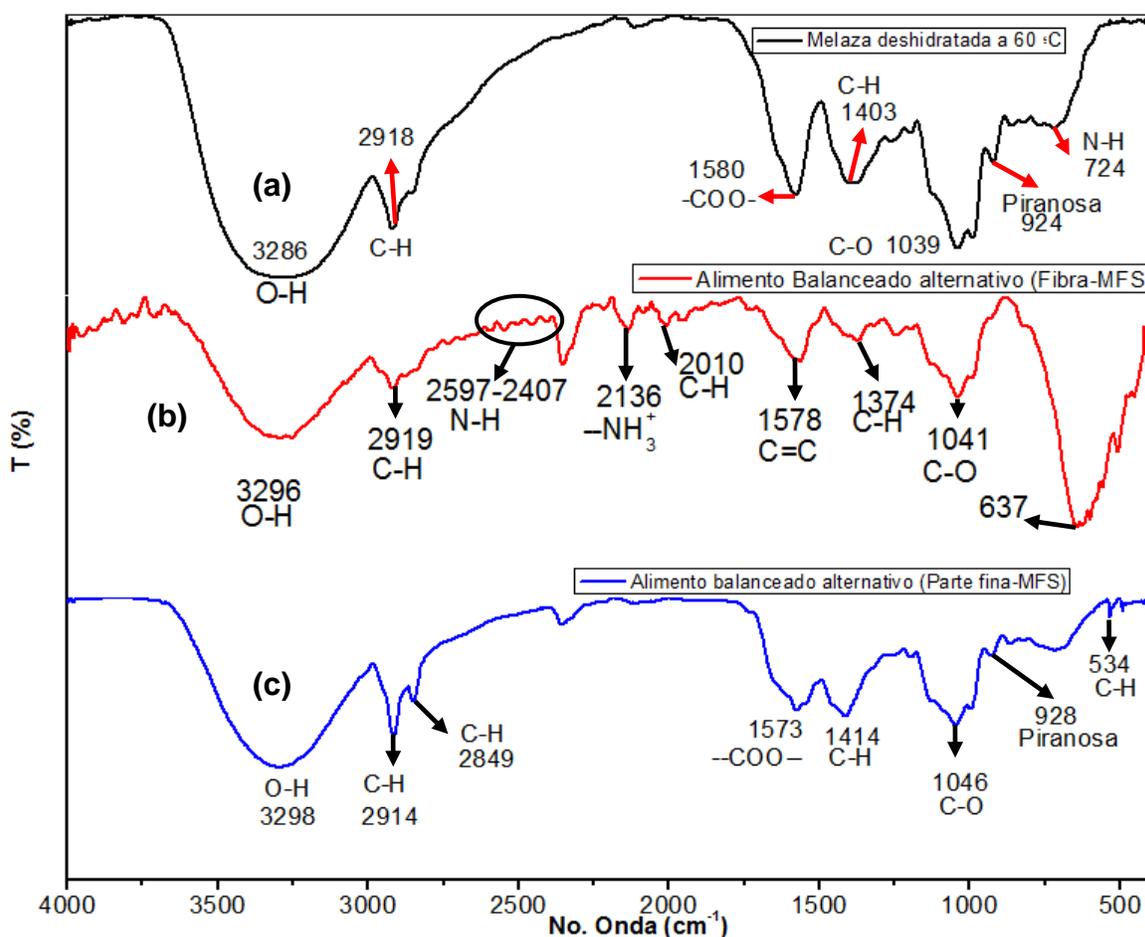


Figura 29. Espectros de, a) Melaza deshidratada a  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , b) Alimento (MFS) parte fibrosa y c) Alimento (MFS) parte fina.

estructura de la molécula de sacarosa y en la frecuencia  $724\text{ cm}^{-1}$ , se le puede atribuir al enlace N-H de las moléculas de las aminas. Las bandas fueron identificadas por medio del manual de tablas y cartas recopiladas por Sócrates George<sup>108</sup> y el espectro de la melaza se comparó con el espectro de la melaza obtenido en el estudio de Navickaité, G., et. al.

Comparando las bandas generadas en el espectro de la muestra del alimento MFS, parte fina (c), con las bandas resultantes del espectro de la melaza, son semejantes, a excepción de la banda que se encuentra en la frecuencia  $534\text{ cm}^{-1}$ , que puede deberse al enlace C-H de las aminas, esta banda se aproximó a la frecuencia de la banda del enlace C-H que se encontró en el espectro de la melaza obtenido en la investigación de Navickaité, G., et. al.<sup>109</sup>.

En el espectro (b), de acuerdo al manual de Sócrates George<sup>110</sup>, las bandas con intensidad baja que aparecen en el intervalo  $2597\text{-}2407\text{ cm}^{-1}$  se le puede atribuir al estiramiento del enlace N-H de las aminas, en la frecuencia  $2136\text{ cm}^{-1}$ , puede deberse al estiramiento simétrico del grupo  $\text{-NH}_3^+$ , de las aminas terciarias, en la banda que aparece en la frecuencia  $2010\text{ cm}^{-1}$ , puede atribuirse al estiramiento del enlace C-H, probablemente como parte de las moléculas de los aminoácidos libres y en la banda resultante en la frecuencia  $637\text{ cm}^{-1}$ , no se ha identificado. La banda que surgió en la frecuencia  $1578\text{ cm}^{-1}$ , se le atribuye al doble enlace C=C de los anillos aromáticos que forman parte de la estructura molecular de la lignina según en la aproximación a lo reportado por Espitia Sibaja<sup>111</sup> y las demás bandas resultantes en el espectro de (b) comparándolas con las del espectro de la melaza, son semejantes.

De lo hablado anteriormente se deduce que el espectro de la melaza (a) y el espectro del alimento MFS parte fibrosa (b) hay una diferencia significativa por las

-----  
<sup>108</sup> Sócrates George, Wiley John & Sons. (2001). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies. Tables and Charts*. Third Edition, pp. 328-340.

<sup>109</sup> Navickaité, G., et. al., (2010). "Molasses Influence on Ash Granulation Process and Quality Parameters", *Materials Science*, Vol. 16, No. 4, pp. 373-379.

<sup>110</sup> Sócrates George, Óp. Cit., p. 375.

<sup>111</sup> Espitia Sibaja, H.M. 2010. Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos. Medellín, 75 pp. Trabajo de grado: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.

bandas resultantes que se le atribuye al grupo de las aminas y al doble enlace C=C en el espectro (b), y que esas bandas no aparecen en el espectro de la melaza, porque en el espectro (b) resultante, que es del análisis de una muestra del alimento MFS, o melaza enriquecida que contiene ingredientes con un alto porcentaje de proteína, lo que esto significa que se suman más moléculas con los grupos funcionales de las aminas y también por el forraje que es el cogollo de la caña de azúcar, que contiene un alto porcentaje de lignina que en su estructura molecular contiene los enlaces C=C en los anillos aromáticos.

En la figura 30 se muestra el difractograma resultante de la melaza deshidratada a 60 °C para verificar si hubo una degradación de los cristales de sacarosa contenidos en la melaza:

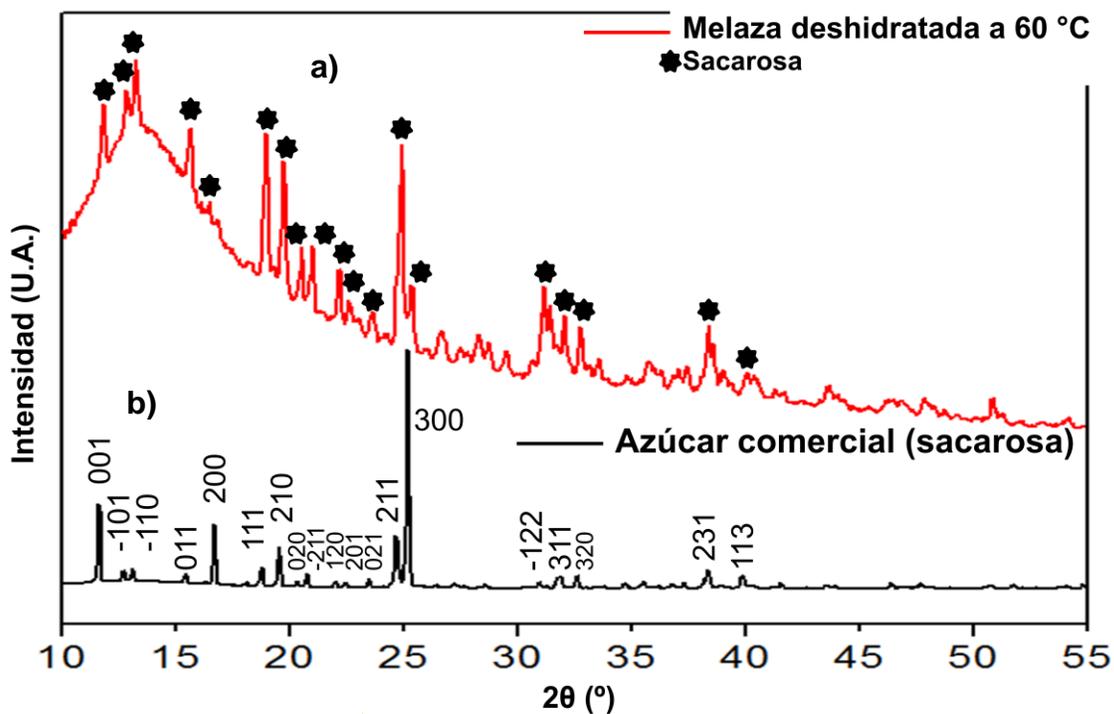


Figura 30. Difractogramas de, a) Melaza deshidratada y b) Azúcar comercial.

Como se observa en la figura 35, el difractograma resultante de la melaza deshidratada presenta difracciones características de los cristales del azúcar por consiguiente se demuestra que los cristales de azúcar no se degradaron durante el

proceso de calentamiento a 60 °C, las difracciones presentes en el difractograma de la melaza deshidratada se comparó con el difractograma resultante del azúcar comercial para verificar que las difracciones encontradas en el difractograma de la melaza son a causa de los cristales de sacarosa y adicionalmente también se corroboró este resultado con la base de datos EVA, con el patrón de sacarosa de la carta PDF-0024-1977.

### 3.3 SUBPRODUCTO DE LA FABRICACIÓN DE MTGASA

En la tabla 12 se presentan los resultados de proteína cruda (PC), cenizas, materia seca (MS) y humedad realizados del subproducto de la fabricación de MTGasa.

Tabla 12. PC, cenizas, MS y humedad del subproducto de MTGasa, en Base seca (BS)

	Promedio	Desv. Estándar
<b>PC, (%)</b>	15.06	0.07
<b>Cenizas, (%)</b>	1.74	0.01
<b>Humedad, (%)</b>	7.42	0.00
<b>MS, (%)</b>	92.58	0.00

De acuerdo al contenido de PC resultante y a Dryden<sup>112</sup>, el subproducto de MTGasa se le clasificaría como un alimento energético, porque contiene menos del 20% de PC y también porque es un subproducto ya que es resultado del hidrolizado enzimático de harina de sorgo, como parte del proceso de fabricación de MTGasa.

