

T-UES  
1506  
R175e  
1992  
8j.2..

# Universidad de El Salvador

Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Escuela de Ingeniería Química



**Estudio de Prefactibilidad Técnico-Económica de una Planta Productora de Alimento para Ganado Bovino a partir de Bagazo de Caña Hidrolizado.**

Trabajo de Graduación Presentado por:

**ADELA MARINA RAMOS PEREZ  
LORENA GUADALUPE ORTIZ MANZANO  
CARLOS ARTURO BORJA ALAS**

1510106575101065

Para Optar al Título de:

**INGENIERO QUIMICO**

Julio 1992



**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA.**

25/07/92  
F. J. C.

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR: Dr. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO

GENERAL: Lic. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

## FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

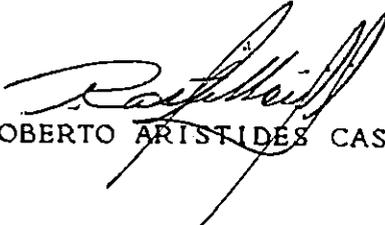
DECANO: Ing. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO: Ing. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

### ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR:



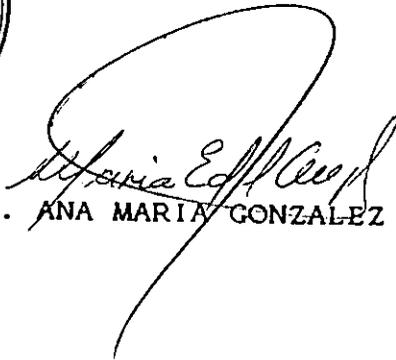
  
ROBERTO ARTISTIDES CASTELLON MURCIA

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

## TRABAJO DE GRADUACION



COORDINADOR: Ing. CARLOS ROBERTO OCHOA CORDOVA



ASESOR: Ing. ANA MARIA GONZALEZ TRABANINO, M Sc.

# DEDICATORIA

- A DIOS TODOPODEROSO:** Por ser el arquitecto de mi existencia y quien a guiado mis pasos en todo momento.
- A MI PADRE:** Lazaro A. Ramos, con cariño y respeto.
- A MI MADRE:** Rosa Elvira Pérez, con profundo amor y agradecimiento por su abnegación, sacrificio y sabios consejos.
- A MIS HERMANOS:** David, Eduardo, Lourdes y René, por su comprensión en los momentos más difíciles de mi carrera.
- A MIS TIOS:** René Alfonso, Dagoberto y Ramón de Jesús (Q.D.D.G.), por brindarme su apoyo y estar siempre cerca de mí.
- A MIS ABUELOS:** María A. Pérez y Carlos Rivera (Q.D.D.G.), con amor y cariño.
- A LA FAMILIA ORTIZ MANZANO:** Por el cariño demostrado durante mis años de estudio.
- A MIS FAMILIARES Y AMIGOS:** Que comparten conmigo este triunfo y que de una u otra forma me dieron ánimos para seguir adelante.

**ADELA MARINA.**

# DEDICATORIA

- A "DIOS TODOPODEROSO": Por permitirme la oportunidad de obtener un título universitario.
- A MIS PADRES: Rubén Ortiz Maldonado y María Concepción Manzano de Ortiz, por su inagotable amor y apoyo durante todos mis años de estudio.
- A MIS HERMANAS: María Teresa, Rina Maribel y Sandra Margarita, por su cariño y por estar siempre cerca de mí, motivándome a continuar mis estudios.
- A MIS SOBRINOS: René, Ricardo, Rubén, Juan, Manuel, Rodrigo, Alejandro y Rinita, por su cariño.
- A LA FAMILIA RAMOS PEREZ: Por su amistad y cariño.
- A MIS AMISTADES: Porque siempre me animaron a seguir adelante.

LORENA GUADALUPE.

# DEDICATORIA

Para la Honra y la Gloria del Señor Jesucristo, quien sostiene los brazos de cuantos en él esperan.

Gratitud a mis padres por su incondicional apoyo y su ejemplo de esfuerzos y constancia.

**CARLOS ARTURO.**

# AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros agradecimientos a los Ingenieros **CARLOS ROBERTO OCHOA CORDOVA** y **ANA MARIA GONZALEZ TRABANINO**, en su carácter de coordinador y asesora de este trabajo de graduación.

Además, queremos agradecer la valiosa ayuda recibida de parte de las siguientes instituciones:

- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA).
- Escuela Nacional de Agricultura "Roberto Quiñón" (ENA).

Así mismo patentizamos nuestra gratitud a las siguientes personas:

- Dra. Gloria Ruth Calderón
- Dr. Manuel Martínez
- Ing. José Castillo González
- Ing. Rolando Sánchez
- Lic. Víctor Manuel Segura
- Ing. Delmy del Carmen Rico Peña
- Ing. Juan Ernesto Sermeño
- Ing. Vladimir Ayala
- Personal del Laboratorio de Química Agrícola del CENTA.

## R E S U M E N

Este trabajo comprende inicialmente una revisión bibliográfica general del bagazo de caña, donde se tocan aspectos como la ubicación de los ingenios azucareros, caracterización del bagazo de caña, posibilidades de utilización, mecanismos de deterioro y métodos de almacenamiento.

Dentro de sus posibles usos se presenta la alternativa de emplearlo para alimentación animal mejorando su digestibilidad mediante hidrólisis, para lo cual se investigan dos procesos diferentes: uno a nivel teórico, que consiste en tratar el bagazo con vapor de agua a alta presión (15 Kgf/cm<sup>2</sup>), del cual se ofrecen sugerencias para posteriores investigaciones; otro a nivel experimental, tratarlo con solución diluida de NaOH, del cual la mejor concentración fue del 4%, base seca y el mejor tiempo de reacción, 24 horas. La variable respuesta utilizada fue el contenido celular, calculado indirectamente a partir del análisis de fibra neutro detergente (pared celular), que son parte de los análisis de laboratorio sugeridos por la literatura; con los resultados obtenidos en esta etapa se pasó a hacer el escalamiento a nivel piloto, donde se obtuvieron similares resultados que a nivel de laboratorio. Además en esta etapa para evaluar la aceptabilidad, se formuló una ración de mantenimiento con el bagazo tratado y se encontró que el ganado la prefirió sobre

otra ración idéntica sin tratar. Se usó la máxima participación aceptada de bagazo, 32 % p/p en base húmeda.

Posteriormente y para concluir se evalúa la prefactibilidad económica del proyecto, pues este pretende la instalación de una planta productora de alimento para ganado bovino en asociación con una cooperativa ganadera, donde se incorpore en sus raciones bagazo hidrolizado.

Una curva de costo unitario de producción contra capacidad de producción presentó un óptimo alrededor de 5,154 TM de ración a 37.03 ¢/qq, donde el proyecto tendría unos costos fijos de ¢641,435.70 y costos anuales de producción de ¢ 4,198,511.60. A un precio de venta de ¢ 43.50 por quintal se obtuvo una Tasa Interna de Retorno(TIR) de 66% y un tiempo de recuperación de capital de 3.7 años, con 8 años de vida económica para el proyecto.

Dado que precios de raciones comerciales equivalentes son de más o menos de ¢ 43.85 por quintal, se concluye que el proyecto es competitivo a las condiciones establecidas de prefactibilidad.

# I N D I C E

	Página
RESUMEN.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I: EL BAGAZO DE CAÑA.....	4
1.1 SUPERFICIE CULTIVADA Y PRODUCCION DE CAÑA..	5
1.2 UBICACION DE LOS INGENIOS AZUCAREROS.....	8
1.3 POSIBILIDADES DE UTILIZACION DE BAGAZO DE CAÑA.....	10
1.4 MECANISMOS DE DETERIORO DEL BAGAZO DE CAÑA.	13
1.5 METODOS DE ALMACENAMIENTO.....	14
1.5.1 ALMACENAMIENTO A GRANEL.....	15
1.5.2 ENFARDADO.....	17
1.5.3 BRIQUETADO.....	18
1.5.4 PELLETS.....	18
1.5.5 ENSILAJE.....	19
1.6 CARACTERIZACION DEL BAGAZO DE CAÑA.....	19
1.6.1 COMPOSICION FISICA.....	20
1.6.2 COMPOSICION QUIMICA.....	21
CAPITULO II: METODOS PARA MEJORAR LA DIGESTIBILIDAD DE MATERIALES LIGNOCELULOSICOS.....	31
2.1 METODOS FISICOS.....	32

2.1.1	VARIABLES DE OPERACION.....	37
2.1.2	OPERACION DEL EQUIPO.....	40
2.2	METODOS QUIMICOS.....	41
2.2.1	DEGRADACION POR SODA.....	45
2.3	METODOS BIOLÓGICOS.....	46
CAPITULO III:	METODOS PARA DETERMINAR EL GRADO DE AVANCE DE LA HIDROLISIS EN MATERIALES LIGNOCELULOSICOS.....	48
CAPITULO IV:	HIDROLISIS QUIMICA A NIVEL DE LABORATORIO	51
CAPITULO V:	PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS PARA LA HIDROLISIS QUIMICA.....	57
5.1	ANALISIS ESTADISTICO.....	59
5.2	GRAFICO DE ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO.....	62
5.3	ANALISIS DE LOS GRAFICOS.....	62
5.4	DISCUSION.....	67
CAPITULO VI:	BASES PARA FORMULAR ALIMENTO PARA GANADO	70
6.1	NECESIDADES NUTRITIVAS DEL GANADO.....	71
CAPITULO VII:	ESTUDIO DE MERCADO.....	77
7.1	DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA.....	77
7.2	ANALISIS DE LA OFERTA DE ALIMENTO PARA GANA-	

DO BOVINO.....	87
7.3 ANALISIS DE LA DEMANDA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO.....	88
7.4 PRECIOS DE RACIONES ALIMENTICIAS PARA GANADO BOVINO.....	93
7.5 CANALES DE COMERCIALIZACION.....	94
CAPITULO VIII: PREFACTIBILIDAD TECNICA.....	95
8.1 ESCALAMIENTO A NIVEL PLANTA PILOTO.....	95
8.2 FORMULACION DE LA RACION ALIMENTICIA.....	101
8.2.1 ENSAYOS CON ANIMALES.....	102
8.2.2 ANALISIS DE LABORATORIO.....	108
8.2.3 RACION PROPUESTA.....	109
8.3 INGENIERIA DEL PROYECTO.....	113
8.3.1 TAMAÑO DEL PROYECTO.....	113
8.3.2 LOCALIZACION DEL PROYECTO.....	118
8.3.3 DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCION.....	118
CAPITULO IX: PREFACTIBILIDAD ECONOMICA.....	124
9.1 INVERSIONES.....	124
9.1.1 COSTOS FIJOS.....	124
9.1.2 CAPITAL DE TRABAJO.....	126
9.2 COSTOS DE PRODUCCION.....	128
9.3 DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO DE PRODUCCION.....	131
9.4 DETERMINACION DEL PUNTO DE EQUILIBRIO.....	131

9.5 VALOR PRESENTE NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO.....	132
---	-----

CAPITULO X: IMPACTO A NIVEL NACIONAL DEL APROVECHA- MIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA COMO ALIMENTO PARA GANADO BOVINO.....	135
---	-----

CONCLUSIONES.....	140
RECOMENDACIONES.....	145
GLOSARIO.....	147
REFERENCIAS.....	150
APENDICES .....	158

## INDICE DE TABLAS

T A B L A		Página
1.1	SUPERFICIE SEMBRADA Y CAÑA DE AZUCAR MOLIDA EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1961-1992.....	6
1.2	PRINCIPALES USOS INDUSTRIALES DEL BAGAZO DE CAÑA.....	12
2.1	DIFERENTES ENSAYOS REALIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE MATERIALES LIGNOCELULOSICOS....	34
2.2	RESULTADOS DE ANALISIS BROMATOLOGICOS DEL BAGAZO "IN NATURA" Y "AUTOHIDROLIZADO"...	36
2.3	CAMBIOS EN LAS FRACCIONES DE FIBRA DEL BAGAZO DE CAÑA A CONSECUENCIA DEL TRATAMIENTO CON NaOH.....	47
5.1	RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO PROXIMAL, FIBRA NEUTRO DETERGENTE Y ELEMENTOS, PARA TRES NIVELES DE NaOH EN BAGAZO DE CAÑA, COMPARADOS CONTRA EL BAGAZO "IN NATURA"...	58
5.2	AUMENTO PORCENTUAL EN EL CONTENIDO CELULAR DEL BAGAZO DE CAÑA TRATADO CON NaOH, A 24 HORAS DE CONTACTO.....	59
5.3	AUMENTO PORCENTUAL EN EL CONTENIDO CELULAR DEL BAGAZO DE CAÑA TRATADO CON NaOH, RES-	

	PECTO A BAGAZO "IN NATURA", PARA 72 HORAS DE CONTACTO.....	59
5.4	RESULTADO DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO.....	61
7.1	EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA POR INGENIO EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1983-1990 (TM)	79
7.2	PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA A NIVEL NACIONAL. PERIODO 1961-1992.....	80
7.3	DATOS PROYECTADOS DE PRODUCCION Y EXCEDEN- TES DE BAGAZO DE CAÑA EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1992 - 2002, CALCULADOS EN BASE A UN PERIODO HISTORICO DE 30 AÑOS.....	83
7.4	PRECIOS POR UNIDAD DE MATERIA PRIMA E INSU- MOS PARA LA FORMULACION DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO.....	87
7.5	DEMANDA TEORICA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1980-1990.....	90
7.6	DEMANDA PROYECTADA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1991-2002.....	91
8.1	ANALISIS DE LABORATORIO DE LA HIDROLISIS QUIMICA DE BAGAZO DE CAÑA A NIVEL PLANTA PILOTO.....	100

8.2	COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA HIDROLISIS QUIMICA DE BAGAZO DE CAÑA A NIVEL DE LABORATORIO Y DE PLANTA PILOTO.....	101
8.3	CONSUMO Y RECHAZO DE UNA RACION FORMULADA PARA GANADO BOVINO CON BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO.....	107
8.4	RESULTADOS DEL ANALISIS DE LABORATORIO DE LAS RACIONES DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO ENSAYADAS Y DE UNA RACION COMERCIAL.....	110
8.5	COMPOSICION DE LA RACION PROPUESTA PARA ALIMENTO DE GANADO BOVINO.....	111
8.6	ANALISIS BROMATOLOGICO DE LA RACION PRO- PUESTA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO.....	112
8.7	COSTO PARA SELECCIONAR EL TAMAÑO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO DE ACUERDO A SU CAPACIDAD DE PRODUCCION.....	116
8.8	ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO SELECCIONADO PARA FORMULAR RACIONES ALIMENTICIAS PARA GANADO.....	123
9.1	COSTOS FIJOS PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO.....	127
9.2	CAPITAL DE TRABAJO PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO	

	BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA	
	HIDROLIZADO.....	128
9.3	INVERSION DE CAPITAL PARA EL PROYECTO.....	128
9.4	COSTOS DE PRODUCCION PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO.....	130
9.5	VALOR PRESENTE NETO (VPN) Y LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR), PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZA DO.....	134

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA		Página
1.1	CAÑA DE AZUCAR MOLIDA EN EL SALVADOR PARA EL PERIODO 1962-1992.....	7
1.2	ZONAS CAÑERAS E INGENIOS EN EL SALVADOR....	9
1.3	COMPOSICION FISICA DEL BAGAZO DE CAÑA.....	22
1.4	COMPOSICION QUIMICA DEL BAGAZO DE CAÑA.....	24
1.5	COMPOSICION QUIMICA DE LA FIBRA CRUDA.....	25
1.6	ESTRUCTURA GLUCOPIRANOSIDA DE LA CELULOSA.	29
1.7	MONOMEROS QUE FORMAN A LA HEMICELULOSA....	30
2.1	PROPUESTA DEL DISEÑO DE HIDROLIZADOR PARA VIA TERMICA.....	43
4.1	PREPARACION DE SOLUCIONES DE NaOH EN EL LABORATORIO.....	52
4.2	ASPERJADO DEL BAGAZO DE CAÑA "IN NATURA" CON SOLUCION DE NaOH.....	55
4.3	MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA PARA LA DETERMINACION DE FIBRA NEUTRO DETERGENTE.....	56
5.1	% FIBRA NEUTRO DETERGENTE vrs % NaOH UTILIZADO EN LA HIDROLISIS QUIMICA DEL BAGAZO DE CAÑA.....	63
5.2	% CONTENIDO CELULAR vrs % NaOH UTILIZADO EN LA HIDROLISIS QUIMICA DEL BAGAZO DE CAÑA.....	64

5.3	% Na PRESENTE EN LAS MUESTRAS HIDROLIZADAS vrs % NaOH UTILIZADO EN LA HIDROLISIS QUI- MICA DEL BAGAZO DE CAÑA.....	65
6.1	PRODUCCION TOTAL DE CALOR Y REPARTO DE LA ENERGIA EN LOS BOVINOS.....	76
7.1	PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA EN EL SALVADOR. DATOS HISTORICOS Y ACTUALES, PERIODO 1962-1992.....	84
7.2	PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA EN EL SALVADOR, PROYECTADOS PARA EL PERIODO 1992-2002.....	85
7.3	DEMANDA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO EN EL SALVADOR. SITUACION HISTORICA, ACTUAL Y PROYECTADA.....	92
7.4	CANALES DE COMERCIALIZACION PROPUESTOS DE EL ALIMENTO PARA GANADO BOVINO.....	94
8.1	MEZCLADORA PARA CONCENTRADOS TIPO HORIZON- TAL.....	97
8.2	VISTA INTERIOR DE LA MEZCLADORA PARA CON- CENTRADOS TIPO HORIZONTAL.....	98
8.3	BASCULA MECANICA DE FIEL.....	99
8.4	NOVILLAS ENTRE 9 Y 12 MESES DE EDAD, RAZAS BROWN SWISS Y HOLSTEIN, UTILIZADAS EN EL - ENSAYO.....	103

8.5	FORMULA PREPARADA PARA EVALUAR ACEPTABILIDAD DE RACIONES CONTENIENDO BAGAZO HIDROLIZADO.....	105
8.6	NOVILLAS CONSUMIENDO RACION FORMULADA CON BAGAZO HIDROLIZADO.....	106
8.7	COSTO UNITARIO DE PRODUCCION DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO VRS CAPACIDAD INSTALADA DE LA PLANTA.....	117
8.8	PROCESO DE PRODUCCION DE ALIMENTO ANIMAL CON BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO.....	122

## INTRODUCCION

En El Salvador, la Industria Azucarera es uno de los principales rubros en el sostenimiento de la economía nacional.

Se sabe que uno de los principales problemas de ésta lo constituye la disposición final del bagazo de caña, ya que por su baja densidad y por la cantidad que se genera dentro del proceso de producción del azúcar, el espacio para su almacenamiento se vuelve insuficiente. Actualmente, el uso principal de éste es como combustible dentro de las calderas de los mismos ingenios, donde es utilizado para cogeneración de energía eléctrica y producción de vapor. Sin embargo, a pesar de este uso se sabe que existen anualmente excedentes de bagazo de caña, del orden del 10 % del total producido, el cual en su mayor parte se deteriora en los patios de los ingenios

También se sabe que actualmente se emplea una pequeña parte de estos excedentes para incorporarlos en raciones alimenticias de ganado bovino, donde su aprovechamiento se ve limitado por la complejidad de la estructura de la fibra que lo constituye.

Por lo anteriormente expuesto, se plantea como objetivo principal de este estudio, investigar metodologías de hidrólisis

que degraden la estructura de la fibra del bagazo de caña, mejorando e incrementando su uso como alimento para ganado bovino.

Para tal fin se plantea a nivel bibliográfico la hidrólisis por la vía térmica, donde se utiliza vapor altamente presurizado; este método no se pudo llevar a la práctica por no contar con un equipo adecuado y no lograr apoyo institucional para su implementación a su debido tiempo.

Se evaluó experimentalmente la hidrólisis vía química, cuyos resultados a nivel de laboratorio, sirvieron para hacer el escalamiento a nivel planta piloto; posteriormente, los nuevos resultados obtenidos se utilizaron para llevar a cabo un estudio de prefactibilidad que evaluaban factores técnicos y económicos para la instalación de una planta productora de alimento para ganado bovino que incorpore bagazo de caña hidrolizado en sus raciones. Cabe mencionar que la evaluación realizada, puede tomarse con un 75 % de confianza, pues los precios que se utilizaron en su mayoría, fueron cotizados con distribuidores locales y en el caso de equipos que no se encuentran en el país, se utilizaron los precios que aparecen en el Manual del Ingeniero Químico (65) y se actualizaron en base a estimaciones.

Por otra parte, se sabe que El Salvador es un país en desarrollo, con escaso territorio y alta densidad de población, por lo que se vuelve necesario aprovechar al máximo sus recursos, tal es el caso del bagazo de caña, que mejorando su aporte en carbohidratos beneficiaría directamente el hato nacional y por ende se obtendrían beneficios sociales al suplir las necesidades alimenticias del ganado bovino en la época seca, especialmente, donde la existencia de pastos naturales se ve limitada, logrando que la escasez de proteína de origen animal, se dé en menor escala.

Esta investigación podría servir como base para la introducción de tecnologías más eficientes en el tratamiento de materiales lignocelulósicos que se utilizan en la alimentación animal y a la vez solventando en alguna medida, la problemática de los Ingenios Azucareros.

## CAPITULO I

### EL BAGAZO DE CAÑA

Siendo El Salvador un país tropical, uno de los cultivos que más se adaptan a las condiciones climáticas y de suelo, es el de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) ya que, este cultivo crece fácilmente de 0-600 metros sobre el nivel del mar y requiere temperaturas promedios de 18 a 30° C y suelos con buen drenaje, topografía plana y pH de 4 a 9.

La utilización de la caña de azúcar, ha estado ligada a su transformación en un producto de consumo directo, sin embargo durante este proceso de transformación, se obtiene una gran cantidad de sub-productos, sobresaliendo por sus volúmenes el bagazo y la melaza.

Se debe tener presente que la proporción del bagazo en la caña, oscila entre un 25 a 30%, dependiendo en la variedad de caña.

La localización de los cultivos es de gran importancia en el desarrollo de la Industria Azucarera, ya que determinan la localización de los ingenios.

## 1.1 SUPERFICIE CULTIVADA Y PRODUCCION DE CAÑA DE AZUCAR EN EL SALVADOR

En la Tabla 1.1 se presentan los datos estadísticos de la superficie sembrada en Hectáreas(Ha) y la producción total de caña molida, en Toneladas Métricas (TM). A fin de mostrar la disponibilidad de bagazo y la tendencia histórica, basada en un período de 30 años.

A partir de la Tabla 1.1 se construye la Figura 1.1 donde se muestra en forma gráfica la molienda total de caña de azúcar para el período 62-92. Se observa una tendencia creciente en la molienda de caña de azúcar para el período 72-77 y para el período 82-86 obteniéndose un máximo en 1986; éste incremento equivale al 72.95 % con respecto a 1980 y luego se aprecia una disminución en la molienda de caña entre 1986-1989, debido sobretodo a factores socio-políticos y económicos del país, además de las fluctuaciones normales del mercado azucarero.

A partir de la zafra 89-90 se aprecia una recuperación del 28% respecto al año anterior, la cual va en aumento, manteniéndose de tal forma para la última zafra.

TABLA 1.1: SUPERFICIE SEMBRADA Y CAÑA DE AZUCAR MOLIDA EN EL SALVADOR PARA EL PERIODO 1961-1992.

ZAFRA	SUPERFICIE SEMBRADA (Ha)	CAÑA MOLIDA (TM)
61-62 <u>1/</u>	8,556.1	559,371.3
62-63	9,079.0	634,028.8
63-64	9,410.8	646,304.0
64-65	14,155.4	1,037,917.9
65-66	15,441.3	1,173,020.0
66-67	15,428.0	1,155,148.3
67-68	16,469.6	1,271,550.3
68-69	14,705.6	1,024,275.6
69-70	14,899.5	1,126,517.3
70-71	19,343.8	1,516,730.5
71-72	22,708.0	1,823,487.8
72-73	23,576.7	1,867,549.7
73-74	30,282.0	2,364,601.3
74-75	33,208.7	2,579,569.1
75-76	33,574.1	2,553,412.9
76-77	34,685.0	2,892,678.9
77-78	34,384.0	2,851,945.9
78-79	33,369.0	2,707,034.4
79-80	27,300.0	1,991,111.3
80-81	26,600.0	1,798,710.0
81-82	27,440.0	1,920,948.9
82-83	31,500.0	2,459,765.9
83-84	34,020.0	2,829,638.0
84-85 <u>2/</u>	36,400.0	2,914,576.8
85-86	38,640.0	3,110,941.7
86-87	41,125.0	2,889,060.1
87-88	33,810.0	2,292,395.9
88-89	28,910.0	2,077,742.0
89-90	31,920.0	2,666,765.9
90-91	42,000.0	3,265,898.6
91-92	46,958.3	3,651,456.0

1/ Referencia (23)

2/ Referencia (45)