También el contenido de PC es mayor a otros suplementos como los granos, maíz amarillo (*sea mays identata*), sorgo (*sorghum bicolor*), con un 2.8, 12.6% de PC respectivamente de acuerdo a los datos de la NRC<sup>113</sup> y a la mayoría de los pastos, como al pasto bermuda (*synodon dactylon*), el pasto festuca (*Festuca arundinacea*) con un 12.6, 15.0% de PC respectivamente según datos de la NRC<sup>114</sup>, al pasto

-----  
<sup>112</sup> Dryden, G. M. (2008). *Animal nutrition science*. CABI, Cambridge, EUA, p. 16. ISBN: 978-1-84593-412-5

<sup>113</sup> National Research Council. Óp. Cit., pp. 136, 140.

<sup>114</sup> *Ibid.*, pp. 134, 138.

elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv, mott), con un 9.7% de PC según Espinoza<sup>115</sup>, et. al., pasto pangola (*Digitaria decumbens*) con un 7.6% de PC a lo reportado por Juárez Reyes<sup>116</sup>, A. S., et. al., y al pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con un contenido de 12.5% de PC según lo obtenido en el trabajo de, del Pozo, et. al<sup>117</sup>.

Pero cabe destacar que este subproducto es relativamente nuevo, y la manera que se obtiene está aún en estudio.

### 3.4 COGOLLO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)

En la tabla 13 se presentan los resultados de PC y humedad realizados al cogollo.

Tabla 13. Humedad y PC del cogollo de caña, (BS)

	Promedio	Desv. Estándar
PC, (%)	2.66	0.085
Humedad, (%)	8.9	-----

El contenido de PC resultante del cogollo de caña de azúcar, es relativamente bajo comparando el contenido de PC del cogollo de caña reportado de otras investigaciones, como en las de (Sotelo y Lois, 2000)<sup>118</sup>, (Suárez, R., et. al., 2011)<sup>119</sup>, (Nguyen Thi Mui, et. al., 1997)<sup>120</sup>, y al de (Galina, M.A., et. al., 2003)<sup>121</sup>, con un 6.5, 5.05, 5.00 y 4.13% de PC respectivamente, también el contenido de PC del cogollo

-----  
<sup>115</sup> Espinoza, F., et. al. (2001). "Evaluación del pasto king grass (*pennisetum purpureun* cv. king grass) en asociación con leguminosas forrajeras" *Zootecnia Tropical*, Vol. 19, No. 1, pp. 59-71.

<sup>116</sup> Juárez Reyes<sup>15</sup>, A.S., et. al., (2009). "Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas in vitro", *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 47, No. 1, pp. 55-68.

<sup>117</sup> Del Pozo, P.P.; Herrera R.S. y M. García. (2002). "Dinámica de los contenidos de carbohidratos y proteína bruta en el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con aplicación de nitrógeno y sin ella", *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Vol. 36, No. 3, pp. 275-279.

<sup>118</sup> Costales Sotelo, R. y Lois Correa, J. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azúcar*. ICIDCA, Ciudad de La Habana, p. 62.

<sup>119</sup> Suárez, R., et. al., (Enero-Marzo, 2011). "Evaluación de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* y *Gliricidia sepium* con la utilización de aditivos", *Pastos y Forrajes*, Vol. 34, No. 1, pp. 69-86.

<sup>120</sup> Nguyen T.M.; Preston, T.R. y Dinh, V.B. (Enero-1997). "Sugar cane tops as a feed for goats; Effect of harvest season", *Livestock Research for Rural Development*, artículo en línea; Vol. 9, No. 1.

<sup>121</sup> Galina, M.A., et. al., (Septiembre-2003). "Effect of slow release urea supplementation on fattening of steers fed sugar cane tops (*Saccharum officinarum*) and maize (*Zea mays*): ruminal fermentation, feed intake and digestibility", *Livestock Production Science*, Vol. 83, No. 1, pp. 1-11.

de caña de azúcar resulto bajo de acuerdo a los datos de la FAO<sup>122</sup> con un 2.6 a 6.3 % de PC. Pero en el estudio de, Shultz T.A<sup>123</sup>, y colaboradores se obtuvo un contenido de PC bajo del que se obtuvo en este estudio con un 2.2% de PC, pero con un contenido de MS del 92.3%, pero en ese mismo estudio se realizó otro análisis de PC a otras muestras de cogollo de caña de azúcar con un contenido de MS del 96.4% donde de esas muestras reportaron un 5.5% de PC.

El bajo contenido de PC resultante del cogollo de caña de azúcar en este estudio puede ser debido, a que los cogollos obtenidos fueron de cañas pudo haber sido de una variedad de baja calidad y porque antes de cortar la caña hubo una leve sequía en el lugar donde se cortaron las cañas.

### 3.5 PASTO MARALFALFA (*Pennisetum sp*)

En la tabla 14 se presenta los resultados de PC, humedad y MS del pasto maralfalfa.

Tabla 14. Humedad y PC del pasto maralfalfa, (BS)

	Promedio	Desv. Estándar
PC, (%)	2.36	0.00
Humedad, (%)	14.02	-----
MS, (%)	85.98	-----

El contenido de PC resultante obtenido en este estudio es relativamente bajo con respecto a otros estudios como es en el caso de, (Correa, H.J., 2006)<sup>124</sup>, donde se reportó un contenido de PC de 21.8% y también como en el estudio de, (Ramírez Y. y Pérez J., 2006)<sup>125</sup>, donde obtuvieron un 7.64% de PC, esto puede ser debido a que el pasto de maralfalfa utilizado en este estudio, tenía más de 100

-----  
<sup>122</sup> FAO, Cogollos de caña de azúcar, <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AFRIS/es/Data/551.HTM>

<sup>123</sup> Shultz T.A., et. al. (1978). "Niveles de nitrógeno no proteico para novillos alimentados con cogollos de caña de azúcar durante la época de sequía", *Agronomía Tropical*, Vol. 28, No. 6, pp. 655-666.

<sup>124</sup> Correa, H.J., (Junio-2006). "Calidad nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp*) cosechado a dos edades de rebrote", *Livestock Research for Rural Development*, artículo en línea. Vol. 18, No. 6.

<sup>125</sup> Ramírez, Y. y Pérez, J., (2006). "Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento y composición química del pasto maralfalfa (*pennisetum sp.*)", *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, Vol. 24, pp. 57-62.

días de crecimiento, y eso afecta en la calidad nutricional, como es en el caso de (Clavero, T. y Razz R. 2009)<sup>126</sup> donde analizaron el contenido de PC del pasto maralfalfa a tres edades de maduración, las cuales fueron de 3, 6, y 9 semanas, con un 14.88, 10.81 y 7.88% de PC respectivamente, lo cual se concluyó que a medida que la planta va madurando disminuye la cantidad de nutrientes como es el caso de PC y volviendo al contenido de PC de la maralfalfa obtenido en este estudio también se agrega de que el proceso de secado de la planta fue el erróneo ya que se secó a luz del sol estando fresca la planta y lo correcto es secar la planta a la sombra o en estufas ya que si se seca una planta estando fresca después de su, los procesos fotosintéticos de las mismas siguen realizándose y eso conlleva a que disminuya más el contenido de nutrientes.

### 3.6 ALIMENTO BALANCEADO (MFS)

En la tabla 15 se presenta el contenido de PC, humedad y cenizas realizado al alimento MFS:

El contenido de PC resultante del alimento MFS es adecuado para la engorda de ganado bovino de carne en la etapa de finalización, que empieza con novillos que pesan 300 kg, hasta llegar a un peso final de 498.95 kg, según las tablas de la NRC<sup>127</sup>.

Tabla 15. Humedad, cenizas y proteína cruda, del Alimento MFS (BS)

	Promedio	Desv. Estándar
<b>Proteína, (%)</b>	<b>9.84</b>	<b>0.16</b>
<b>Cenizas, (%)</b>	<b>13.0</b>	<b>0.71</b>
<b>Humedad, (%)</b>	<b>14.0</b>	<b>0.15</b>

<sup>126</sup> Clavero, T. y Razz R., (2009). "Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en condiciones de defoliación", Revista de la Facultad de Agronomía, artículo en línea, Vol. 26, No. 1.

<sup>127</sup> National Research Council. Óp., Cit., pp. 188- 190, 214.

En la figura 31, se presenta una micrografía obtenida mediante MEB del alimento MFS, a 100x a escala de 400 micras, y según dicha micrografía, el alimento MFS muestra partes fibrosas (a) y aglomerados (b) entremezclados, esto indica que el alimento balanceado está homogenizado.

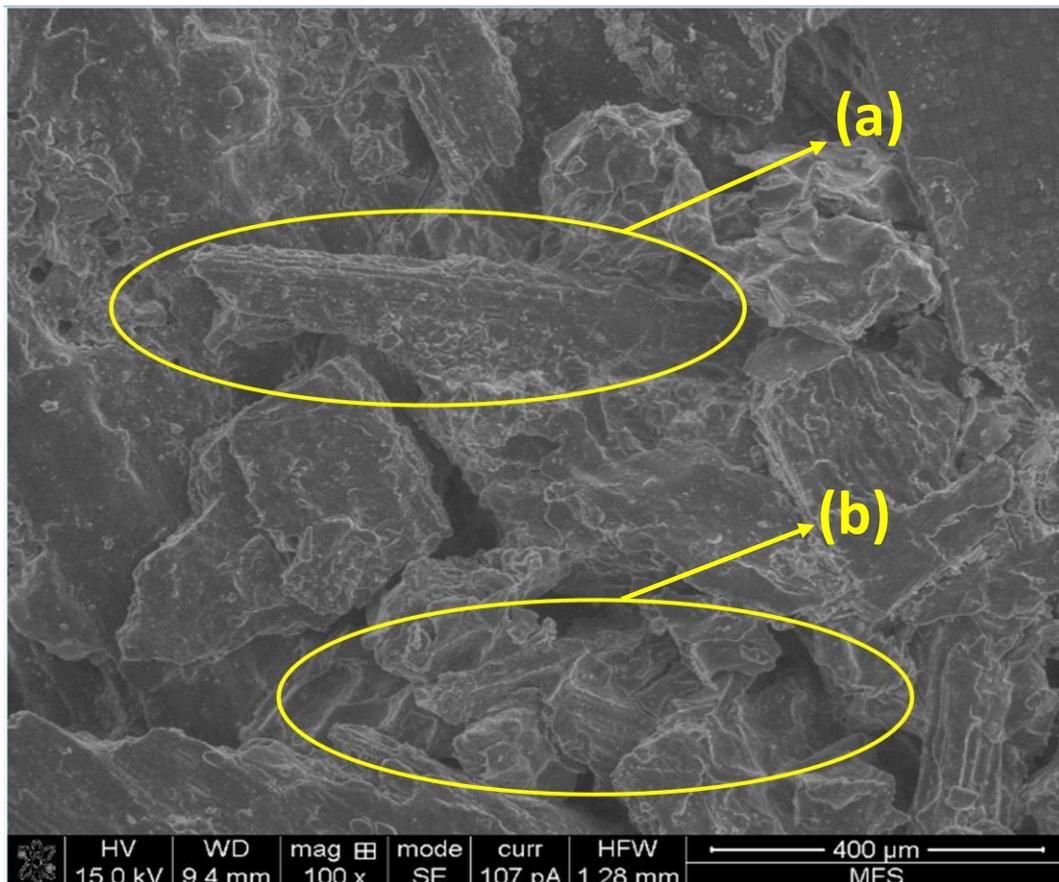


Figura 31. Micrografía obtenida mediante MEB del alimento balanceado. (a) Partes fibrosas, (b) Partes aglomeradas.