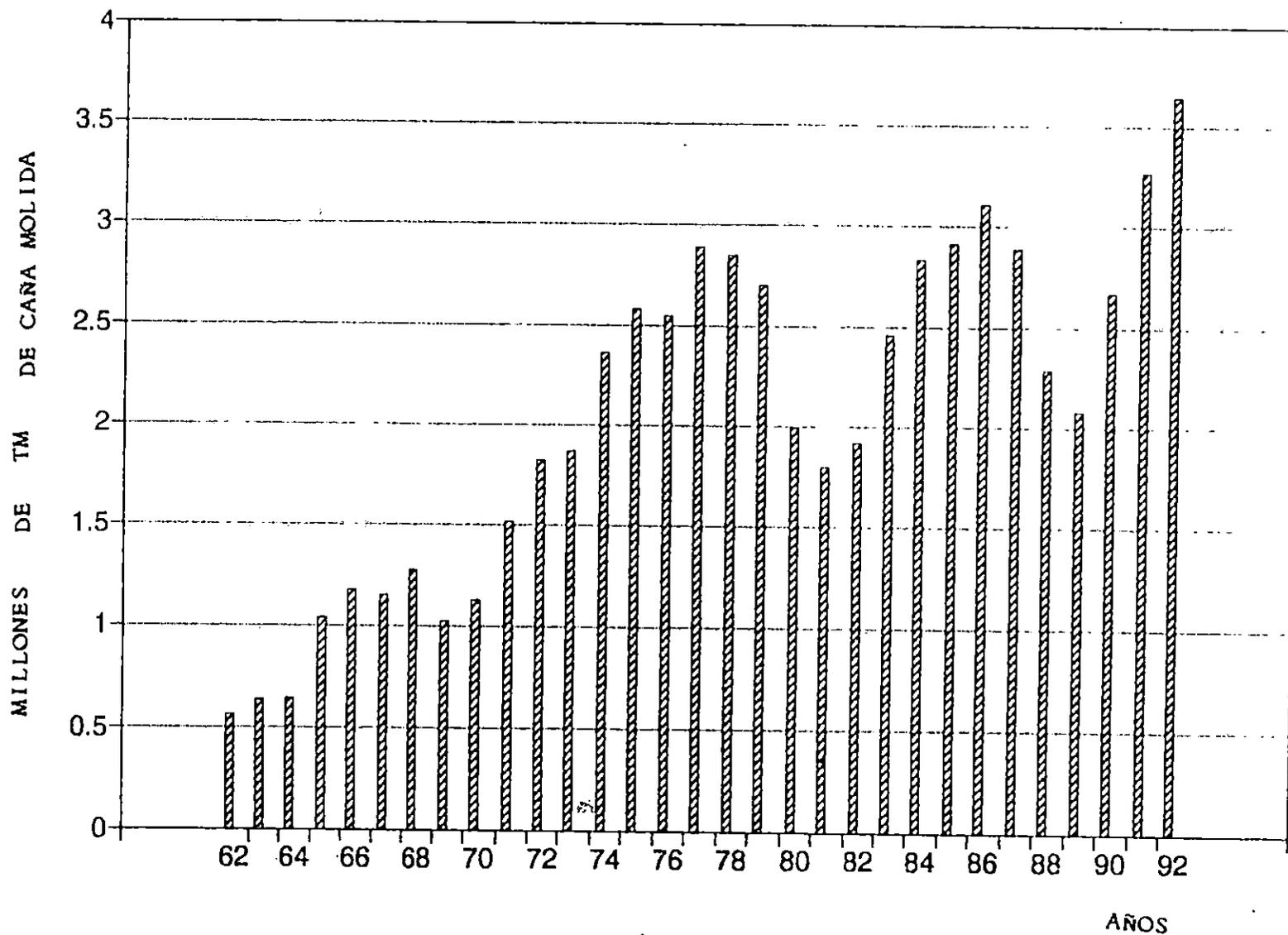


FIGURA 1.1: CAÑA DE AZUCAR MOLIDA EN EL SALVADOR PARA EL PERIODO 1962-1992

Tomando en cuenta, que esta disminución tan marcada en la producción se debe a un comportamiento cíclico, inherente a todo proceso agroindustrial y a la situación sociopolítica que ha vivido el país y conociendo que actualmente el país experimenta una distensión social, permite predecir, que a partir de esta distensión los procesos productivos tendrán un comportamiento ascendente y por lo tanto se pueden hacer proyecciones favorables para el próximo decenio.

Sin embargo, debe tomarse en cuenta que a nivel mundial, el mercado para la industria azucarera es un tanto sombrío, ya que la producción de edulcorantes en países industrializados, está cobrando auge, lo cual podría hacer que hubiera mayor necesidad de utilizar los subproductos provenientes de esta agroindustria (29).

## 1.2 UBICACION DE LOS INGENIOS AZUCAREROS EN EL SALVADOR

Existen actualmente en el país, 10 ingenios azucareros (1991), operando durante 6 meses al año (Noviembre-Abril), los cuales se distribuyen de la siguiente manera: 4 en la zona occidental, 5 en la zona central y 1 en la zona oriental. La Localización geográfica de cada uno de ellos se orienta principalmente por la dispo-

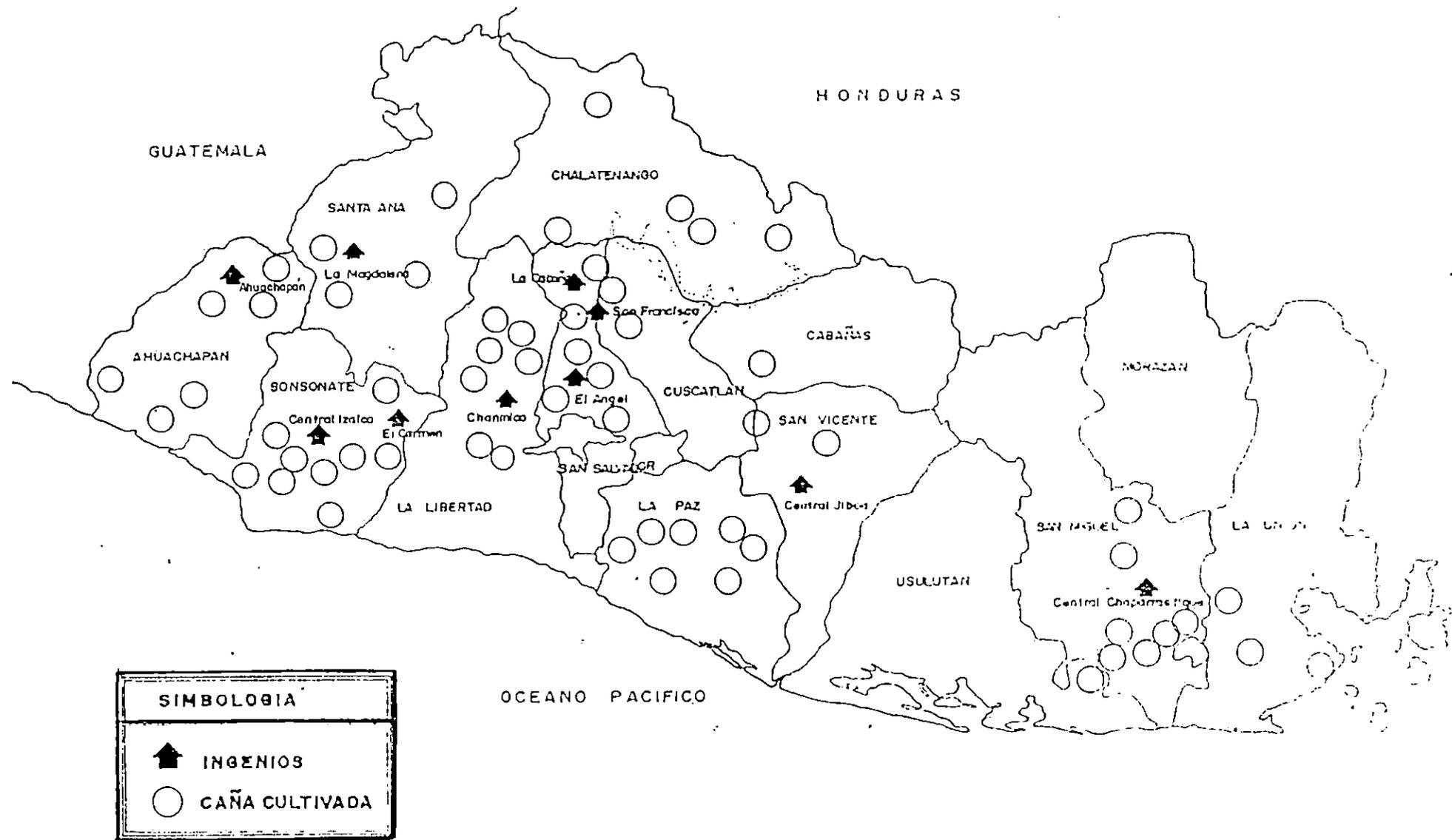


FIGURA 1.2 ZONAS CAÑERAS E INGENIOS EN EL SALVADOR .

bilidad de materia prima.

En la figura 1.2, se muestra la ubicación geográfica de los ingenios, así como también las áreas cultivadas en el país.

La capacidad instalada disponible en los ingenios oscil<sup>?</sup>la entre 900-5000 TM de caña/día (71).

En El Salvador la duración de la zafra varía entre 65 a 160 días, dependiendo de la capacidad del ingenio, de la cantidad de caña disponible y del contexto socio-político económico nacional e internacional(20).

### 1.3 POSIBILIDADES DE UTILIZACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA

El bagazo se está convirtiendo en la fibra no maderable más utilizada en todo el mundo. Cuenta con la ventaja de que se obtiene en cantidades considerables en los ingenios lo que hace más fácil y económica su recolección para lograr un mejor aprovechamiento (71).

La calidad del bagazo está determinada por cuatro características: la cantidad resultante, el contenido de humedad, el contenido de fibras y el contenido residual de azúcar (71).

El contenido de fibras de la caña y de la fibra en el bagazo, determina la cantidad de bagazo producida. En promedio se calcula un resultante de bagazo de 25 a 30 libras por 100 Lb de caña, con un contenido de humedad del 50% (33).

En El Salvador no se ha dado toda la importancia que realmente tiene el bagazo como materia prima sujeta a diversificación.

Esto se evidencia, pues del total de excedentes de bagazo en los ingenios, alrededor del 10% del producido, se deteriora en los patios por causa de las lluvias o hay problemas de autoignición por su almacenamiento a la intemperie. La utilización de los excedentes de bagazo aprovechables, está limitada actualmente a la preparación del alimento para animales, donde actúa casi en su totalidad como material de relleno, ya que se usa tal como se obtiene en los ingenios, agregándole otros componentes para mejorar su aceptabilidad y calidad nutritiva. Por otro lado, una parte de los excedentes se utiliza como materia prima para la fabricación de tableros prensados.

El 90% del bagazo producido es tradicionalmente con

sumido en calderas de baja presión (21 Kgf/cm<sup>2</sup>); al mejorarse la eficiencia de las calderas y del proceso se podrían obtener mayores excedentes de bagazo, del orden del 20% o más, dependiendo de los arreglos tecnológicos que se introduzcan.

En la Tabla 1.2 se presentan las principales aplicaciones industriales del bagazo.

TABLA 1.2: PRINCIPALES USOS INDUSTRIALES DEL BAGAZO DE CAÑA

Vapor y Electricidad
Briquetas
Carbón Activado
Levadura Torula y Miel Hidrolítica
Furfural
Tableros de Bagazo
$\alpha$ - Celulosa
Pulpa y Papel
Combustible
Alimento para Animales

FUENTE: (71).

#### 1.4 MECANISMOS DE DETERIORO DEL BAGAZO DE CAÑA

El deterioro con respecto al tiempo cae en dos categorías: pudrición y autoignición.

El bagazo de caña tal como sale del proceso, lleva una humedad entre 50% y 52%; en ésta humedad existe un pequeño residuo de azúcares.

En un apilamiento de bagazo expuesto a la intemperie, pueden distinguirse dos zonas: una superficial o aeróbica y la otra en el interior del montículo que es anaeróbica, pues el aire ya no puede penetrar.

La actividad microbiológica inicial es llevada a cabo por levaduras aerofílicas que, en condiciones aeróbicas, a partir de los azúcares consumidos producen  $\text{CO}_2$  y agua pero en condiciones anaeróbicas, producen etanol y  $\text{CO}_2$ .

A medida que transcurre el tiempo, la población de levaduras se incrementa y disminuye el azúcar disponible; simultáneamente aumenta la temperatura dado que ésta reacción fermentativa es exotérmica. Estas condiciones de aumento de temperatura en combinación con un alto contenido de humedad en el bagazo (especialmente si ha -

estado expuesto a precipitaciones), propicia el fenómeno de la autoignición donde la superficie del promontorio se incendia y, de no controlarse, puede afectar una considerable parte del bagazo.

Una vez que la temperatura ha aumentado, las levaduras comienzan a desaparecer, en cambio proliferan microorganismos mesofílicos que no requieren azúcares como sustrato, muchos de ellos son celulolíticos y son los responsables de la putrefacción del bagazo.

Esta putrefacción del bagazo puede ser percibida por un olor característico. De los productos del metabolismo celulolítico se obtienen azúcares que a su vez sirven de sustrato para la población no celulolítica(32).

#### 1.5 MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO

Los métodos de almacenamiento del bagazo de caña, han ido desarrollándose conforme se van difundiendo y popularizando las industrias que lo usan como materia prima.

Mientras este bagazo excedente no ha sido requerido, el Ingenio simplemente lo ha acumulado en predios baldíos

aledaños o lo há descargado en cuerpos de agua (ríos o mares según su proximidad).

Sin embargo actualmente la contaminación ambiental y un valor comercial atribuible al bagazo de caña, ha planteado a los Ingenios la necesidad de mejorar la eficiencia energética donde se utilice el mínimo de bagazo para los requerimientos de vapor.

Como es de suponer, los tipos de almacenamiento están en función del destino final de utilización; a continuación se mencionan 8 formas de almacenamiento practicada en 5 diferentes usos:

#### 1.5.1 ALMACENAMIENTO A GRANEL } 3

Por ser la forma más directa de almacenar bagazo, es la que incurre en menos costos y es la preferida para grandes volúmenes. Según el uso se pueden dar algunas variaciones principalmente para dos casos:

- a) La humedad del material debe disminuirse.
- b) La humedad se mantiene constante.

Para el primer caso, se puede considerar la industria papelera (Brasil). Aquí el bagazo se apila en

grandes áreas expuestas a la intemperie. En estas circunstancias se aprovecha el fenómeno de la autoignición controlada para bajar el contenido de humedad hasta aproximadamente 18% y así entra al proceso de esta industria (44).

El segundo caso donde se mantiene constante la humedad, se dispone en promontorios altos, compactos que les confieren gran impermeabilidad.

Esta es la práctica usual en los ingenios. Se ocupa equipo pesado para su manejo, tal como palas mecánicas. El montículo puede tener alturas de unos 10 m, en áreas de unos 100 metros cuadrados, dependiendo del volumen de producción. En estas condiciones se han reportado problemas de autoignición (69).

Una forma alternativa de almacenar el bagazo a granel y a la intemperie, es "en húmedo". Aquí se apila y humedece con "líquido biológico" que es un medio de melaza con un cultivo de bacterias productoras de ácido láctico que mantienen el pH en 3.8 para inhibir microorganismos celulolíticos. Este método se practica en Brasil (6,32).

## 1.5.2 ENFARDADO }

Para efectos de comercialización y almacenamiento, ésta es la forma preferida de manejo. El material se compacta en pacas de un peso entre 15 y 1000kg, según el tamaño del equipo. Puede presentar problemas de fermentación. Se tienen los inconvenientes de incurrir en costos de mano de obra y operación, pero sus ventajas son facilidad de manejo y requerir menor espacio de almacenamiento. La presión aplicada varía entre 5.5 y 6.5 kg/cm<sup>2</sup>. La densidad relativa del material enfardado, es de aproximadamente 0.31 (compárese con la densidad relativa del bagazo "in natura" de más o menos 0.17) (8).

Algunas veces se ocupan los fardos de 15 kg con un 45% de humedad que a la intemperie, por autoignición se llega a una humedad entre 10% y 12% (44). En otros casos la humedad final está entre 15% y 30% con circulación natural de aire. Para facilitar éste efecto de circulación se enfarda y se deja un túnel excavado en el material hasta el centro del fardo (21). En las industrias que fabrican tableros de bagazo aglomerado, se debe almacenar el material por varios meses, para disponer de él

durante el período de interzafra.

Para su conservación se le aplica el siguiente tratamiento: secado con gases de chimenea de las calderas y se lleva su humedad hasta 35 %; a continuación se le prensa suavemente para no destruir la fibra, pues ésto influye en la calidad final del producto (42).

### 1.5.3 BRIQUETADO }

El producto final ocupa 1/6 del espacio requerido para los fardos, su humedad final es de 15%; la briqueta tiene unas 5 pulgadas de diámetro. En la briquetadora un sistema de prensas aplican una presión de  $1 \text{ ton/cm}^2$ , hasta una densidad relativamente entre 0.7 y 1.0; no requiere de ningún aglomerante químico.

### 1.5.4 PELLETS }

La peletización de los subproductos del proceso azucarero, ha sido también probado con miras de utilizar la médula, aglomerándola con vinaza, que de otra forma se convertirían en contaminantes. Este aglomerado serviría para combustible en las calderas o como alimento animal. También se ha in-

tentado peletizar bagazo integral con vinaza. La materia prima de entrada es médula; se le aplica la vinaza por aspersión hasta una humedad de 67%. Esto se hace en áreas abiertas. El material humedecido se lleva hacia la peletizadora que da los pellets en longitudes de más o menos una pulgada y una densidad relativa de 1.37 (27).

#### 1.5.5 ENSILAJE )

Es una forma especial de almacenamiento del bagazo exclusivo para alimentación animal. Se caracteriza por estar protegido de la intemperie y permitir una fermentación alcohólica o láctica (siendo deseable la segunda), fermentación que se controla con el pH del material.

#### 1.6 CARACTERIZACION DEL BAGAZO DE CAÑA

El bagazo final, o simplemente bagazo, es el material sólido, fibroso, lignocelulósico, que sale de la última terna de molinos después de la extracción del jugo(37).

La estructura celular del bagazo, como su composición química y sus características físicas, son consecuencia directa de las variedades genéticas, tipo de suelo, con-

diciones de clima, edad de corte, tipo y grado de abonamiento, así como otros factores agronómicos que intervienen en el cultivo de la caña de azúcar (71).

#### 1.6.1 COMPOSICION FISICA

La estructura física del bagazo está constituida por tres componentes principales: Médula, fibra y epidermis (ver Fig.1.3) (71).

a) Médula o meollo: Representa aproximadamente el 30% del bagazo, compuesta por células parenquimatosas suaves, de paredes delgadas y forma irregular (43). Se localiza principalmente en el centro del tallo y contiene prácticamente todo el jugo de la caña. Se caracteriza por sus propiedades absorbentes, ya que puede absorber muchas veces su peso en líquidos (30 veces su propio peso), por lo cual es un vehículo excelente para las melazas en la preparación de alimento para animales (71).

b) Fibra: Constituye aproximadamente el 65% del bagazo integral. Está compuesta de células resistentes, paredes duras cilíndricas y tejidos vasculares, representa la parte industrialmente deseada para obtener pulpa química, papel o láminas de ma-

dera artificial.

c) Epidermis: es la capa exterior, que representa alrededor del 5% del peso del bagazo, se encuentra en la superficie del tallo de la caña formando una capa delgada, densa y no fibrosa, con alta resistencia al ataque químico (71).

#### 1.6.2 COMPOSICION QUIMICA

Al hablar de la composición química del bagazo, algunos autores (27), la definen en términos generales como la proporción de humedad, sólidos solubles cenizas y fibra cruda que éste tiene, siendo el valor promedio de cada uno de ellos el que se muestra en la Figura 1.4.

a) Humedad: es el contenido de agua presente en el bagazo, después de habersele extraído el jugo.

b) Sólidos solubles: es la proporción de materia sólida que es soluble en agua.

c) Cenizas: es el contenido de materia inorgánica, que no se destruye a temperaturas de 600° C (36).

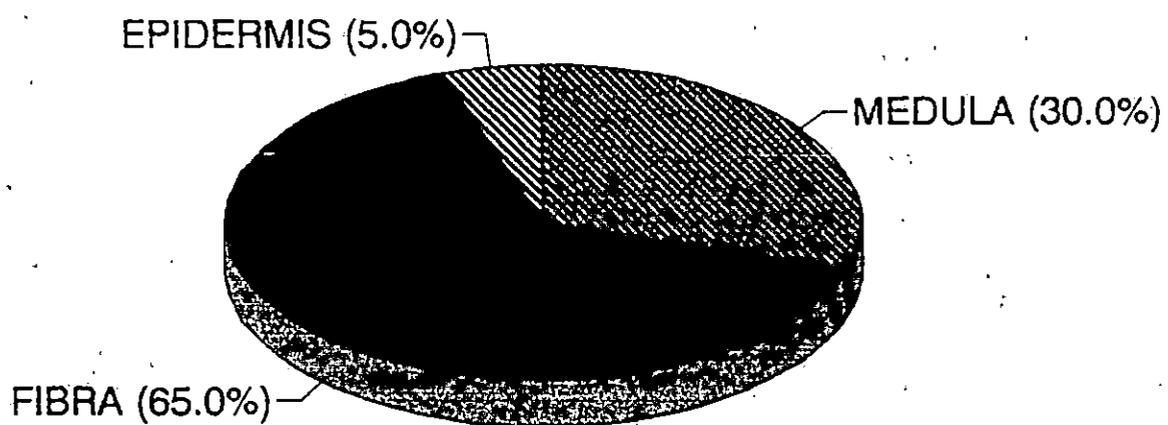


FIGURA 1.3: COMPOSICION FISICA DEL BAGAZO DE CAÑA.

d) Fibra cruda: es el contenido de materia orgánica libre de grasa y humedad. Está formada por Celulosa, Hemicelulosa y Lignina en la proporción que se detalla en la Figura 1.5.

Siendo la fibra cruda la parte del bagazo susceptible al proceso de hidrólisis, se hace necesario ampliar más sobre su composición química.

Como en todas las plantas herbáceas, afines a las plantas leñosas, en la caña de azúcar la celulosa es el principal componente. Las largas cadenas de fibra de celulosa están adheridas unas a otras por medio de hemicelulosa y lignina, siendo la lignina la red que contiene la pared celular estructural; de ella depende la accesibilidad a las cadenas celulósicas de las enzimas de la población ruminal.

i) Celulosa: es un polímero lineal formado de unidades de anhidro D-glucosa, unidas por enlaces  $\beta$ -1-4 glucosídicos (16).

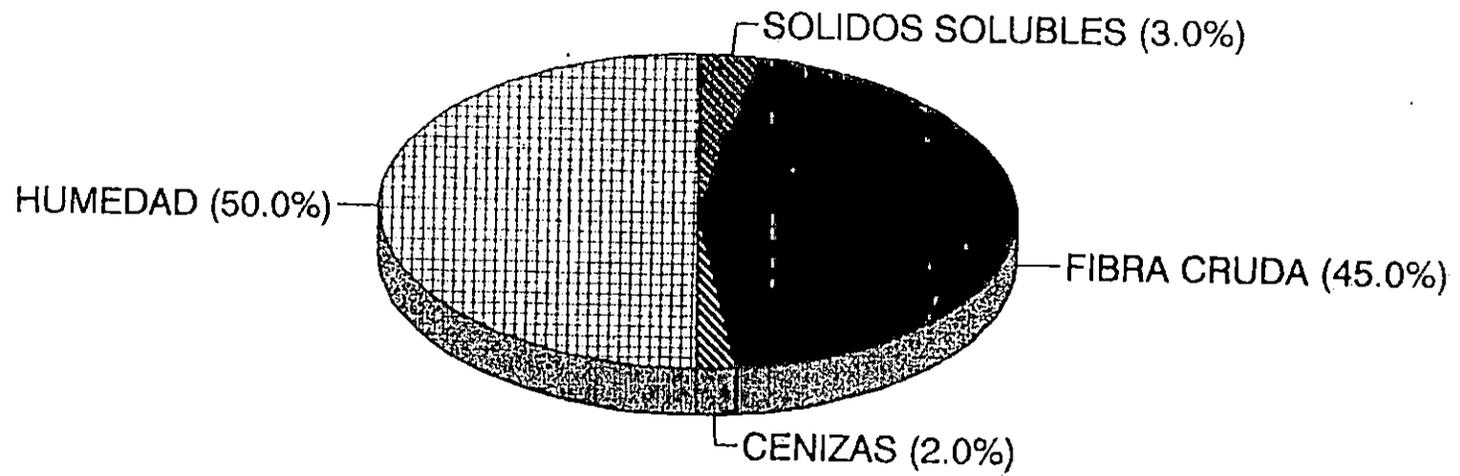


FIGURA 1.4: COMPOSICION QUIMICA DEL BAGAZO DE CAÑA.

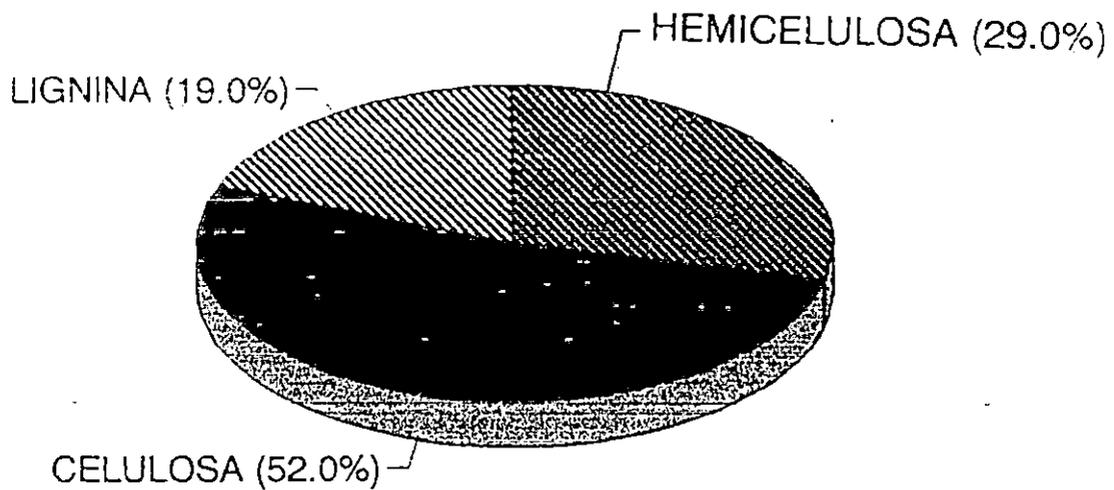


FIGURA 1.5: COMPOSICION QUIMICA DE LA FIBRA CRUDA.

Este polisacárido, es más resistente a los reactivos químicos que el almidón. Los ácidos y álcalis débiles producen poco efecto sobre la celulosa, pero ésta se hidroliza por los ácidos fuertes y se produce D-glucosa (52).

Los enlaces  $\beta(1-4)$  de la celulosa no pueden ser hidrolizados por enzimas digestivas de la mayoría de los vertebrados, por lo que ésta no es digerible y consecuentemente no está disponible como fuente alimenticia.

Los únicos vertebrados capaces de digerir celulosa como alimento son los rumiantes (ovejas, cabras, bovinos, etc), pero lo hacen por medio de un proceso fermentativo que ocurre en el sistema de cuatro estómagos que éstos poseen (67).

Las diferencias en las propiedades de la celulosa se deben primariamente a los diferentes grados de polimerización, o número de unidades de piranósido (ver Apéndice A) en las cadenas de polímeros, que se denotan con el símbolo  $n$  en la fórmula estructural (Figura 1.6) (37).

ii) Hemicelulosa: es otro polisacárido que generalmente acompaña a la celulosa en los tejidos vegetales. A diferencia de la celulosa, los componentes monoméricos son variados, tal como lo muestra la Fig. 1.7, lo mismo que el tipo de enlace entre ellos (16), comprende dos pentosanas (arabana y xilana), algunas hexosanas (manana, galactana, etc.) y poliurónidos (52). La cantidad de hemicelulosa presente es menor que la de la celulosa y es mucho menos resistente a los agentes químicos, es insoluble en agua hirviente, pero soluble en álcalis diluidos y se hidroliza por la acción de los ácidos diluidos hasta transformarse en azúcares simples y ácidos urónicos, en especial gluconico y el galacturónico (52).

iii) Lignina: es un polímero asociado físicamente y en cierto grado químicamente con los polisacáridos en las paredes celulares de las plantas. Es un material amorfo, con estructura tridimensional, con monómeros aromáticos y altamente ramificados depositados alrededor de la celulosa, proveyendo una estructura de gran resistencia. Este material actúa como una barrera física y química en la acción de las celulasas. Físicamente la penetra-

ción de moléculas de enzimas no es posible y químicamente la unión lignina-carbohidratos forman bloqueos metabólicos que inhiben la acción de las polisacarosas. La lignina resiste la hidrólisis ácida y permanece como un residuo insoluble después de ella (52).