En la figura 32 se presenta una micrografía obtenida mediante MEB, donde se muestra una sección transversal de una hoja de cogollo de caña, del alimento MFS, ya que aparece una figura en la parte superior izquierda (a) donde se asume que es una estoma, que es por donde respiran las plantas, y en la zona marcada con un círculo (b) se aprecia un especie de capa expuesta, donde se asume que son partes de fibras ligno-celulósicas internas expuestas de la hoja, aunado a esto, se asume de que esas partes son las que precisamente es por donde empiezan a alimentarse las bacterias que se encuentran en el rumen de los bovinos.

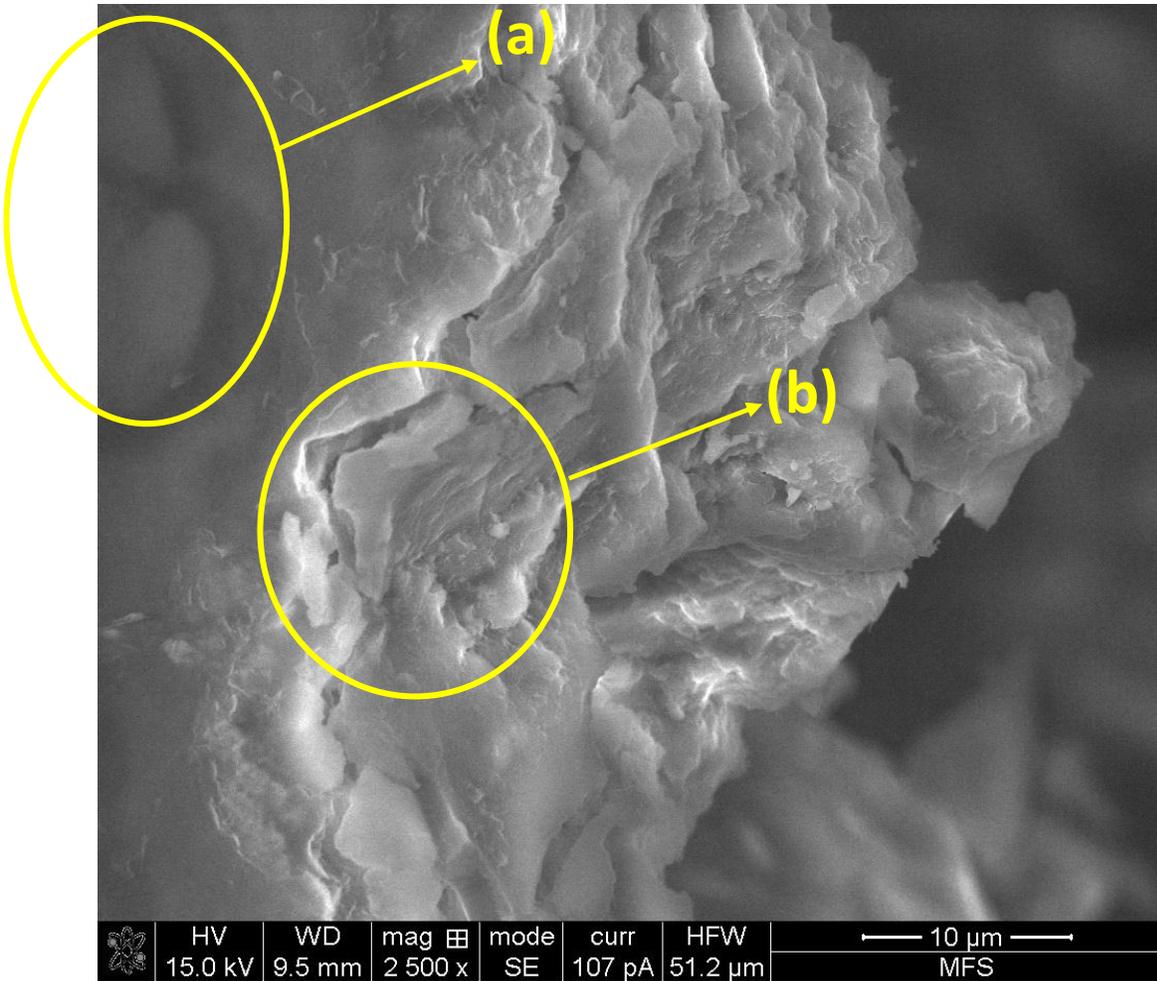


Figura 32. Micrografía obtenida mediante MEB de una muestra del alimento MFS.

A su vez, en la micrografía de MCBL, figura 33, se muestra con más detalle, las partes internas de las fibras (a) que contiene el alimento MFS, y como se dijo anteriormente, de acuerdo a la imagen obtenida mediante MCBL en la parte señalada (a) que son partes internas de fibras ligno-celulósicas, se asume que hay mucha área disponible por donde se pueden alimentar las bacterias que se encuentran en el rumen de los bovinos. También, de acuerdo a la escala de la imagen, se asumen que las fibras tienen un largo de 5 a 155 mm de largo y un ancho de 0.2 a 5.0 mm de ancho y un espesor de 20 micras.

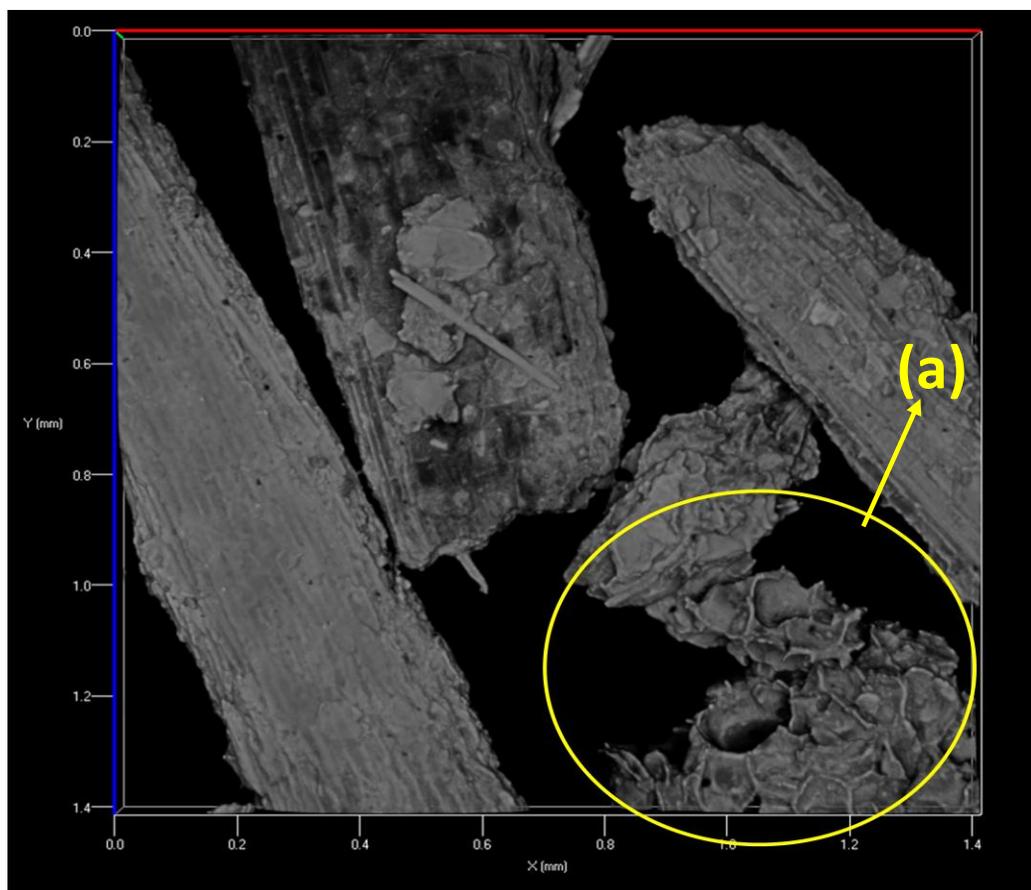


Figura 33. Imagen obtenida mediante MCBL de una muestra del alimento balanceado MFS, partes fibrosas (a).

### 3.7 ALIMENTO BALANCEADO (ABM).

En la tabla 16 se presenta el análisis bromatológico básico del alimento ABM (base seca).

Tabla 16. Análisis bromatológico básico del alimento balanceado ABM.

	Promedio	Desv. Estándar
<b>Proteína, (%)</b>	16.05	0.18
<b>Cenizas, (%)</b>	9.59	0.21
<b>Humedad, (%)</b>	7.20	0.19
<b>Grasas, (%)</b>	1.82	0.12
<b>Fibra, (%)</b>	80.18	-----

El contenido de PC resultante del alimento ABM resulto más alto que del alimento MFS, debido a que el alimento ABM se añadió urea y de acuerdo al contenido de PC el alimento ABM es adecuado para la engorda de ganado bovino de carne en la etapa de finalización, que empieza con novillos que pesan 294.84 kg, hasta llegar a un peso final de 453.59 kg, según las tablas de la NRC<sup>128</sup>, en la tabla 17 se presenta algunos requerimientos para la engorda de ganado de carne según la RNC.

Tabla 17. Requerimientos de PC, para ganado de engorda a finalizar hasta 453.59 kg (NRC 1996).

<b>Peso inicial de novillos</b>	<b>PC requerido (%)</b>
249.48 kg	17.3
272.16 kg	16.5
294.84 kg	15.9
317.51 kg	15.0
340.19 kg	14.0
362.87 kg	13.2

En la figura 34, se presenta dos espectros IR, uno de la melaza (a) utilizada que es la misma melaza que se utilizó para el alimento MFS, y uno del alimento balanceado (ABM), parte fibrosa (b). En el espectro del alimento ABM, la mayoría de las bandas resultantes son semejantes al del espectro del alimento MFS parte fibrosa, que se presentó en la figura 34. Y la banda que surgió en la frecuencia 2108 cm<sup>-1</sup> se le atribuye al estiramiento simétrico del enlace -NH<sub>3</sub>. Las bandas resultantes de los espectros se evaluaron, por medio de las tablas del manual de (Sócrates. 2001)<sup>129</sup> y se comparó con el espectro resultante obtenido en el trabajo de (Navickaitė, G., et. al., 2010)<sup>130</sup> y la diferencia entre los dos espectros (a), (b) es por la banda 2108 cm<sup>-1</sup> que aparece en el espectro (b) misma que no aparece en el espectro de (a), y esto se debe a que el espectro de (b) es melaza enriquecida con un alimento proteico, lo que significa más enlaces de -NH, ya que las proteínas contienen aminoácidos que contienen el grupos con -NH en sus estructura molecular.

-----  
<sup>128</sup> National Research Council. *Nutrient Óp.*, Cit., p. 217.

<sup>129</sup> Sócrates George, Wiley John & Sons. Op., Cit., pp. 328-340.

<sup>130</sup> Navickaitė, G. Op. Cit., pp. 373-379.