La lignina no es un carbohidrato, pero su gran importancia radica en estar tan íntimamente asociada con la celulosa.

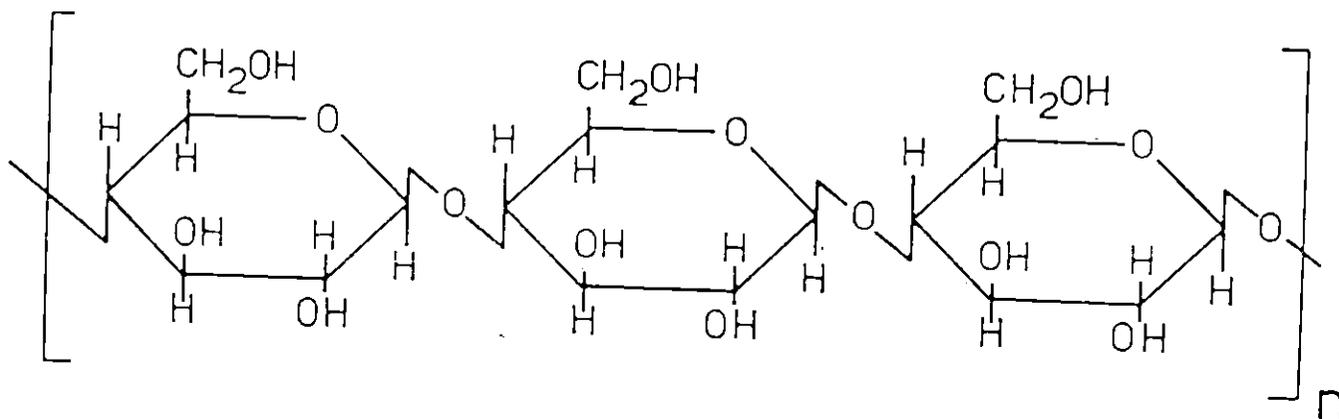


FIGURA 1.6: ESTRUCTURA GLUCOPIRANOSA DE LA CELULOSA (16).

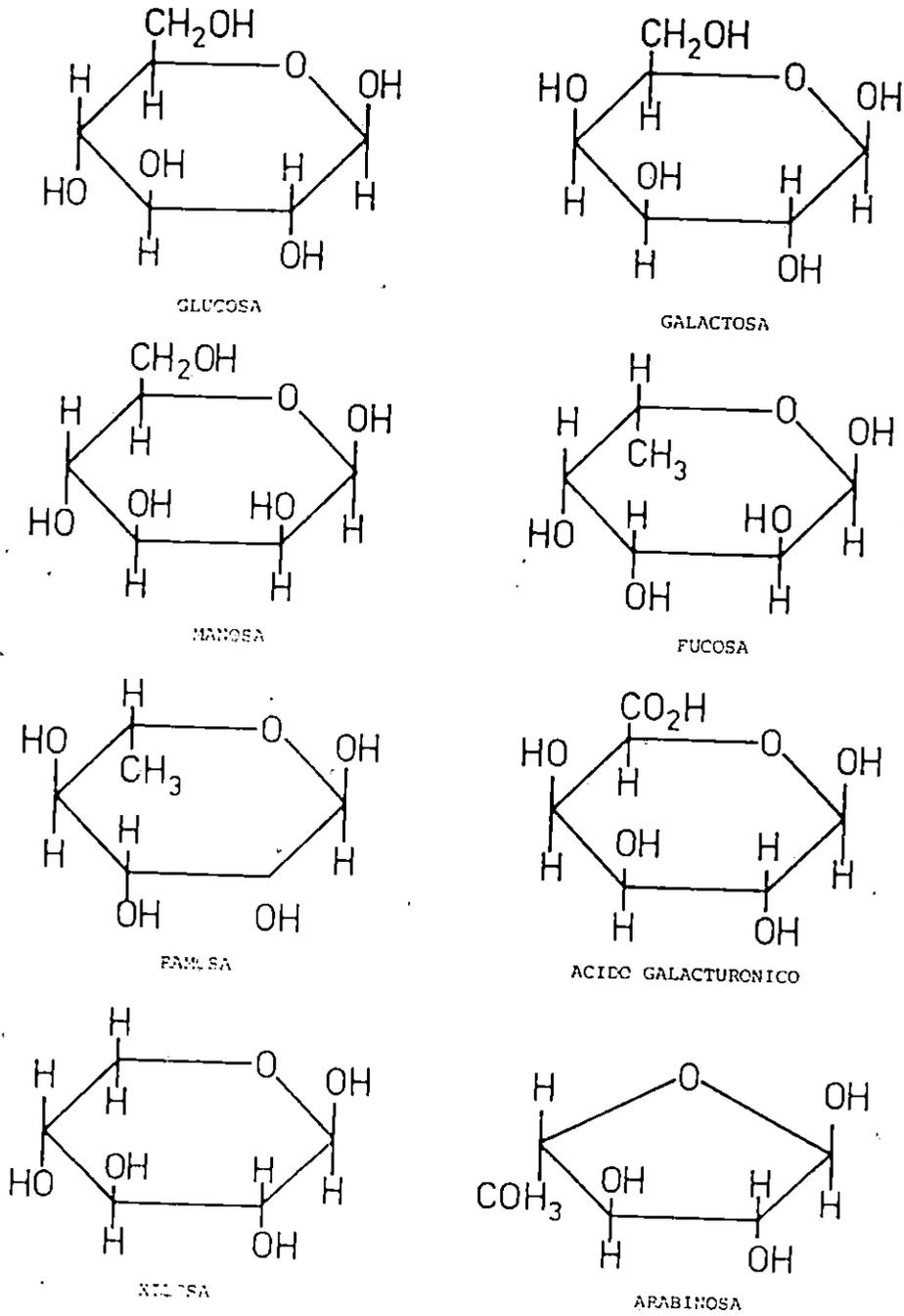


FIGURA 1.7: MONOMEROS QUE FORMAN A LA HEMICELULOSA (16).

## CAPITULO II

### METODOS PARA MEJORAR LA DIGESTIBILIDAD

#### DE MATERIALES LIGNOCELULOSICOS

Una limitante de la digestibilidad de un forraje es su contenido de fibra. Por esta razón han sido muchos los investigadores que han tratado de una forma u otra de reducir el contenido de fibra o hacerla más digestible. Estos métodos pueden ser llamados de manera más amplia "métodos de degradación" (10).

Químicamente hablando, la degradación de la fibra consiste en romper las cadenas de polisacáridos a componentes de menor peso molecular, que son más fácilmente atacables por la flora microbiana del tracto digestivo de los rumiantes. Si la materia lignocelulósica no es degradada, la superficie de ataque para los microorganismos es pequeña y la mayor parte de la fibra es descargada tal como se ingirió. Así, la buena porción de energía contenida en el material es desaprovechada.

El interés en encontrar los procesos adecuados para el tratamiento de materiales lignocelulósicos, tal como el bagazo de caña y otros subproductos de la agroindustria es un tema de mucho interés en los últimos tiempos. Esto no obedece al solo hecho de aprovechar este tipo de recursos, si no más

bien al potencial alimenticio que se encuentra disponible en la fibra y que debido a la complejidad de sus enlaces lo vuelve de baja digestibilidad.

Los métodos utilizados para este fin pueden clasificarse en Métodos Físicos, Químicos y Biológicos (10).

### 2.1 MÉTODOS FÍSICOS

El hecho de humedecer, cortar, moler y compactar la materia, no tiene ningún efecto sobre la estructura de la fibra, es decir sobre la longitud de la cadena del polisacárido, pero si aumenta el área de contacto, para que se lleve a cabo posteriormente, cualquier tipo de degradación o hidrólisis (10).

El efecto de degradación mediante un método físico se obtiene únicamente por aplicación de vapor a alta presión (10), que promueve el rompimiento de la estructura de las fibras, de quienes se separa la lignina y deja expuestas las fracciones de celulosa y hemicelulosa lo que disminuye en gran medida su estabilidad; esta reacción produce un aumento de digestibilidad en forrajes así tratados.

El origen de esta tecnología se dió en la industria pa-

pelera cuando se ensayaron diferentes materias primas (40). Posteriormente se retomaron tales investigaciones orientadas a la nutrición animal, iniciándose en 1972 (74), donde se usó vapor para aumentar la digestibilidad en pasto. Al obtener resultados positivos en el aumento de la misma, se promovió el interés en el estudio más profundo de la aplicación de esta técnica (74).

De la revisión bibliográfica se encontró que diferentes investigadores han utilizado vapor en la autohidrólisis de fibras lignocelulósicas para uso ganadero (16). La Tabla 2.1 resume los resultados de diferentes investigaciones.

Posteriormente, siendo las investigaciones específicamente enfocadas a utilizar el bagazo de la caña de azúcar en la alimentación del ganado, Brasil llega a establecer niveles óptimos del proceso, hasta lograr implementarlo a escala industrial (9).

El método físico consiste básicamente en someter el bagazo a condiciones determinadas de temperatura y presión.

El proceso se desarrolla en dos fases (27). Fase de Autohidrólisis y Fase de Descomposición rápida.

TABLA 2.1: DIFERENTES ENSAYOS REALIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE MATERIALES LIGNOCELULOSICOS.

AÑO (REF)	PAIS O INVESTIGADORES	PRESION (Kgf/cm <sup>2</sup> )	T (°C)	TIEMPO	OBSERVACIONES
1925 (40)	Canada	23.9/34.5 34.25	220/240 240	30/60 s 60 s	despolimerizacion de lignina tratamiento de bagazo de caña
1972 (74)	Shultz et al	18.6	170	4 h	aumento digestibilidad en pasto para ovejas
1974 (40)	Cheng y Preston	1.63	199	60 s	tratamiento de rastrojos
1979 (27)	Isla de Mauricio e India	altas	altas	- - -	promover ruptura de estructura de fibras
1980 (40)	Hart et al	21.16	- - -	5 min	
(40)	Dupou (URSS)	6.34	160	1 h	tanque de hierro con descompresion rapida
(40)	Alemania	8.1 15.95	170-200	10/20 min	tratamiento maderas, residuos y bagazo para alimento animal
(40)	Canada	40.86/61.29 40.86	- - - 250	varios min 30 s	alimento para rumiantes tratamiento de maderas
(40)	Instituto Tec. Atlanta, Georgia	140.13	saturation	2/3 min	produccion de biomasa por trata- miento a maderas
1982 (40)	Barret et al	40.86	220/240	15/60 s	pulpa de papel
(40)	Rangneker et al	9	- - -	60 min	77 % degradacion hemicelulosa en bagazo
(40)	Ibrahim y Peake	- - -	140	90 min	26 % degradacion hemicelulosa
(40)	Schultz y Biermann	- - -	194/224	1 min	34 - 59 % degradacion de hemicelulosa
1983 (40)	Dekker y Hallis	70.54	200	4/20 min	
(40)	Rao et al	6.95	- - -	30 min	
(12)	Brasil	10/17	180	7 min	ensayos pilotos y nivel industrial
1985 (27)	Cuba	10.3/17.6	180/200	7/15 min	bagazo hidrolizado operacion por lotes
(27)	Isla de Mauricio e India	7/9	170	15 min	aumento digestibilidad en bagazo
1988 (53)	Colombia	10/18	180/200	- - -	50 - 60 % aumento digestibilidad en bagazo
1990 (28)	Mexico	8.5/17.3	180	7 min	bagazo de caña

En la primera de ellas, el bagazo de caña, acondicionado en un equipo adecuado es sometido a alta presión y temperatura, a través de inyección de vapor. En estas condiciones ocurre la división de radicales acetílicos de la hemicelulosa, con formación de ácido acético, que promueve la hidrólisis ácida de la propia hemicelulosa, hasta sus hexosas y pentosas formadoras (27).

La segunda fase se da cuando finaliza el tratamiento, el vapor contenido en la cámara de presión es repentinamente liberado y el agua contenida en los fragmentos de bagazo se vaporiza súbitamente y sufre violenta expansión, promoviendo el ablandamiento del material (27).

El bagazo hidrolizado es un alimento de color marrón, agradable aroma, es voluminoso y presenta elevado grado de acidez (pH= 2.8-3.5) lo que favorece su conservación por varios meses (14,27).

Además, los investigadores (14,27) reportan una mayor disminución de fibra, lo que hace que una ración pueda estar constituida hasta por 60% de bagazo autohidrolizado.

En la tabla 2.2 se presentan los resultados del análisis bromatológico que reportan autores brasileños, al

TABLA 2.2: RESULTADOS DE ANALISIS BROMATOLOGICOS DEL BAGAZO "IN NATURA" Y "AUTOHIDROLIZADO"

DETERMINACION	BAGAZO "IN NATURA" (% p/p)	BAGAZO AUTOHIDROLIZADO (% p/p)
Materia Seca (%) en g/100g de M S	48.31	44.32
Proteína Bruta	1.86	1.67
Fibra Bruta	45.00	34.45
Extracto etéreo	2.26	4.86
Materia mineral	2.73	4.77
Extracto no nitrogenado	48.06	54.25
Fibra en detergente neutro	85.24	58.16
Fibra en detergente ácido	62.33	62.65
Celulosa	44.69	43.99
Hemicelulosa	22.91	-
Lignina <sup>o</sup> en detergente ácido	14.89	15.06
Ca	n.d.	0.12
P	n.d.	0.02
K	n.d.	0.16
DIVMS	34.31	64.82

MS = Materia seca

DIVMS = Digestibilidad "in vitro" de MS

n.d = No determinado

FUENTE: (27).

comparar bagazo autohidrolizado con bagazo "in natura" (27).

Lo más sobresaliente que ocurre a causa del tratamiento térmico es la transformación de la hemicelulosa, que incide en la disminución de fibra cruda (ver Tabla 2.2).

De los experimentos investigados, solamente uno es el que describe una metodología práctica a nivel de laboratorio, donde adaptan dentro de un ingenio un equipo para altas presiones (28).

En la presente investigación se intentó la implementación de este experimento en dos ingenios nacionales, sin embargo por falta de apoyo institucional no se llevaron a cabo. Para orientar posteriores investigaciones se ofrece la siguiente información respecto a variables de operación, problemas de diseño encontrados y operación del equipo (11,34).

#### 2.1.1 VARIABLES DE OPERACION

a) Presión del vapor de entrada: es la variable más importante. Martin (26), reportó que presiones abajo de  $10.55 \text{ Kg/cm}^2$  ( $150 \text{ lbf/pulg}^2$ ) no producen aumento en la digestibilidad. Esto descarta la po-

sibilidad de usar calderas de tubos de fuego y obliga el uso de tubos de agua disponibles solamente en ingenios y durante la época de zafra. Se recomienda el uso de presiones alrededor de  $14.06 \text{ Kgf/cm}^2$  ( $200 \text{ Lbf/pulg}^2$ ) que pueden estar disponibles en líneas de válvulas de expansión (vapor en exceso, normalmente descargado a la atmósfera).

b) Tiempo de residencia: es el lapso durante el cual, el bagazo es sometido a la presión del vapor para llevar a cabo la autohidrólisis. Se recomienda aproximadamente 7 minutos. A menores presiones el tiempo requerido es mayor, pero al aumento en digestibilidad es menor.

c) Temperatura del vapor: depende exclusivamente de la presión del vapor y de su condición de sobrecalentamiento o saturación. La literatura reporta un valor aproximado de  $200^\circ \text{C}$  (27).

d) Humedad del bagazo: es incrementada durante el tratamiento, porque parte del vapor queda condensado en el material, aunque posteriormente esta humedad regresa a su valor inicial(12); antes de la hidrólisis. el bagazo tiene una humedad entre 50% y

52%, posteriormente (después de la hidrólisis) ésta se incrementa, llegando a tener un valor alrededor de 60%.

e) Volumen efectivo del Hidrolizador: aunque la literatura no lo reporta, se puede sugerir un volumen efectivo de llenado como un 75% del volumen total del recipiente.

f) Problemas de diseño: entre los problemas de diseño encontrados se destacan:

- Forma más eficiente de distribución del vapor de entrada en todo el volumen del hidrolizador.
- La línea de vapor de descarga debe ser de sección recta, cuando se va a descargar únicamente vapor. Los cruces deben evitarse, porque allí pueden concentrarse esfuerzos al momento de descargar y originar la ruptura de la tubería.
- Las juntas recomendadas para estos niveles de presión son del tipo brida empernada con empaques de asbesto grafitado. No se recomiendan juntas rosca y las soldaduras deberán emplearse sólo donde sea indispensable.
- Se debe considerar la necesidad de aislar térmicamente el hidrolizador para facilitar su opera-

ción.

- El material recomendado para los accesorios es acero inoxidable y para el cuerpo del hidrolizador, hierro fundido, ambos especificados para altas presiones.

- El diseño de la descarga del vapor y bagazo hidrolizado conviene hacerse a un ciclón o a un equipo como el que aparece en la figura 2.1, para el caso de un ensayo como éste.

Dicha figura muestra el modelo del hidrolizador propuesto para ensayos a nivel planta piloto.

#### 2.1.2 OPERACION DEL EQUIPO

En el presente trabajo se consideraron diferentes posibilidades de diseño, equipos factibles de adaptarse y modos de carga y descarga, orientados siempre por la investigación bibliográfica (8,28) y de campo (11,34).

Para cualquiera de esas posibilidades, la descripción de la operación del equipo, para una corrida, se generaliza a continuación:

- a) Adecuado muestreo y pesado del material a hidrolizar.
- b) Introducción manual de la muestra hasta  $3/4$  del volumen del recipiente.

- c) Cerrar adecuadamente las entradas de vapor del equipo.
- d) Inyectar vapor. La válvula de escape debe dejarse abierta para permitir la salida del aire atrapado, luego que se ve que sale sólo vapor, cerrar la válvula de escape y controlar el manómetro.
- e) Cuando el manómetro alcanza la presión deseada, se corta la entrada de vapor y se mantiene por el tiempo fijado.
- f) Cumplido el tiempo, se descarga súbitamente el vapor (efecto flash).
- g) Extraer muestra de bagazo para el análisis químico.

## 2.2 MÉTODOS QUÍMICOS

La literatura reporta que los intentos pioneros de utilizar más productivamente los esquilmos agrícolas en la alimentación animal usando tratamientos químicos para su degradación, parece ser una técnica más antigua que los métodos físicos y enzimáticos, pues la primera investigación conocida al respecto data de 1920 (70), con el uso de Hidróxido de Sodio en pajas y rastrojos. Posteriormente muchos otros investigadores continuaron con el uso de este químico, comprobando el aumento de la di-

gestibilidad de la materia seca: los tratamientos comprendían métodos de enjuague una vez que el material había sido tratado con el álcali, ocasionando con ello pérdidas de carbohidratos y proteínas solubles. Pero ya en 1970 se simplifican los procedimientos reduciendo la cantidad de agua, eliminando el lavado y neutralizando los álcalis con soluciones de ácidos débiles (70).

Es en esta década que otros investigadores se interesaron en el uso de este químico (14).

A pesar de que se han estudiado el uso de otros compuestos químicos como el Sulfato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), Carbonato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), Oxido de Calcio ( $\text{CaO}$ ), Hidróxido de Calcio ( $\text{CaOH}$ ), Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaClO}$ ) y Clorito de Sodio ( $\text{NaClO}_2$ ), en diferentes concentraciones (70) y en los últimos años el Ozono ( $\text{O}_3$ ) y el Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (39), ha sido el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y los componentes nitrogenados como el Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) los que han proporcionado mejores resultados haciendo que se intensifique más la investigación de su uso.

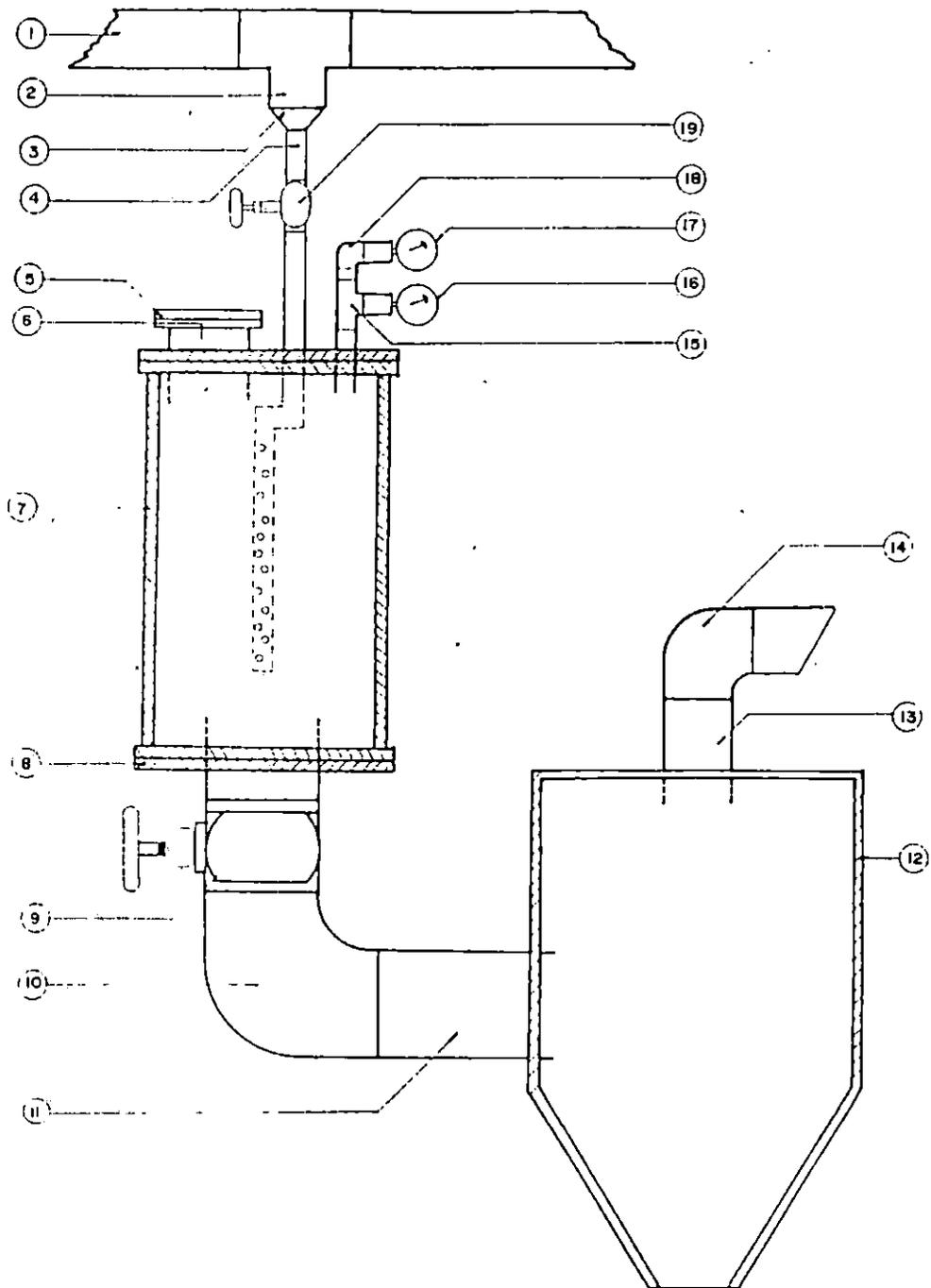


FIGURA 2.1 PROPUESTA DE DISEÑO DE HIDROLIZADOR  
PARA VIA TERMICA (ESCALA 1: 6.6)

## PARTES DEL HIDROLIZADOR PROPUESTO

- 1- Tubería de hierro galvanizado de 2 pulg. de diámetro
- 2- T de hierro galvanizado de 2 pulg. de diámetro
- 3- Reductor de  $2\frac{1}{2}$  pulg de diámetro
- 4- Tubería de  $\frac{1}{2}$  pulg de diámetro
- 5- Brida de tuercas con orejas.
- 6- Tubo de alimentación de 3 pulg de diámetro
- 7- Tubo de hierro galvanizado de 6 pulg de diámetro, que será el cuerpo del hidrolizador.
- 8- Brida
- 9- Válvula de globo de 4 pulg de diámetro, para 300 Lbf/pulg<sup>2</sup>
- 10- Codo de hierro galvanizado de 4 pulg.
- 11- Tubería de 4 pulg. de diámetro para descargar vapor-producto.
- 12- Caja de lámina de hierro de  $\frac{1}{2}$  pulg de diámetro, que funciona como separador del vapor y el sólido.
- 13- Tubería de 2 pulg. de diámetro, para descarga de vapor exhausto.
- 14- Codo de hierro galvanizado de 2 pulg de diámetro
- 15- T de  $\frac{1}{2}$  pulg. de diámetro para colocar manómetro y termómetro.
- 16- Manómetro
- 17- Termómetro
- 18- Codo de  $\frac{1}{2}$  pulg de diámetro
- 19- Válvula de globo de  $\frac{1}{2}$  pulg para inyección de vapor.

En El Salvador, la utilización de Hidróxido de Sodio para mejorar la digestibilidad de bagazo de caña fue ensayada por primera vez en 1989, por técnicos del Centro de Desarrollo Ganadero (CEGA) (22,64), cuyos resultados se analizaron a nivel de respuesta animal y no a nivel de análisis de laboratorio.

Dichos resultados no mostraron diferencias apreciables en cuanto a ganancia de peso en los animales (64).

#### 2.2.1 DEGRADACION POR SODA

El Hidróxido de Sodio puede ser aplicado en forma acuosa o seca, pero al parecer se prefiere el método acuoso por la facilidad del manejo químico (10).

El método consiste en aplicar una solución de soda a una concentración determinada. Las más probadas han sido 2,4,6 y 8% (base seca) (14,31) removiendo el material y la solución para que se de un mejor contacto entre ambos. La mezcla se deja reposar de 24 a 72 horas, para que se de el efecto degradativo.

La química de la acción que efectúa el Hidróxido de Sodio sobre el complejo lignocelulósico no está claramente definida, pero la tendencia es creer que se da una solubilización en mayor proporción de la parte hemicelulósica del material, aunque la fracción de celulosa y lignina también son afectadas (19). La compleja estructura queda de esta forma más apta para ser atacada por los microorganismos del rumen animal. La inconveniencia de este método es que el material ya tratado dura aproximadamente una semana sin sufrir descomposición (27), es decir, no puede ser almacenada después del tratamiento.

En la tabla 2.3 se presentan los resultados de los cambios en las fracciones de la fibra de bagazo de caña cuando es tratado con Hidróxido de Sodio (14).

### 2.3 MÉTODOS BIOLÓGICOS

Las bacterias y los hongos rompen los enlaces de la celulosa y hemicelulosa por medio de las enzimas que segregan, pero la lignina no es afectada. En los estudios hechos por el mexicano Pérez (1980) (14), no se repor-

tan mejoras significativas en el aumento de la digestibilidad, resultados que están de acuerdo con la investigación realizada por el alemán Hagemester(1982)(10).