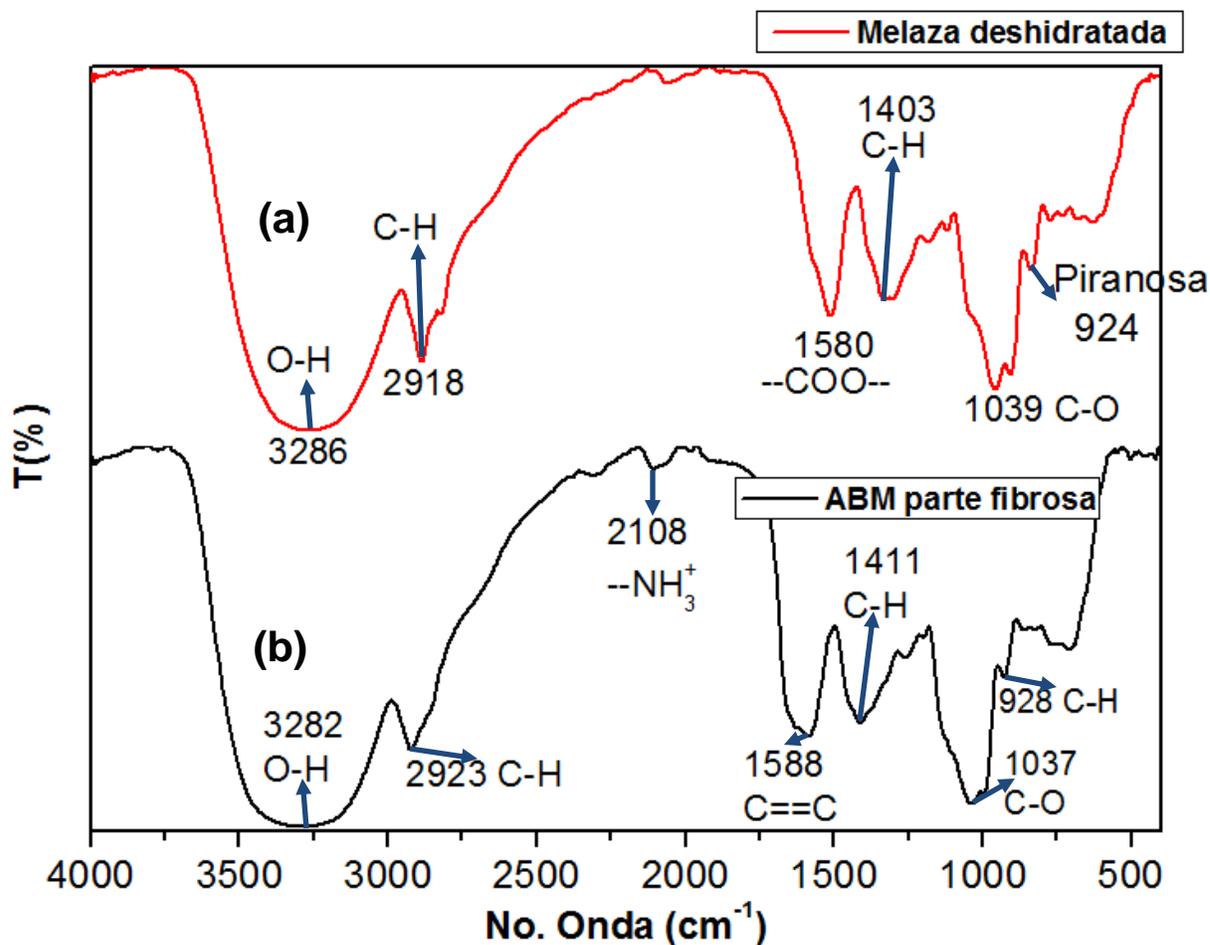


Figura 34. Espectros IR de la melaza utilizada (a) y del alimento ABM parte fibrosa (b).

En la figura 35 se muestra dos micrografía obtenida mediante MEB de una muestra del alimento ABM que representa el forraje (trozo de una hoja del pasto maralfalfa) con un aumento de 50x y de esa misma muestra se tomó otra micrografía pero ya con un aumento de 500x, en donde a esa misma muestra se le hizo un análisis químico mediante EDS obteniéndose espectros en partes localizadas las cuales se identificaron por medio de (a), (b), (c), donde (a), (b) representan incrustaciones presumiblemente de melaza en el forraje (trozo de una hoja de maralfalfa) y (c) representa la pared de la hoja, se les realizó un análisis de EDS en esas áreas localizadas para verificar si es melaza incrustada en ese trozo de hoja y también para saber de manera preliminar el contenido de minerales de esa muestra.

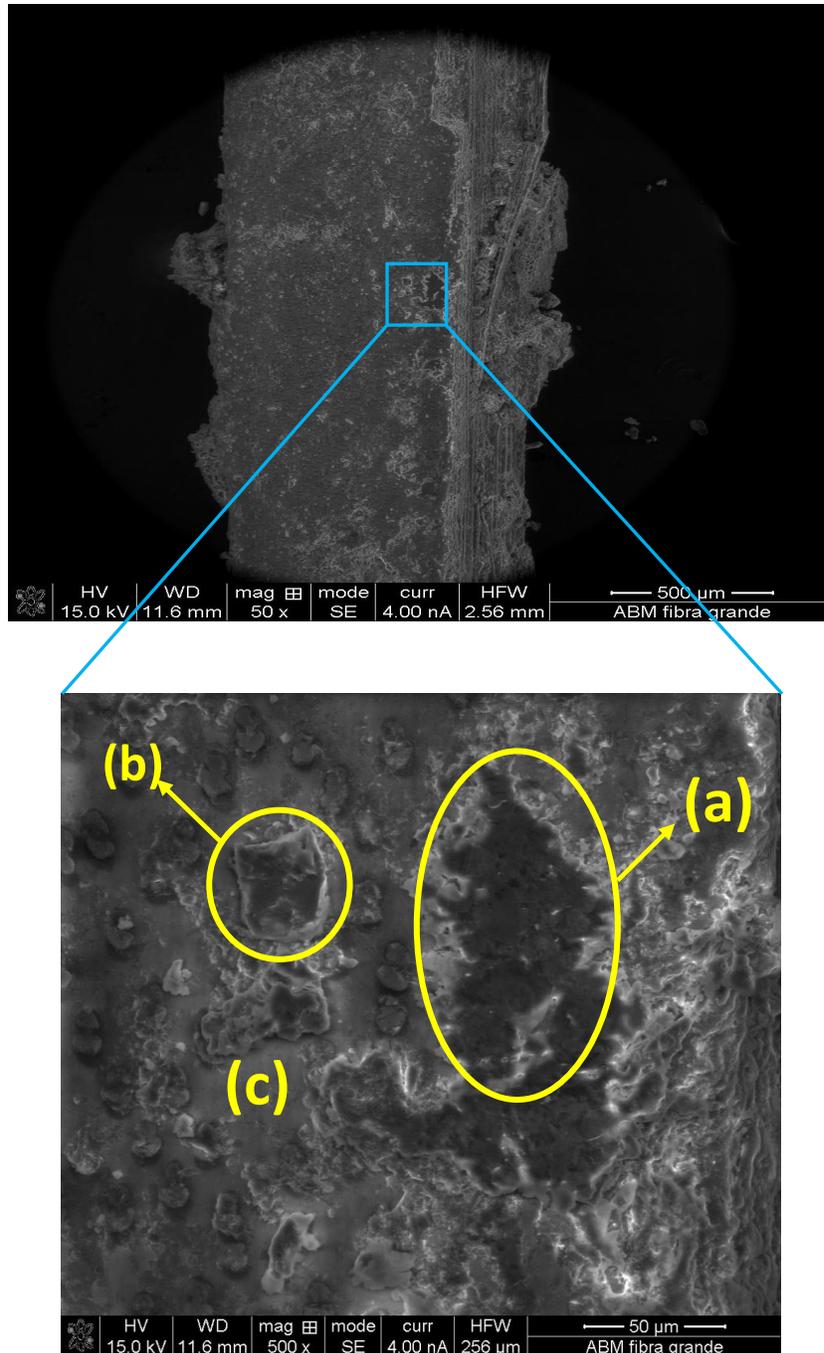


Figura 35. Micrografía obtenida mediante MEB de una hoja de maralfalfa de la muestra ABM. (a), incrustación grande, (d) incrustación pequeña y (c) pared de la hoja de maralfalfa.

En las figuras 36 presentan los espectros resultantes de EDS de las zonas identificadas por (a), (b) y (c) de la muestra de forraje:

Tabla 18. Contenido porcentual elemental del espectro de (a).

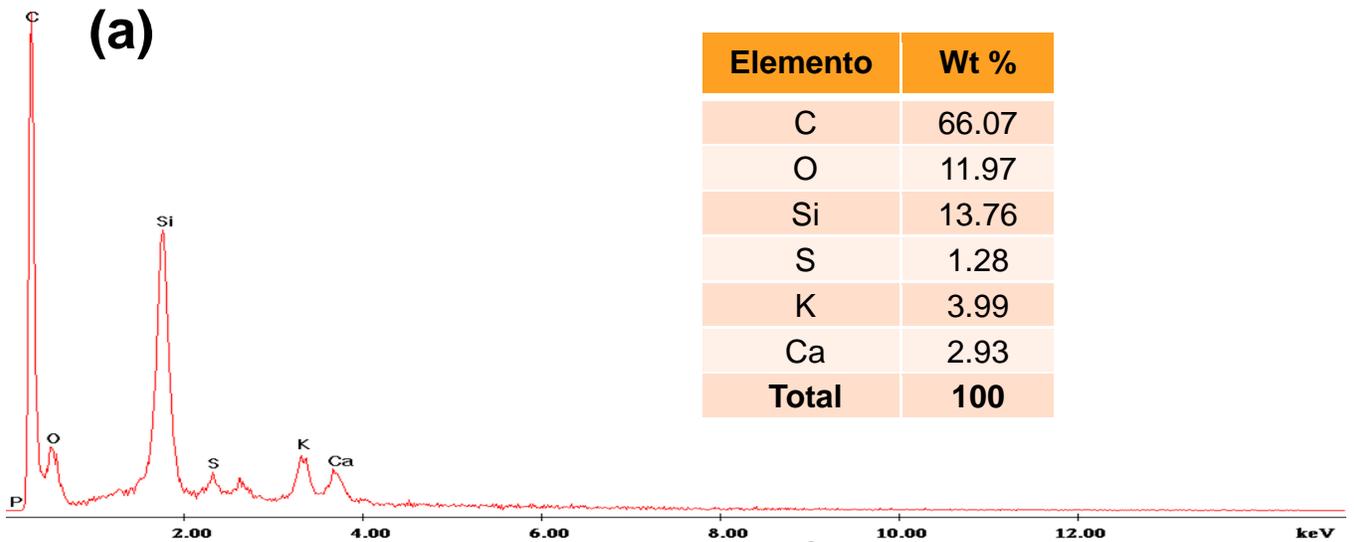


Tabla 19. Contenido porcentual elemental del espectro de (b).

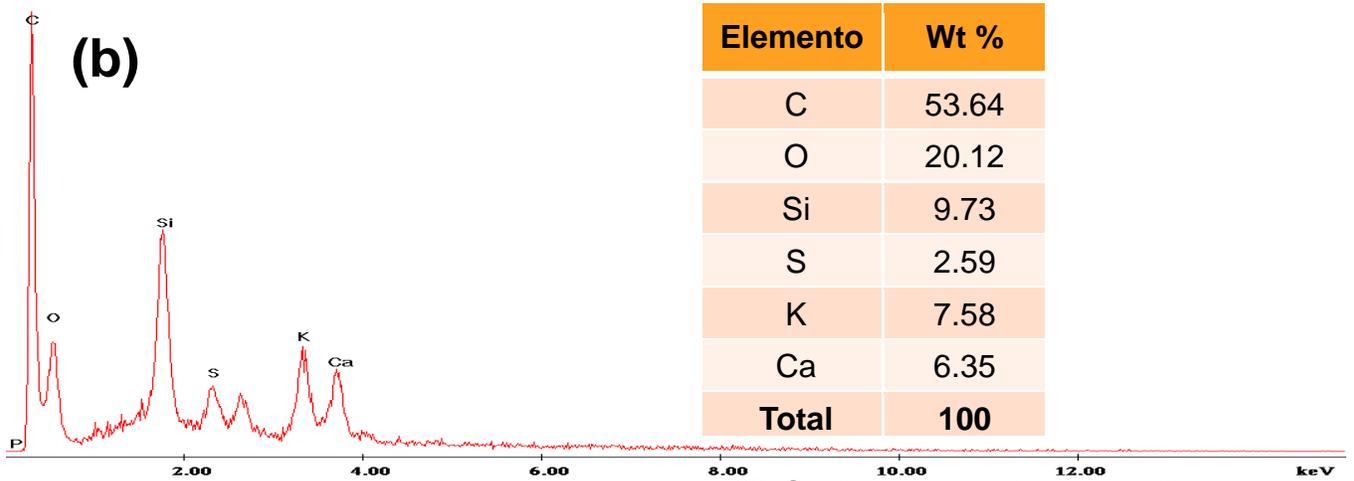


Tabla 20. Contenido porcentual elemental del espectro de (c).