TABLA 2.3: CAMBIOS EN LAS FRACCIONES DE FIBRA DEL BAGAZO DE CAÑA A CONSECUENCIA DEL TRATAMIENTO CON NaOH.

% (base seca)	0%	2%	4%	6%
Fibra detergente neutra	84.6	81.8	75.3	65.9
Hemicelulosa	16.6	16.3	12.2	8.8
Fibra detergente ácida	68.0	65.5	63.0	57.1
Celulosa	48.8	49.3	47.3	39.3
Lignina	15.5	13.1	12.8	12.7

FUENTE: (17)

## CAPITULO III

### METODOS PARA DETERMINAR EL GRADO DE AVANCE DE LA HIDROLISIS EN MATERIALES LIGNOCELULOSICOS

En este capítulo se presentan algunos métodos que se utilizan para determinar el grado de avance de la Hidrólisis en algunos materiales lignocelulósicos, pero antes es necesario conocer que debe entenderse por Hidrólisis.

Aunque el término Hidrólisis, etimológicamente signifique "rompimiento por acción del agua" (17), debe saberse que este tipo de degradación en materiales lignocelulósicos conlleva al rompimiento de enlaces beta-glucosídicos, mediante un mecanismo degradativo catalizado por protones. El mecanismo de la Hidrólisis se da principalmente en las zonas amorfas de las cadenas celulósicas, es decir, donde hay cierto desorden en la molécula (39).

Los procesos que se utilizan para hidrolizar materiales lignocelulósicos varían de una industria a otra, de igual forma varían los métodos para controlar la efectividad que se ha logrado con un determinado proceso.

Así, para la producción de celulosa se controla el avance de

la degradación mediante la determinación del peso molecular de la lignina aislada, el cual deberá ir disminuyendo, o por medio de un valor preestablecido de la viscosidad de la pulpa (78).

También puede controlarse el avance de la hidrólisis siguiendo la cinética del proceso, tal como lo reporta la referencia (14), cuando estudiaron la cinética de la hidrólisis ácida de la paja de cebada, usando ácido sulfúrico, con variaciones en la concentración del reactivo, tipo de reactivo y tiempo de contacto.

En la producción de alimento animal a partir de subproductos agroindustriales, es usual controlar el efecto de un tratamiento degradativo, a nivel de laboratorio, analizando el contenido de fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, hemicelulosa, celulosa y lignina, en una muestra que ha sido sometida a algún tipo de tratamiento (14).

En la práctica, además de realizar las determinaciones antes mencionadas, también se mide la efectividad del tratamiento en términos de respuesta animal, es decir, en el aumento de peso vivo.

Así, en este estudio se toma como parámetro para analizar el grado de avance de la hidrólisis, la determinación de: Fibra Neutro Detergente que se basa en cuantificar el contenido de fibra en una muestra sin ningún tratamiento comparándola con el contenido de fibra de una muestra que se ha sometido a una hidrólisis.

Se seleccionó este método ya que el análisis de fibra ácido detergente y lignina, no se realiza en el país.

## CAPITULO IV

### HIDROLISIS QUIMICA A NIVEL DE LABORATORIO

A partir del análisis de la investigación bibliográfica se estableció que el producto químico más efectivo para hidrolizar es el NaOH; así también se establecieron las concentraciones más ensayadas y los tiempos de contacto entre la solución y el bagazo, que se han utilizado mayormente para tal fin.

A continuación se presentan los materiales, procedimientos y análisis de laboratorio que se usaron en esta etapa:

#### 1) MATERIAL, REACTIVO Y EQUIPO

El material utilizado fue bagazo de caña, con una humedad del 11 %; los reactivos empleados agua destilada e hidróxido de sodio, calidad industrial; el equipo que se utilizó para el proceso de hidrólisis fue sencillo (garras plásticas, guantes, carpetas, frasco lavador, espátula, probeta, agitador, balanzas de torsión y analítica).

#### 2) PREPARACION DE SOLUCIONES

Para el proceso de la hidrólisis química se prepararon

soluciones al 2,4 y 6% p/p (base seca) (ver Fig. 4.1). Se consideraron muestras de 909 g de bagazo de caña al 11 % de humedad, las cuales se desean llevar a una humedad del 42 %. Por medio de un balance de materia se obtiene que se necesitan 570 ml de agua destilada y 16.23 g, 32.46 g y 48.70 g de NaOH para preparar cada una de las soluciones antes mencionadas (ver Apéndice B).



FIGURA 4.1: PREPARACION DE SOLUCIONES DE NaOH EN EL LABORATORIO.

### 3) TAMAÑO Y NUMERO DE MUESTRAS

Ya que el bagazo se encontraba almacenado en varios sacos de fibra sintética, se tomaron del centro de cada uno de ellos una cantidad similar; esta operación se realiza manualmente. De la cantidad colectada de todos los sacos, se pesaron 909 g, en una balanza de torsión. Esta operación se realiza una vez por cada tratamiento y para el patrón (que lo constituye una muestra de bagazo in natura).

### 4) PROCEDIMIENTO

a) Asperjado: la muestra pesada de bagazo "in natura" y con una humedad aproximada del 11 %, se extiende sobre una superficie plana sobre la cual se ha colocado un plástico; dicha muestra se distribuye en un área de 0.75 x 0.5 m aproximadamente y con una altura de aproximadamente 0.02 m (ver Figura 4.2). La solución de NaOH se aplica sobre el bagazo extendido, con la ayuda de un frasco lavador que se utiliza como asperjador, a manera de que toda la superficie expuesta entre en contacto con la solución; el material se revuelve manualmente (cubriendo las manos con guantes plásticos), garantizando de ésta forma un contacto más uniforme de la solución con todo el volumen de la muestra. Se vuelve a extender la muestra en la misma área las veces que se requiera, hasta completar la aplicación de la solución.

- b) Almacenado: una vez que se ha aplicado toda la solución se introduce el bagazo en una bolsa plástica que queda llena en unas 3/4 partes de su capacidad. Se cierra la bolsa de forma tal que no quede hermética y se etiqueta especificando la concentración, día y hora en que se terminó de embolsar, que es el punto de inicio para contar las horas de tratamiento (24 y 72 horas).

La bolsa se coloca en un lugar protegido del sol y la lluvia sobre una superficie fresca y seca, a temperatura ambiente, hasta que se cumpla el tiempo de tratamiento, al cabo del cual se saca de la bolsa el bagazo, se cuartea para separar la fracción que servirá para los análisis de laboratorio.

##### 5) ANALISIS QUIMICOS

Los análisis químicos realizados en este proyecto y que son los que actualmente se emplean en los laboratorios del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA) para análisis de alimentos, son los siguientes: humedad cenizas, extracto etéreo, fibra cruda, extracto no nitrogenado, proteína, elementos (Ca, K, P, Na), Fibra neutro detergente (ver Figura 4.3), pH y °Brix (ver Apéndice C).

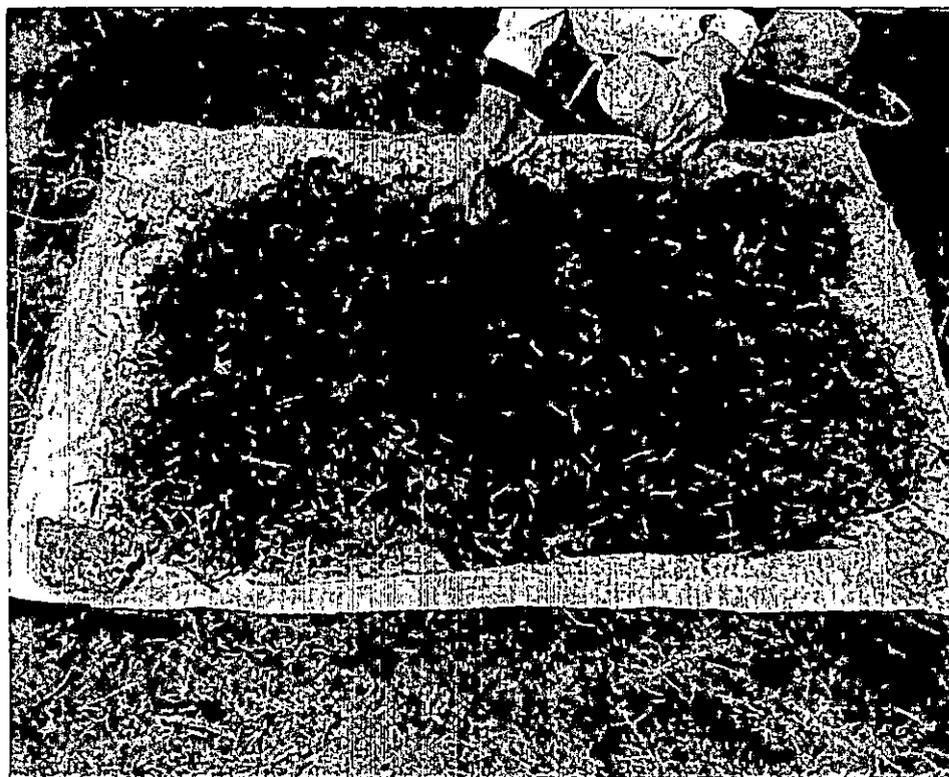


FIGURA 4.2: ASPERJADO DE BAGAZO DE CAÑA "IN  
NATURA" CON SOLUCION DE NaOH.

De cada una de las muestras tratadas con NaOH (2, 4, y 6 %, base seca), así como del patrón, se tomaron submuestras por duplicado para la realización de estos análisis.

De manera general podemos decir, que éstos se realizaron con el objeto de determinar las propiedades nutritivas del bagazo que ha recibido tratamiento y del patrón; con los datos que se obtengan de estos análisis se equilibrará una ración alimenticia destinada al consumo animal.

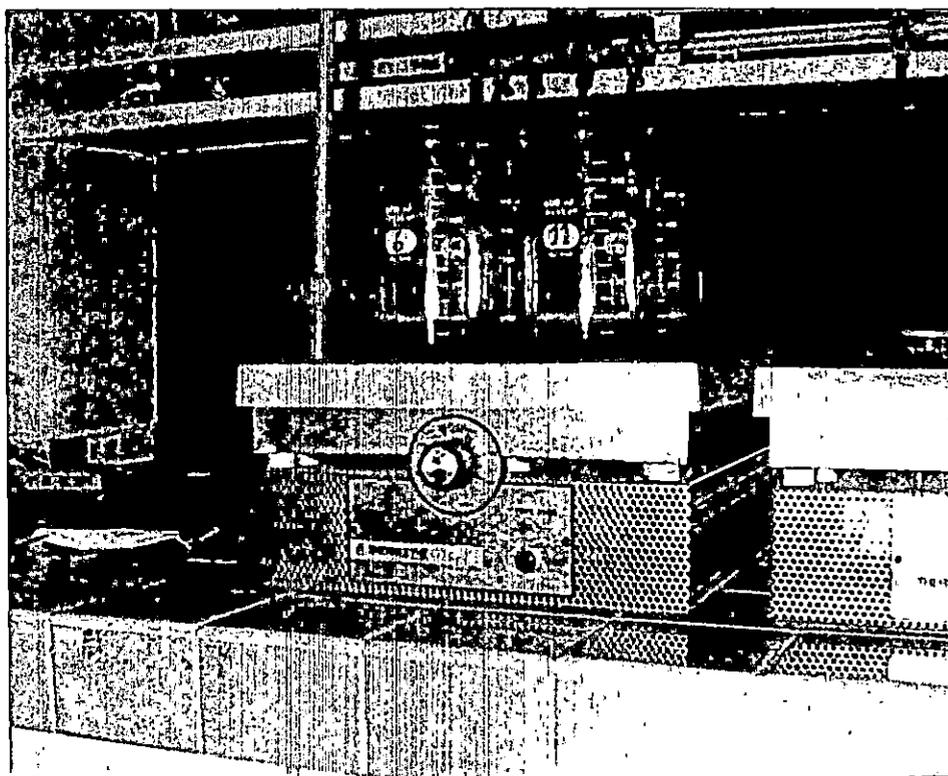


FIGURA 4.3: MUESTRAS DE BAGAZO DE CAÑA PARA LA DETERMINACIÓN DE FIBRA NEUTRO DETERGENTE

## CAPITULO V

### PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS PARA LA HIDROLISIS QUIMICA

En la Tabla 5.1 se presentan los resultados promedios (obtenidos de dos repeticiones), al analizar en el laboratorio las determinaciones correspondientes al análisis proximal, análisis fibra neutro detergente y elementos (P,Ca, K y Na), en muestras de bagazo de caña tratado con NaOH.

Aparecen para efecto de comparación los resultados del análisis fibra neutro detergente, reportados en la referencia (14), ya que es este análisis el que se ha utilizado para evaluar el grado de avance en la hidrólisis a las condiciones propuestas.

En la tabla 5.2 y 5.3, se reporta el aumento porcentual en contenido celular, determinación indirecta a partir del análisis fibra neutro detergente y que cuantifica los nutrientes más aprovechables por el animal respecto a su patrón (bagazo "in natura"), para los diferentes niveles de NaOH ensayados a 24 y 72 horas de contacto respectivamente. De igual forma en la tabla 5.2 se comparan los resultados para 24 horas, reportados en la referencia (14).

TABLA 5.1: RESULTADO DEL ANALISIS QUIMICO PROXIMAL, FIBRA NEUTRO DETERGENTE Y ELEMENTOS, PARA TRES NIVELES DE HIDROXIDO DE SODIO EN BAGAZO DE CAÑA, COMPARADOS CON EL BAGAZO "IN NATURA".