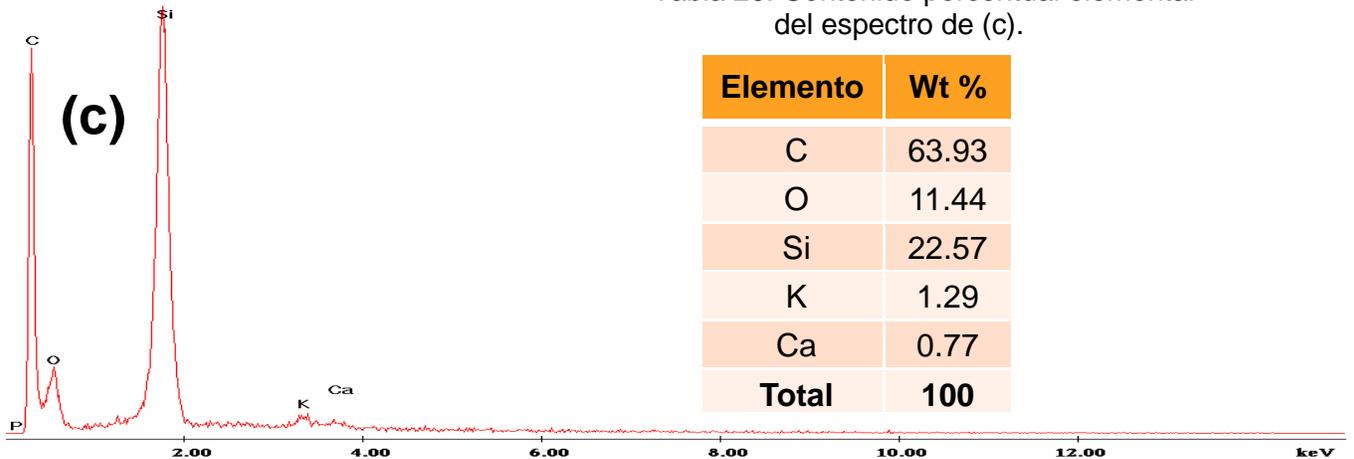


Figura 36. Espectros EDS de las zonas: (a) incrustación grande, (b) incrustación pequeña y (c) pared o superficie del forraje (trozo de una hoja de maralfalfa).

De acuerdo a los espectros resultantes de EDS, figura 36, las incrustaciones observadas en la muestra del forraje del alimento ABM identificadas por (a), (b) en la figura 35, no varía el contenido de minerales en ambos espectros, (tablas 18 y 19), pero en el espectro (c) que es la pared del trozo de una hoja de maralfalfa, disminuyó considerablemente el contenido de minerales, (tabla 20), ya que el azufre desapareció, y se redujo el porcentaje en peso del potasio y el calcio, por lo tanto se asume que las incrustaciones que están en el trozo de hoja analizado es melaza, porque se sabe que la melaza tiene un buen porcentaje de minerales y también esto indica que la melaza fue absorbida por el forraje, esto quiere decir que el alimento se homogenizo adecuadamente.

En la figura 37 se presentan unas micrografías tomadas mediante MEB, de la misma muestra presentada en la figura 35, del trozo de hoja de maralfalfa que se observa en la micrografía tomada a 50x, se localizó una zona señalada por un cuadrado azul y a esa zona se le tomo una micrografía mediante MEB pero aumenta a 500x, se localizó esa zona por que muestran las partes internas de una trozo de hoja de maralfalfa, ya que están conformadas por fibras ligno-celulósicas, y a toda esa zona localizada se le realizó una análisis de EDS donde el resultado de ese análisis se presenta en la figura 38:

Según en el espectro de EDS, (figura 38), los elementos mayoritarios (Tabla 20), son el oxígeno, y el carbono, luego le siguen en pequeña cantidad, el calcio, el potasio, por último el silicio, azufre, que se pueden despreciar estos dos últimos, esto puede ser debido a que la zona caracterizada son fibras ligno-celulósicas internas expuestas del trozo de la hoja de mar alfalfa, ya que el carbono y el oxigeno son los elementos mayoritarios que conforman las estructuras moleculares de la lignina, celulosa, hemicelulosa y de acuerdo a esto, se asume de que el alimento ABM tiene mucha área disponible expuesta donde se pueden alimentar las bacterias que se encuentran en el rumen de los bovinos.

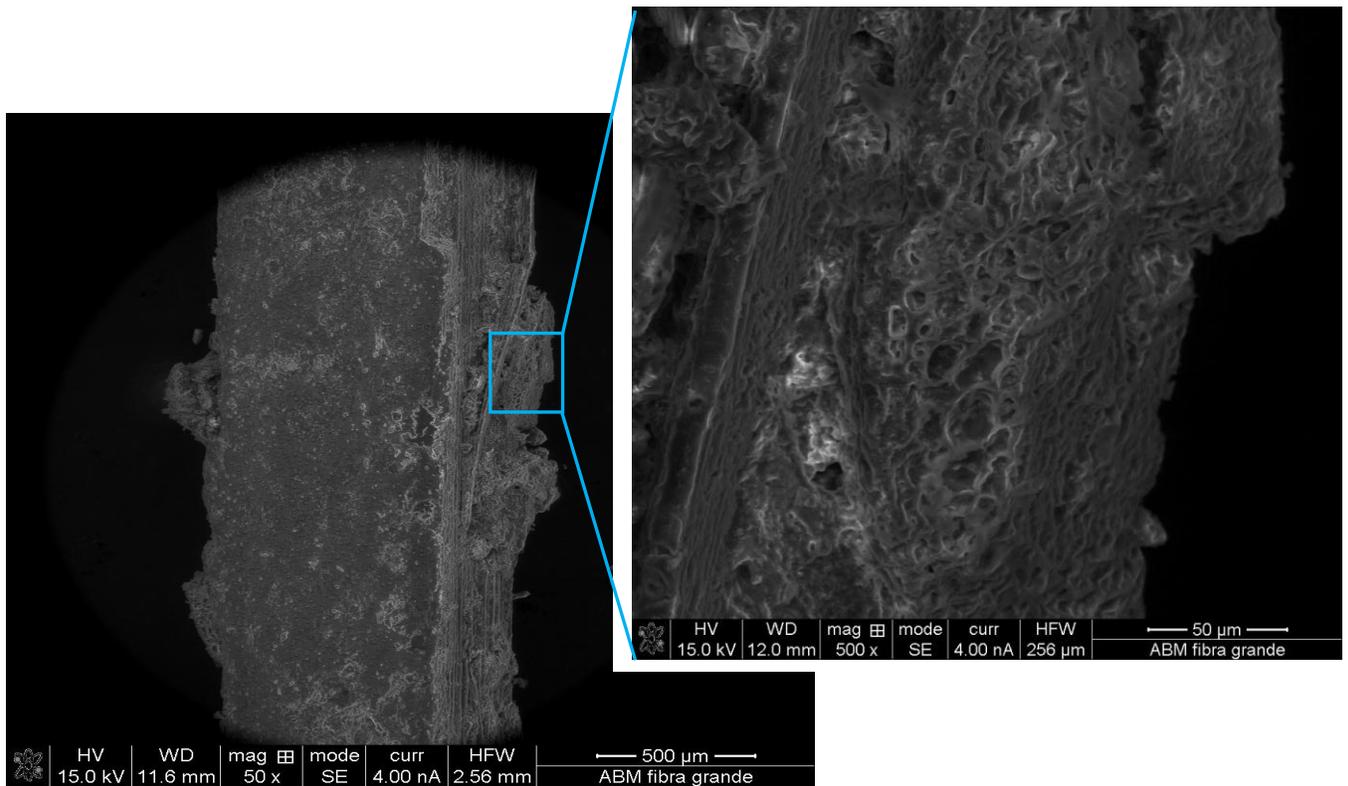


Figura 37. Micrografía del trozo de una hoja de maralfalfa, mostrando las fibras internas Ligno-celulósicas expuestas.

Label A: ABM fibra grande, analisis fibras lignocelulosicas

Tabla 21. Contenido porcentual elemental de las fibras expuestas.

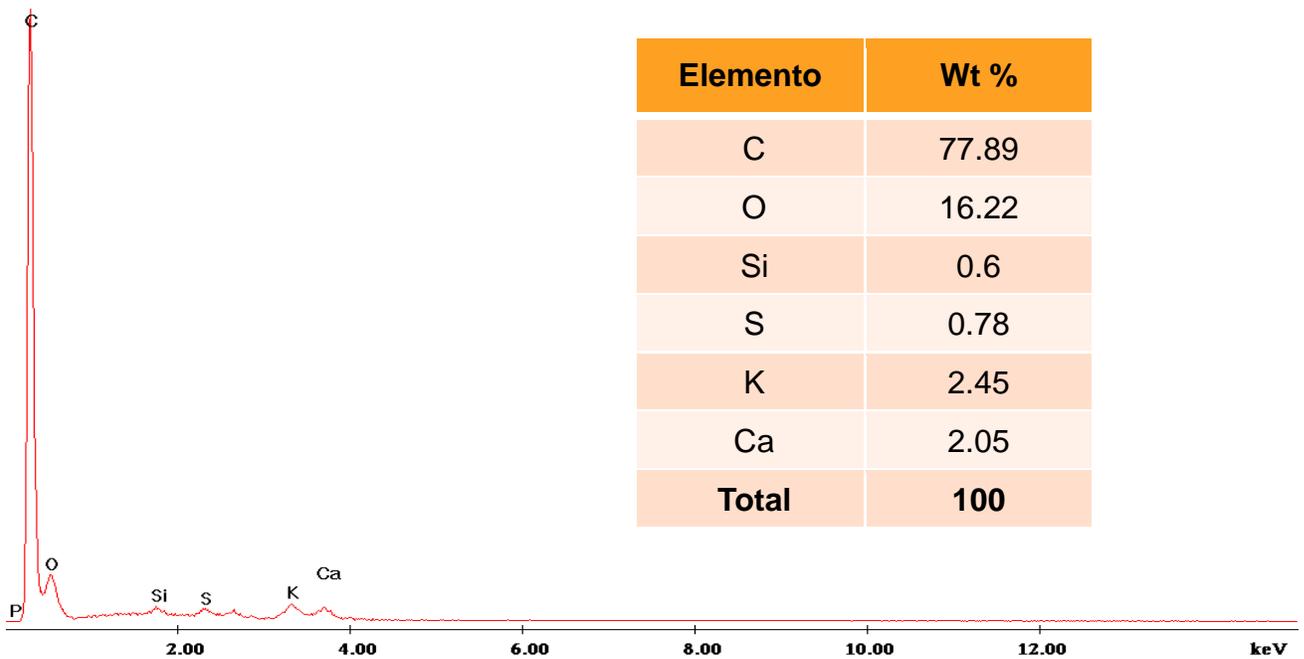


Figura 38. Espectro EDS de las fibras expuestas del trozo de hoja que se muestra en la figura 37.

En la figura 39, se muestra dos micrografías obtenidas mediante MEB de la misma muestra del alimento ABM, pero las partes que se consideraron como partes finas, como lo que se observa en la micrografía tomada a 200x, que es como una especie de aglomerado. Del aglomerado que se observa en la micrografía obtenida a 200x se localizó una zona específica a la que se le tomo una micrografía pero con un aumento de hasta 8000x, señalada con un cuadro rojo y ah esa zona se le realizó un análisis de EDS donde el resultado se presenta en la figura 50.

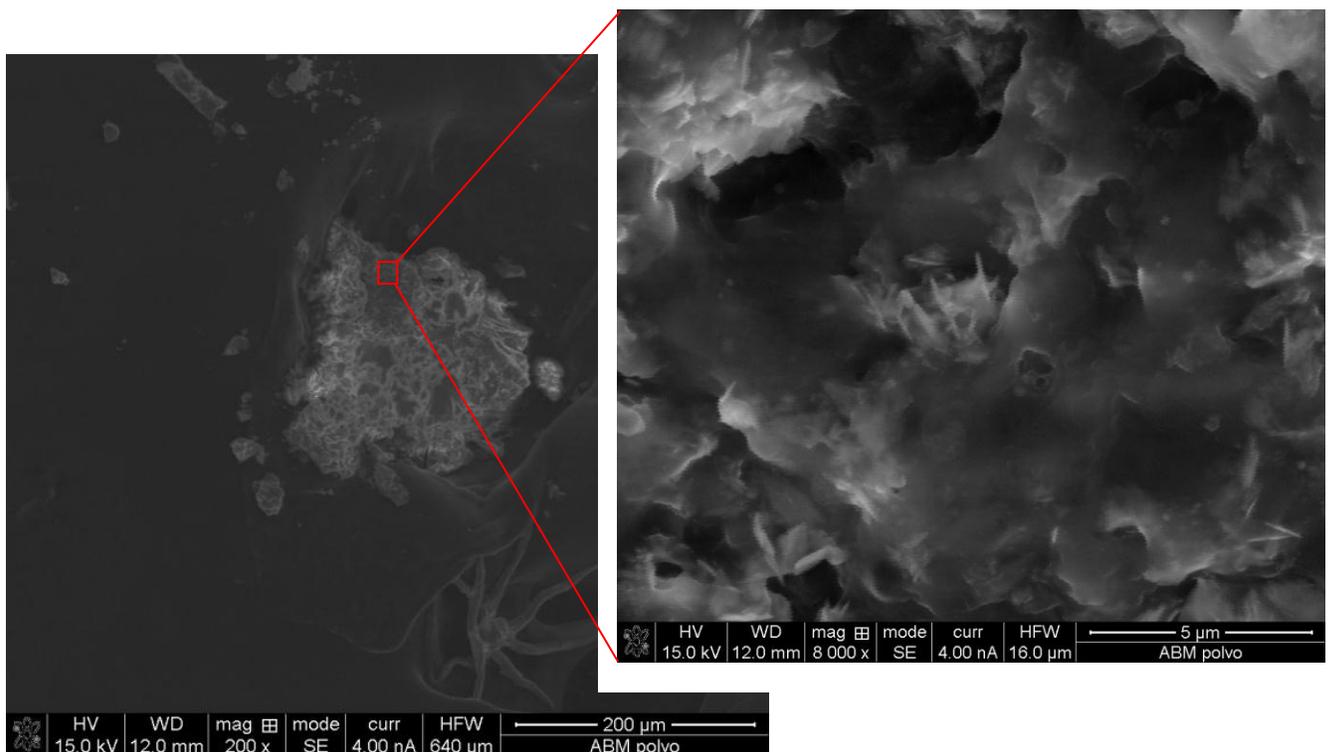


Figura 39. Micrografías tomadas de una muestra del alimento ABM, partes finas.

De acuerdo al espectro EDS resultante, (figura 40), del aglomerado, los elementos mayoritarios que se identificaron siguen siendo el oxígeno, y el carbono, luego le siguen, el calcio, el potasio, el cloro, así como el azufre, y luego en pequeñas cantidades casi despreciables, le siguen el sodio, el magnesio, el aluminio, y el fósforo. De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la presencia de más elementos en este aglomerado, puede ser debido a ser una entremezcla de la pre-mezcla de vitaminas y minerales que se adiciono al alimento ABM y partes finas del forraje.

Label A: ABM polvo, analisis zona con fibras imagen 006 a 8000X, 17/03/2017 11:07:17

Tabla 22. Contenido porcentual elemental de las partes finas de la muestra de maralfalfa.

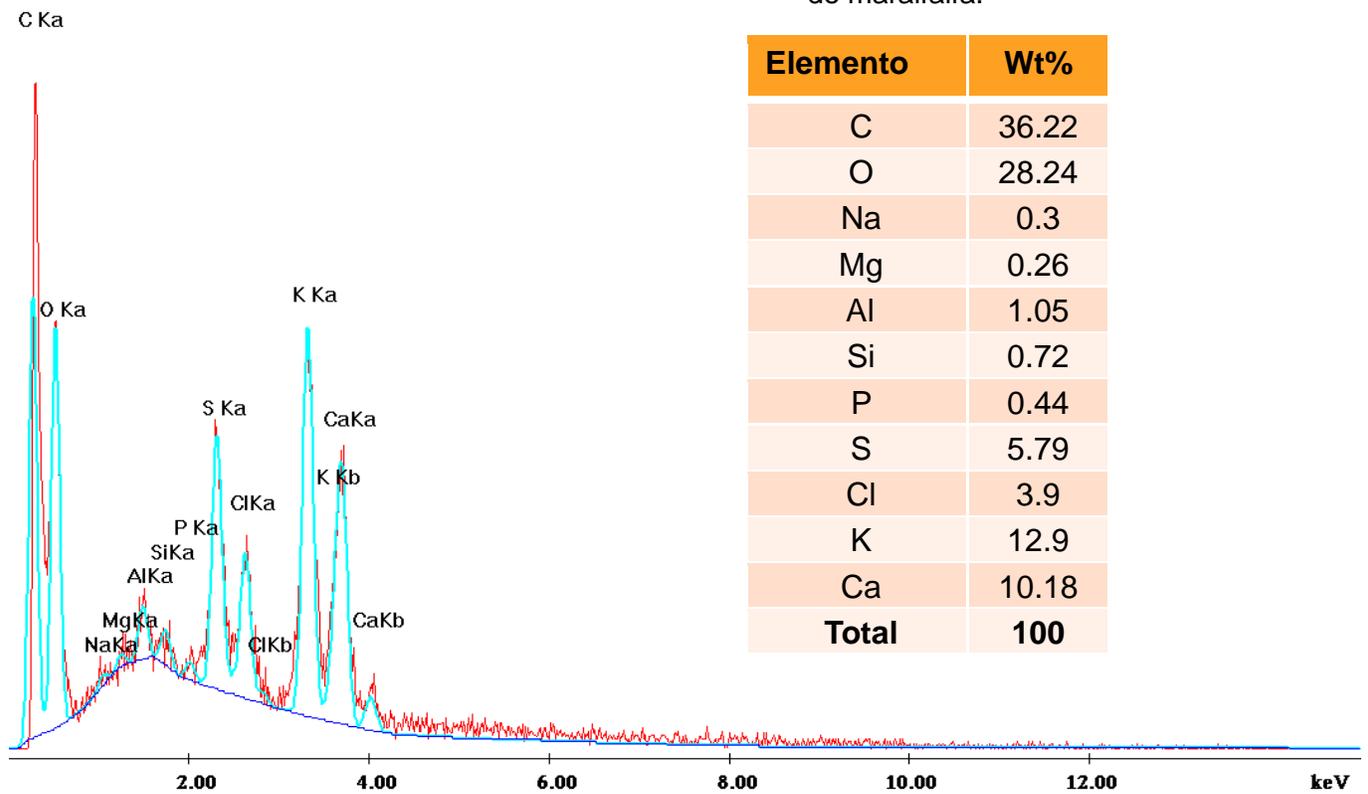


Figura 40. Espectro EDS, de una muestra de ABM, en sus partes finas o polvos.

De lo discutido anteriormente se puede asumir de que el alimento balanceado ABM se homogenizó adecuadamente por la presencia de las partes finas debido a la adición de la pre-mezcla de minerales y vitaminas.

#### 4. CONCLUSIONES

El uso de subproductos de la caña de azúcar como la melaza o miel final, e insumos no convencionales para suplementar a la misma como el subproducto resultante de la fabricación de la enzima MTGasa, el pasto maralfalfa y el cogollo de caña de azúcar, para fabricar alimentos balanceados, son una alternativa factible para alimentar al ganado bovino en su etapa de finalización y así ayudar al sector ganadero cuando enfrenta problemas en la alza de los precios de los insumos convencionales para fabricar alimentos balanceados y también cuando escasean a causa de inundaciones y sequías.

A partir de los resultados obtenidos en los alimentos desarrollados, se puede concluir

**Alimento MFS.** Este alimento balanceado es adecuado para la engorda de ganado de carne en su etapa de finalización, con novillos que comienzan desde los 300 kg, hasta llegar a un peso final de 498.95 kg; por lo tanto, el uso de la melaza, suplementada con el subproducto de la fabricación de la enzima MTGasa, y con el ingrediente fibroso cogollo de caña de azúcar, puede ser una alternativa potencial para la engorda de ganado, ya que los ingredientes utilizados no son convencionales en comparación con los alimentos balanceados fabricados con ingredientes convencionales, como son la pasta de soya, maíz y sorgo, insumos que se encarecen por las alzas en los mercados y por contingencias climatológicas como sequías e inundaciones.

Y de acuerdo a las técnicas de caracterización FTIR, MEB, MCBL no convencionales utilizadas para el alimento **MFS**, se determinó que este alimento puede ser potencialmente digestible, que la melaza es una mezcla de varios compuestos y que al enriquecerse con los ingredientes no convencionales en esta investigación, existió un valor apreciable en cuanto al contenido de su proteína y fibra en la misma.

**Alimento ABM.** Se concluye que el alimento balanceado ABM, es igualmente adecuado para la engorda de ganado de carne en su etapa de finalización de 350 a 450 kg, al igual que en el caso del alimento balanceado MFS, por lo cual el uso de melaza, del subproducto de MTGasa como concentrado proteico, así como también del pasto maralfalfa, como otro ingrediente fibroso alternativo, representa una opción más para la engorda de ganado de carne, potencialmente económico y de buena calidad. Por lo mismo se puede aseverar que este alimento balanceado alternativo también puede servir de ayuda en situaciones de escasez de insumos convencionales para la fabricación de alimentos balanceados, así como a las alzas de los precios en los ingredientes convencionales para elaborar alimentos balanceados y a contingencias climatológicas como son la sequía e inundaciones.

## **5. RECOMENDACIONES**

Resulta importante señalar la necesidad de realizar pruebas de engorda en animales estabulados para confirmar de que los dos alimentos balanceados desarrollados en este proyecto, se comportan de forma semejante a los alimentos balanceados que actualmente están en el mercado para la engorda de ganado.

También para un futuro, se debe elaborar una propuesta de ingeniería para diseñar una planta de alimentos de acuerdo a los parámetros obtenidos en la confección de los alimentos balanceados BM y MFS, así como realizar un análisis técnico-económico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, S.P.C. y Gutiérrez Vázquez, E. (2001), "Engorda de toretes a base de estiércol fresco de cerdo y dos fuentes de fibra en una empresa comercial", *Livestock Research for Rural Development*, revista en línea, Vol. 13, No. 4, Agosto.
- Almazán, O., (1977). Los subproductos de la industria azucarera como fuente de alimentación animal en el trópico, *Revista ICIDCA*. ICIDCA. La Habana, Cuba. Vol. 11, Nos. 2-3, Mayo/Diciembre, pp. 32-54.
- Animal feed from local products and by-products in the British Caribbean*. (1970). Roma, AGA/Misc/70/25.
- AOAC, (1984), *Official Methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist*. 13°, Ed. Washington
- Belmar Casso, R. (2003). *Principios para la alimentación de rumiantes*, Volumen 2 de Serie manuales, UADY. ISBN: 9789706980502.
- Bortolussi, G. y Hunter, R. A. (Julio-2000) "High Molasses Feeding of Intensively Finished Beef Cattle: An Economic Analysis", *Asian-Australian Journal of Animal Science*, Vol. 13, pp.: 132-135.
- Cabello, A., (2002). *Los Sistemas Agroalimentarios Actuales y la Caña de Azúcar: Un Análisis Comparativo*. ICIDCA. La Habana Cuba. ISBN: 959-7165-03-1.
- Cabello Balbín, A. (2000). *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar*. 3º Edición. ICIDCA, Ciudad de La Habana, p. 274.
- Campos Rodríguez, F. y Sáenz Coopat, T. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azúcar*, 3ª Ed., ICIDCA, Cuba, La Habana, pp. 259-263.
- Centro de Estudios para la Transición Democrática, A.C. (1999) "Cultivo e industrialización de la caña de azúcar en México", *Revista Transición, Debate y Propuesta en Veracruz*, Xalapa, México, Vol. 2, No. 21
- Chávez, R., "Manejo de Pastos y Forrajes", curso de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Agronomía, Departamento Académico de Producción Animal, pp. 2-3.
- Chen, J., (1991), *Manual del Azúcar de Caña*, Limusa, México D.F., ISBN-968-18-3662-6.

Clavero, T. y Razz R., (2009). "Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) en condiciones de defoliación", Revista de la Facultad de Agronomía, artículo en línea, Vol. 26, No. 1.

Colegio de Postgraduados (Noviembre-2003) Fundación Produce de Veracruz, A.C., "Azúcar", Sistema nacional de investigación y transferencia de tecnología para el desarrollo sustentable (SNITT), artículo en línea, p. 43.

Disponible en: <http://www.snitt.org.mx/pdfs/demanda/cana-de-azucar.pdf>.

Costales, R. y Lois, J. (2000). *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar*. 3ª Edición. ICIDCA, Ciudad de La Habana, p. 62.

Correa, H.J., (Junio-2006). "Calidad nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) cosechado a dos edades de rebrote", *Livestock Research for Rural Development*, artículo en línea. Vol. 18, No. 6.

Curbelo, Alfredo; GAREA, Bárbara y VALDES, Antonio. (1995) Generación de electricidad a partir de bagazo en Cuba. En: REUNIÓN REGIONAL SOBRE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOMASA. En: FAO, Depósitos de documentos de la FAO.

Del Pozo, P.P.; Herrera R.S. y M. García. (2002). "Dinámica de los contenidos de carbohidratos y proteína bruta en el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con aplicación de nitrógeno y sin ella", *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Vol. 36, No. 3, pp. 275-279.

Dryden, G. M. (2008). *Animal nutrition science*. CABI, Cambridge, EUA. ISBN: 978-1-84593-412-5.

Espinoza, F., et. al. (2001). "Evaluación del pasto king grass (*pennisetum purpureun* cv. king grass) en asociación con leguminosas forrajeras" *Zootecnia Tropical*, Vol. 19, No. 1, pp. 59-71.

Espitia Sibaja, H.M. 2010. Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamiento de polímeros termoplásticos. Medellín, 75 pp. Trabajo de grado: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.

Fajardo, E.; y Sarmiento, S. (2007), Evaluación de la Melaza de Caña como Sustrato para la Producción de *Saccharomyces cerevisiae*. Bogotá, 120 p. Trabajo de grado: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas. Área de Microbiología Industrial.

Galina, M.A., et. al., (Septiembre-2003). "Effect of slow release urea supplementation on fattening of steers fed sugar cane tops (*Saccharum officinarum*) and maize

*(Zea mays): ruminal fermentation, feed intake and digestibility*, *Livestock Production Science*, Vol. 83, No. 1, pp. 1-11.

González, B.D., (2002) “La Caña de Azúcar en la Alimentación de Cerdos”, artículo virtual del portal web, Sistema de Información Agrícola Nacional, en Producción Alternativa de Cerdos, tomado de la “Expoferia porcina 2002”, celebrado en Venezuela, p. 3.

GONZÁLEZ, C. (2010) Energía Renovable, Biocombustibles y Caña de Azúcar en Cuba. En: SEMINARIO LATINOAMERICANO Y CARIBEÑO DE BIOCOMBUSTIBLES OLADE–IICA–FAO (5º Seminario, 2010: ciudad de Santiago). Ponencias del 5º Seminario Latinoamericano y Caribeño de Biocombustibles OLADE–IICA–FAO. Ciudad de Santiago, 2010.

Hernández Albañil, H. y Espejo Mora, E. (2002). *Mecánica de fractura y análisis de falla*, Volumen 8, Univ. Nacional de Colombia; Bogotá, Colombia. ISBN: 958-701-242-9.

ICIDCA, (1982), *Estudio de la mieles finales de la caña de azúcar*, Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba.

ICIDCA, (1998), *Manual de los derivados de la caña de azúcar*, Colección GEPLACEA, Serie Diversificación, ICIDCA-GEPLACEA-PNUD, México D.F.

ICIDCA, (2000), *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar*. Imprenta MINAZ, Habana, Cuba, CDU: 664.11, pp. 3.

Juárez Reyes, A.S., et. al., (2009). “Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas in vitro”, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, Vol. 47, No. 1, pp. 55-68.

Leeson, S. y Summers, J., (2000). *Nutrición aviar comercial*. Ed. Le’Print Club Express Ltda. Bogotá, Colombia, pp. 43-45.

Lesur, L. (2008). *Manual del ganado bovino para carne: una guía paso a paso*, Trillas, México, D.F. ISBN: 978-968-24-0521-1.

Lois, J. (Agosto 2009). Caña de azúcar y co-productos. Memorias XXXII Convención de la ATAM, Córdoba, Veracruz.

Manohar Rao, P. J., (1997), *Industrial Utilization of Sugar Cane and its Co-products*, ISPCCK Publishers and Distributors, Delhi, India, ISBN: 81-7525-017-8.

Martín, P. C., (2004), “La melaza en la alimentación del ganado vacuno”, *Avances en la Investigación Agropecuaria*, Vol. 8, No. 3, octubre, pp. 1-13.

Martínez, L., “Uso de la melaza en la alimentación de ovinos” artículo virtual de Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos, parte de Fortalecimiento del Sistema Producto Ovinos, p. 11.

México-Azúcar (2010), “Producción de azúcar en México retrocede 2,8% en zafra 2009-2010”. En: MXNOTICIAS, 19 de julio Periódico virtual. México.

Disponible en línea en:

[http://www.mxnoticias.com/189\\_mexico/775624\\_produccion-de-azucar-en-mexico-retrocede-2-8-en-zafra-2009-2010.html](http://www.mxnoticias.com/189_mexico/775624_produccion-de-azucar-en-mexico-retrocede-2-8-en-zafra-2009-2010.html).

Miller, J. D. y Gilbert R. A. (2009). *Sugarcane Botany: A Brief View*. Series de publicaciones en línea del *Agronomy Department, Florida Cooperative, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida*. Serie SS-AGR-234. pp. 1-6.

Mora Brautigan, I. (2007). *Nutrición Animal*, 3ª reimpresión de la 1ª Ed., EUNED, Costa Rica, San José. ISBN: 9977645574.

Morris, J.C. y Gulbrandsen, B. (1970). Effect of *nitrogen and energy supplements on the growth of cattle grazing oats or Rhodes grass*, En: Martín P. C., (Octubre 2004), “La melaza en la alimentación del ganado vacuno”, *Avances en la Investigación Agropecuaria*, (Artículo invitado), Artículo en línea, Colima México, Vol. 8, No. 3, p. 7.

National Research Council. (1996) *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition.

Navickaitė, G., et. al. (2010). “*Molasses Influence on Ash Granulation Process and Quality Parameters*”, *Materials Science*, Vol. 16, No. 4, pp. 373-379.

Nguyen T.M.; Preston, T.R. y Dinh, V.B. (Enero-1997). “*Sugar cane tops as a feed for goats; Effect of harvest season*”, *Livestock Research for Rural Development*, artículo en línea; Vol. 9, No. 1.

Otero, M.A., (1997), *Las Mieles Finales de Caña*, ICIDCA, La Habana, p. 6.

Padilla Méndez, J. A. y Lois Correa, J. (1986). *La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar*. Editorial Científico-Técnica, ICIDCA, Ciudad de La Habana, p. 132.

Pérez Hernández, J. F.; Martín-Orúe, S. y Sala Pallarés, R. Manual Práctico de Formulación de Piensos, material de la asignatura “Nutrición II”, de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona, p. 4, consultado el 4 de Agosto del 2011.

- Pickering, W.F., (1980). *Química analítica moderna*, Reverte, Barcelona, España, ISBN: 84-291-7471-0
- Ramírez, Y. y Pérez, J., (2006). “Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento y composición química del pasto maralfalfa (*pennisetum* sp.)”, *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, Vol. 24, pp. 57-62.
- Reyes, M. (29 de sept. 2009). “Buenos tiempos para la caña de azúcar”. *El Economista*, Agro-negocios, 29 de sept.
- Riera-Sigala, T. J. et. al. (Febrero-2004). “Rasgos de crecimiento y pesos en canal de toros Brahman puros y F1 Brahman x *Bos taurus* criados y cebados semi-intensivamente en sabana mejorada”, *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, Vol. 12, No. 2, pp. 66-72.
- Ríos, M., (2007). *Neuroimagen. Técnicas y procesos cognitivos*. Elsevier, España; Barcelona, España. ISBN: 978-84-458-1776-6.
- Serrano, P.; Biart, J. y Conde, J. (1986). *La industria de los derivados de la caña de azúcar*. Editorial Científico-Técnica, ciudad de La Habana. pp. 148-149.
- Shultz T.A., et. al. (1978). “Niveles de nitrógeno no proteico para novillos alimentados con cogollos de caña de azúcar durante la época de sequía”, *Agronomía Tropical*, Vol. 28, No. 6, pp. 655-666.
- ShiXiong, W., et al, (2009). “Study on fattening effect of beef cattle with different amounts of molasses”, *China Cattle Science*, Yunnan, China, Vol. 36, No. 1, pp. 32-35.
- Sócrates G, (2001). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies. Tablas and Charts*. Wiley Jhon & Sons, Third Edition, pp. 328-340.
- Subirós Ruiz, F. (2008) El cultivo de la caña de azúcar. En: Chaves Solera, M. “Uso de la caña de azúcar como forraje”, *Revista especializada Ventana Lechera*, San José, Costa Rica, CEBS, Diciembre, Ed. No. 10, Año: 3, pp. 45-51.
- Swan, H. y Karalazos, A. (1990). “Las melazas y sus derivados”. *Revista Tecnología*. GEPLACEA. No. 19. España. pp. 78-82.
- Suárez, R., et. al., (Enero-Marzo, 2011). “Evaluación de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* y *Gliricidia sepium* con la utilización de aditivos”, *Pastos y Forrajes*, Vol. 34, No. 1, pp. 69-86.
- Sugar Journal*, (Septiembre 1959). Nueva Orleans, p. 32.

Unión Ganadera Regional de Jalisco, (2009), "Uso de la melaza/urea como apoyo en la alimentación bovina", artículo virtual, p. 2.

Disponible en línea:

[http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=580](http://www.ugrj.org.mx/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=580).

Thanh Tham, H.; Van Man, N, y Preston, T. R. (Mayo-2008). "Performance of young cattle fed rice straw sprayed with mixture of urea and molasses supplemented with different levels of cassava leaf meal", *Livestock Research for Rural Development*, revista en línea, Vol. 20, Suplemento de Mayo.

Tillman, A. D.; Singletary, C. B.; Kidwell, J. F. y Bray, C. I. (Noviembre-1951). "Methods of Feeding Cane Molasses and Urea to Beef Cattle", *Journal of Animal Science*, artículo en línea, Vol. 10, No. 4, pp. 939-946.

Tortora, G.J.; Funke, B.R. y Case, C.L., (2007). *Introducción a la microbiología*, 9° Edición, Médica Panamericana; Buenos Aires, Argentina. ISBN: 978-950-06-0740-7.

Valdés, A. (2005) Obtención de energía a partir de la biomasa de la caña de azúcar. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ENERGÍA (2° Seminario: ciudad de Montevideo). Ponencias del II Seminario Iberoamericano de Energía. Ciudad de Montevideo. LATU.

Verde, R. (2005) *Better sugar; better business mill issues and co-products*. TALLER DE LA WWF. Ponencias del taller de la WWF. Londres. UNICAMP.

William Atkins, P. y Jones, L., (2006). *Principios de química: los caminos del descubrimiento*. 3° Edición, Médica Panamericana; Buenos Aires, Argentina. ISBN: 978-950-06-0080-4.

Wolfgang, W., "Alimentos complementarios para la producción de carne", artículo virtual del portal web, de la Universidad Austral de Chile, p. 3.

Disponible en: <http://intranet.uach.cl/dw/canales/repositorio/archivos/993.pdf>

Xuan Ba, N. y Duc Ngoan, L. (Junio-2003). "Evaluation of some unconventional trees/plants as ruminant feeds in Central Vietnam", *Livestock Research for Rural Development*, Revista en línea, Vol. 15, No. 6.

*Sitios de internet donde se cita información relacionada a la propuesta del proyecto.*

Centro de Estudios para la Transición Democrática, A.C.

Disponible en línea en: <http://www.cetrade.org/v2/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization* por sus siglas en inglés)

“Melaza”, <http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/554.HTM>

<http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AFRIS/es/Data/551.HTM>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA, datos en línea en: [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/IndMacroeconomicos/prointbto.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/IndicadoresEconomicos/IndMacroeconomicos/prointbto.pdf)

SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA, “Caña de azúcar”, <http://www.siap.gob.mx>

Ingeniería Civil, Construcción y el Medio Ambiente, “Biomasa”, [http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E\\_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp#Introducción](http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp#Introducción)

Sistema de información de los recursos del pienso. “Melaza”. [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion\\_proteica\\_y\\_con\\_nitrogeno\\_no\\_proteico/02-melaza.htm](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/02-melaza.htm) 2000.

## ANEXO A

### Procedimiento para la determinación de proteína cruda de los alimentos:

#### Método de *Kjeldahl*:

##### *Material y equipo.*

- Aparato de *Kjeldahl*.
- Matraces de *Kjeldahl*.
- Cuerpos de ebullición (trozos de porcelana).
- Plástico autoadherible libre de nitrógeno (*Ega Pack*).
- Bureta.
- El propio laboratorio.

##### *Reactivos.*

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado.
- NaOH 40%.
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> o K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- CuSO<sub>4</sub> pentahidratado.
- H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> al 4%.
- HCl 0.1 N.
- Indicador de Wesselow.

##### *Procedimiento.*

De acuerdo al contenido de nitrógeno, pesar exactamente de 0.5 a 1.0 g de muestra (seca o húmeda), utilizando papel libre de nitrógeno (plástico *Ega-pack*), tarado previamente. Envolver la muestra en el papel y colocarla en el fondo del matraz *Kjeldahl*. Adicionar 2.5 g de mezcla de catalizadores y de 5 a 10 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Colocar el matraz en el digestor, calentar suavemente al principio y después en forma enérgica hasta completar la oxidación. El punto final de la digestión se reconoce cuando la solución es de color verde claro transparente. Si se agota el ácido y no se ha digerido totalmente la muestra (cuando no se ha alcanzado el punto final), dejar enfriar, añadir otra cantidad conocida de ácido y continuar calentando. Algunas veces se presenta un precipitado gris correspondiente a los catalizadores, el cual no afecta al punto final.

Terminada la digestión enfriar el matraz en una campana para extracción de gases o en su defecto al aire libre hasta que no haya emisión de vapores. Añadir aproximadamente 300 ml de agua para disolver completamente la muestra. Agregar algunos pedazos de crisol y agitar.

Preparar el aparato de destilación, esto es, a la salida del refrigerante adaptar un tubo de vidrio el cual deberá permanecer **sumergido** en un matraz Erlenmeyer de 500 ml conteniendo 70 ml de solución de ácido bórico al 4%, el cual servirá de receptor del destilado; además adicionar unas gotas de indicador de *Wesselow*.

Añadir al matraz *Kjeldahl* **Estratificado lentamente**, 10 ml de NaOH al 40% por cada ml de ácido sulfúrico concentrado adicionado durante la digestión. Evitando agitar el matraz, conectarlo **inmediatamente** al sistema de destilación del aparato.

Abrir la válvula de agua del sistema de enfriamiento, encender la parrilla y mezclar **lentamente** con movimiento rotatorios al matraz *Kjeldahl*.

Después de recuperar un poco de destilado, el indicador deberá virar de violeta a gris y posteriormente a verde. Destilar aproximadamente 250 ml.

Para evitar que el matraz de *Kjeldahl* haga succión y el destilado se regrese, **retirar primero** el matraz receptor y después apagar la fuente de calor. A continuación lavar con agua destilada el tubo del refrigerante que estaba sumergido en el matraz con ácido bórico.

Titular lenta y cuidadosamente el destilado con una solución de HCl 0.1 N, hasta alcanzar el vire de verde a gris.

*Expresión de resultados:*

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{V \times N \times pEq \times 100}{m}$$

Dónde:

V = mililitros de HCl usados en la titulación.

N = normalidad de la solución valorada de HCl.

pEq = peso equivalente del nitrógeno =  $14 \frac{mg}{meq}$

m = peso de la muestra en miligramos.

% de proteína = % de nitrógeno x factor de conversión.

El contenido de nitrógeno en diferentes proteínas es aproximadamente de 16% lo que nos da un factor de 6.25; multiplicando el porcentaje de nitrógeno obtenido por el factor se obtiene la cantidad de proteínas presentes en el alimento.

## ANEXO B

### Procedimiento para la determinación de Humedad de los alimentos:

#### Método por calentamiento:

##### *Material y equipo.*

- Estufa.
- Cajas de aluminio.
- Pinzas de crisol.
- Balanza analítica.
- Papel filtro poro medio.

##### *Procedimiento.*

Llevar una caja de aluminio conteniendo un disco de papel filtro poro medio a peso constante, en una estufa 100 °C. Pesar en la caja a peso constante, de 3 a 5 g de muestra homogeneizada, colocarla en la estufa a 80 a 90 °C hasta que el peso de la caja no varíe.

Retirar la caja de la estufa y enfriarla en un desecador: Pesar tan pronto como se alcance la temperatura ambiente.

##### *Expresión de resultados:*

$$\% \text{ humedad} = \frac{(A - B) \times 100}{m}$$

Dónde:

A = Peso de la caja + muestra húmeda, en gramos.

B = Peso de la caja + muestra seca, en gramos.

m = Peso de la muestra húmeda en gramos.

## ANEXO C

### Procedimiento para la determinación de cenizas de los alimentos:

#### *Material y equipo:*

- Mufla.
- Crisol de porcelana.
- Desecador.
- Tinta para marcar el crisol.

#### *Procedimiento:*

Pesar entre y dos gramos de muestra en un crisol puesto previamente a peso constante. Carbonizar la muestra lentamente, para evitar pérdidas por arrastre de humo y proyecciones de muestra fuera del crisol.

Cuando el desprendimiento de humo haya cesado, llevar el crisol a la mufla a una temperatura entre 500-600 °C hasta que las cenizas estén libres de carbón (cenizas grises o blancas). Si esto no se logra, dejar enfriar el crisol, agregar unas gotas de agua destilada, secar nuevamente en el mechero y continuar calentando en la mufla hasta peso constantemente.

Algunas cenizas pueden presentar coloración diferente si la muestra contiene metales coloridos, pero nunca deberá persistir el color negro del carbono,

Transferir el crisol a la estufa, enfriar paulatinamente y llevar al desecador. Una vez que ha alcanzado la temperatura ambiente pesar.

#### *Expresión de resultados:*

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(a-b) \times 100}{m}$$

Dónde:

a = Peso del crisol más cenizas.

b = Peso del crisol vacío.

m = Peso de la muestra en gramos.

## ANEXO D

### Procedimiento para la determinación de extracto etéreo o grasas. (Método de Soxhlet)

#### *Material y Equipo.*

- Matraz balón de fondo plano de 250 ml.
- Cartucho de celulosa.
- Algodón o fibra de vidrio.
- Aparato de Soxhlet.
- Estufa.
- Desecador.
- Pinzas para crisol.

#### *Reactivos.*

- Éter de petróleo o éter etílico anhidro.

#### *Procedimiento.*

Llevar a peso constante el matraz del equipo Soxhlet.

Colocar de 2 a 3 g de muestra previamente seca, en un cartucho de celulosa que contiene una pequeña porción de algodón y colocarlo en el recipiente de sifón del equipo Soxhlet.

Adicionar al matraz (a peso constante) 75 ml de disolvente aproximadamente y conectarlo al refrigerante a través de la unión esmerilada. Evitar las fugas del disolvente, sellando con sumo cuidado. Conecta el sistema de condensación a la llave de agua.

Encender el termostato a un nivel tal, que el disolvente permanezca en ebullición suave. Reflujar aproximadamente 3 horas.

Posteriormente colocar al aire el matraz hasta que no tenga un fuerte olor a éter y entonces llevar la estufa hasta peso contante.

#### *Expresión de resultados:*

$$\text{Extracto Etéreo} = \frac{A-B}{m} \times 100$$

Dónde:

A = Masa del cartucho con la muestra seca.

B = Masa del cartucho con muestra desengrasada.

m = Masa de la muestra deshidratada, en gramos.