DETERMINACION	% p/p	TRATAMIENTO 24 H			TRATAMIENTO 72 H			TRATAMIENTO 1/ 24 H				
		0 %	2 %	4 %	6 %	2 %	4 %	6 %	0 %	2 %	4 %	6 %
HUMEDAD	11.03	41.00	43.53	45.78	40.50	42.20	42.19					
MATERIA SECA	88.96	59.00	56.47	54.22	59.49	57.00	57.81					
PROTEINA CRUDA	2.23	1.85	1.85	1.85	1.84	1.88	1.95					
FIBRA CRUDA	49.86	48.12	49.66	48.19	45.55	43.24	47.64					
EXTRACCIO ETEREO	0.72	0.82	0.79	0.62	0.71	0.67	0.60					
CENIZAS	4.84	6.36	9.82	11.18	6.45	9.96	12.05					
EXTRACCIO NO NITROGENADO	57.49	39.73	37.78	38.16	28.89	44.25	37.76					
FIBRA NEUTRO DETERGENTE	85.73	84.01	78.05	72.95	83.19	76.89	70.38	84.60	81.80	75.30	65.90	
CONTENIDO CELULAR	14.27	15.98	21.95	27.05	16.81	23.11	29.62	15.40	18.20	24.70	34.10	
P	0.07	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05					
Ca	0.05	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11					
K	nd <sup>2/</sup>	0.39	0.39	0.39	0.33	0.35	0.33					
Na	0.24	1.50	2.09	2.36	1.40	2.10	2.50					
pH	5.00	9.30	11.30	10.60	9.30	9.40	10.20					
° BRIX	0.40	nd	nd	nd	0.40	0.40	0.40					

1/ Referencia (14)

2/ nd: no determinado

TABLA 5.2: AUMENTO PORCENTUAL EN EL CONTENIDO CELULAR DEL BAGAZO DE CAÑA TRATADO CON NaOH, A 24 HORAS DE CONTACTO.

ENSAYO \ NIVEL DE NaOH (bs)	2%	4%	6%
	A <u>1/</u>	11.98	53.82
B <u>2/</u>	18.18	60.39	121.43

bs : base seca

1/ Ensayos realizados

2/ Referencia (14)

De los resultados de la tabla 5.2, se observa que el grado de hidrólisis obtenido a nivel de laboratorio, es ligeramente menor que el reportado en la referencia (14).

TABLA 5.3: AUMENTO PORCENTUAL EN EL CONTENIDO CELULAR DEL BAGAZO DE CAÑA TRATADO CON NaOH RESPECTO A BAGAZO "IN NATURA", PARA 72 HORAS DE CONTACTO.

ENSAYO \ NIVEL DE NaOH (bs)	2%	4%	6%
	A	17.80	61.95

bs : base seca

### 5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar la validez estadística de los datos obtenidos experimentalmente, se utilizó el análisis de va-

rianza (ANOVA) llamado "Bloques al azar con arreglo factorial" (72). Se trabajó con un nivel de confianza de un 90%.

A los resultados obtenidos para la determinación de cenizas y sodio, no se les aplicó el análisis estadístico debido a que por estar trabajando con un producto químico se esperaba un aumento en el contenido de ellos. De igual forma a las determinaciones indirectas como extracto no nitrogenado y contenido celular, tampoco se les aplicó el análisis estadístico, pues sus resultados están relacionados con los resultados de los análisis de donde proviene su cálculo. El resumen del análisis estadístico se muestra en la tabla 5.4 y la metodología para su evaluación en el Apéndice D.

De la tabla 5.4, se puede decir que los parámetros que no son afectados por la aplicación del NaOH son: Fibra cruda, extracto etéreo, proteína cruda, potasio y fósforo. Además, se observa que la variación en el tiempo de contacto entre el químico y el bagazo de caña, no es una variable que afecta los resultados de los parámetros evaluados. El cambio de los niveles de NaOH, sólo afectan dos parámetros: fibra neutro detergente y contenido de Calcio.

TABLA 5.4: RESULTADO DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO.

DETERMINACION	COMENTARIOS
Fibra Cruda	No hay significancia estadística a ningún nivel de confianza para tratamiento, tiempo e interacción.
Extracto Etéreo	No hay significancia estadística a ningún nivel de confianza, para tratamiento e interacción.
Cenizas	nsa
Proteína Cruda	No hay significancia a ningún nivel de confianza para tratamiento e interacción.
Fibra Neutro Detergente	Significante al 90% de probabilidad en los niveles de NaOH, pero no significativo en el tiempo y en la interacción.
Potasio	No hay significancia estadística para ningún parámetro evaluado.
Fósforo	No hay significancia estadística para ningún parámetro evaluado.
Calcio	Significante al 90% en los niveles de NaOH, pero no significativo en el tiempo y en la interacción.
Sodio	nsa

nsa: no se le aplicó.

## 5.2 GRAFICO DE ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

Para visualizar de forma más clara la variación que hubo cuando se incrementó la concentración de NaOH, de un 0 a 6% (base seca) en el bagazo de caña, en el análisis considerado como variable de control para evaluar el grado de avance de la hidrólisis, se construyó la figura 5.1 y la figura 5.2. Además se presenta la figura 5.3, donde se grafica % NaOH vrs % Na, para mostrar los niveles utilizados del NaOH y relacionarlos con la tolerancia máxima de Na en el ganado bovino (2.36 g , ver Apéndice E).

Las ecuaciones que rigen el comportamiento de las curvas en el rango establecido (0-6% de NaOH, base seca), fueron determinadas ensayando ecuaciones polinómicas de primero, segundo, tercer y cuarto grado, habiéndose ajustado mejor la de tercer grado. El ejemplo de cálculo se muestra en el Apéndice F.

## 5.3 ANALISIS DE LOS GRAFICOS

Al graficar el % de fibra neutro detergente (FND) vrs Concentración de NaOH (Figura 5.1), se observa que la FND disminuye a medida se incrementa la concentración del álcali utilizado.

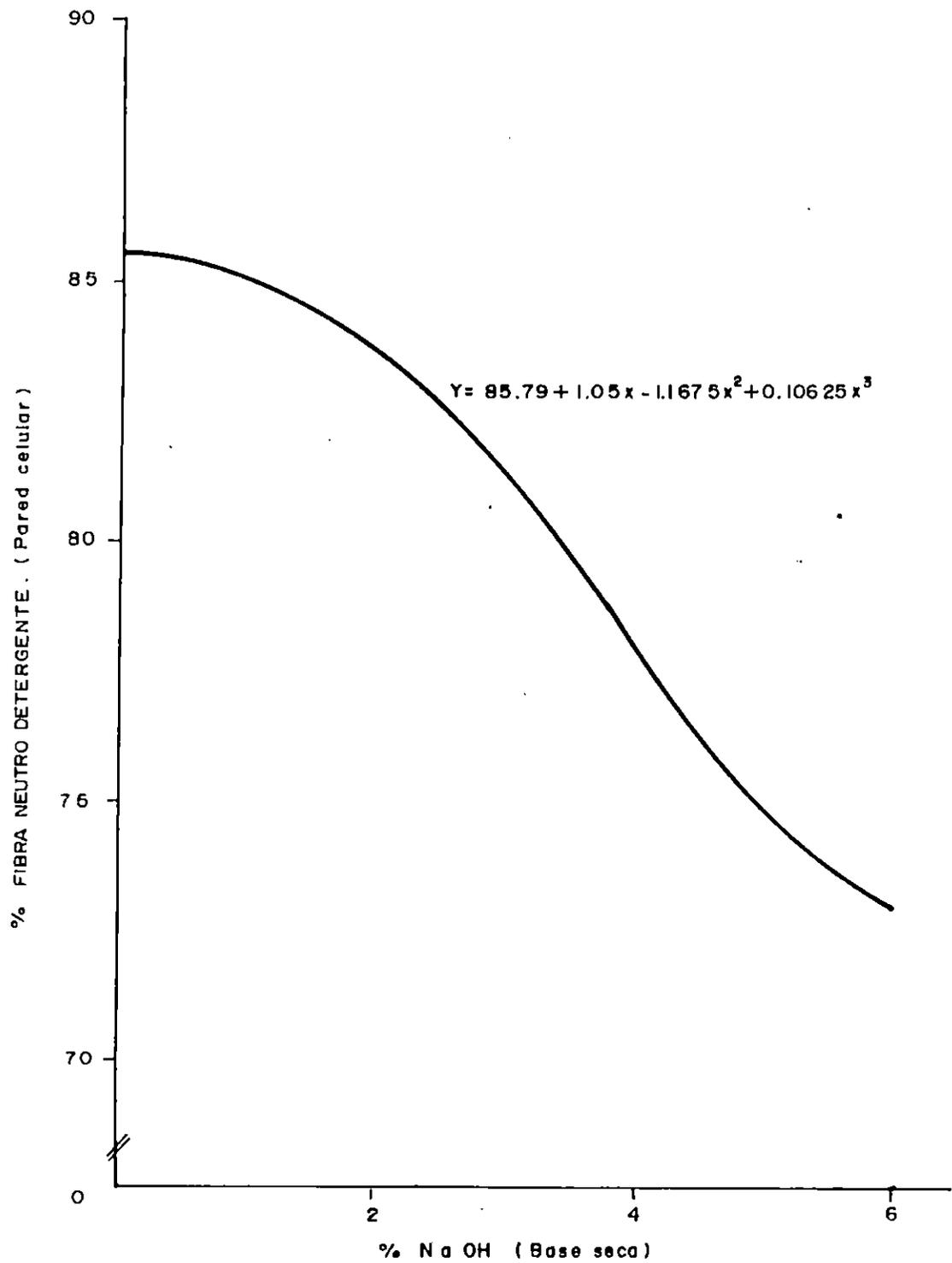


FIGURA 5.1: % FIBRA NEUTRO DETERGENTE VRS, % NaOH UTILIZADO EN LA HIDROLISIS QUIMICA DEL BAGAZO DE CAÑA .

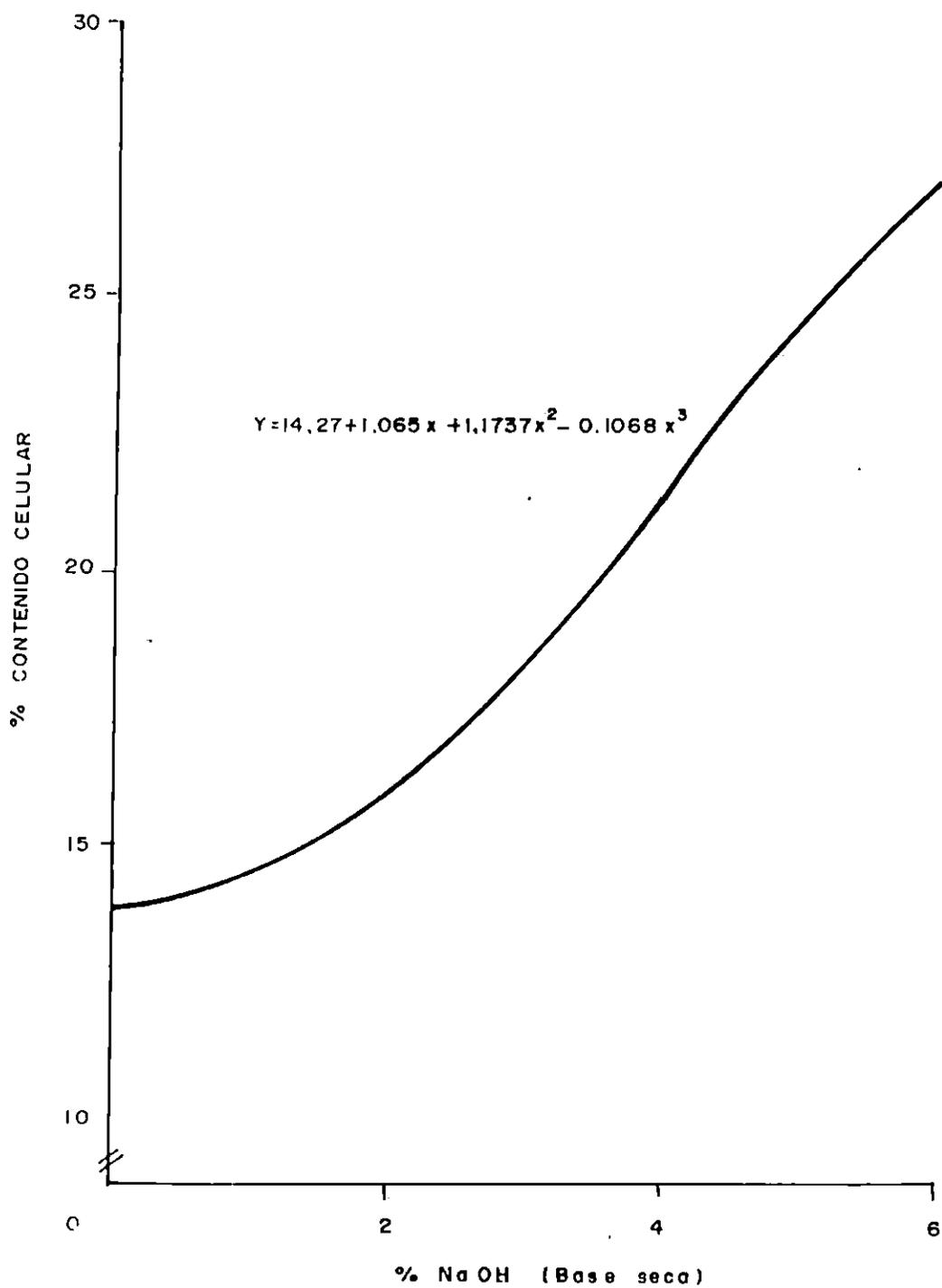
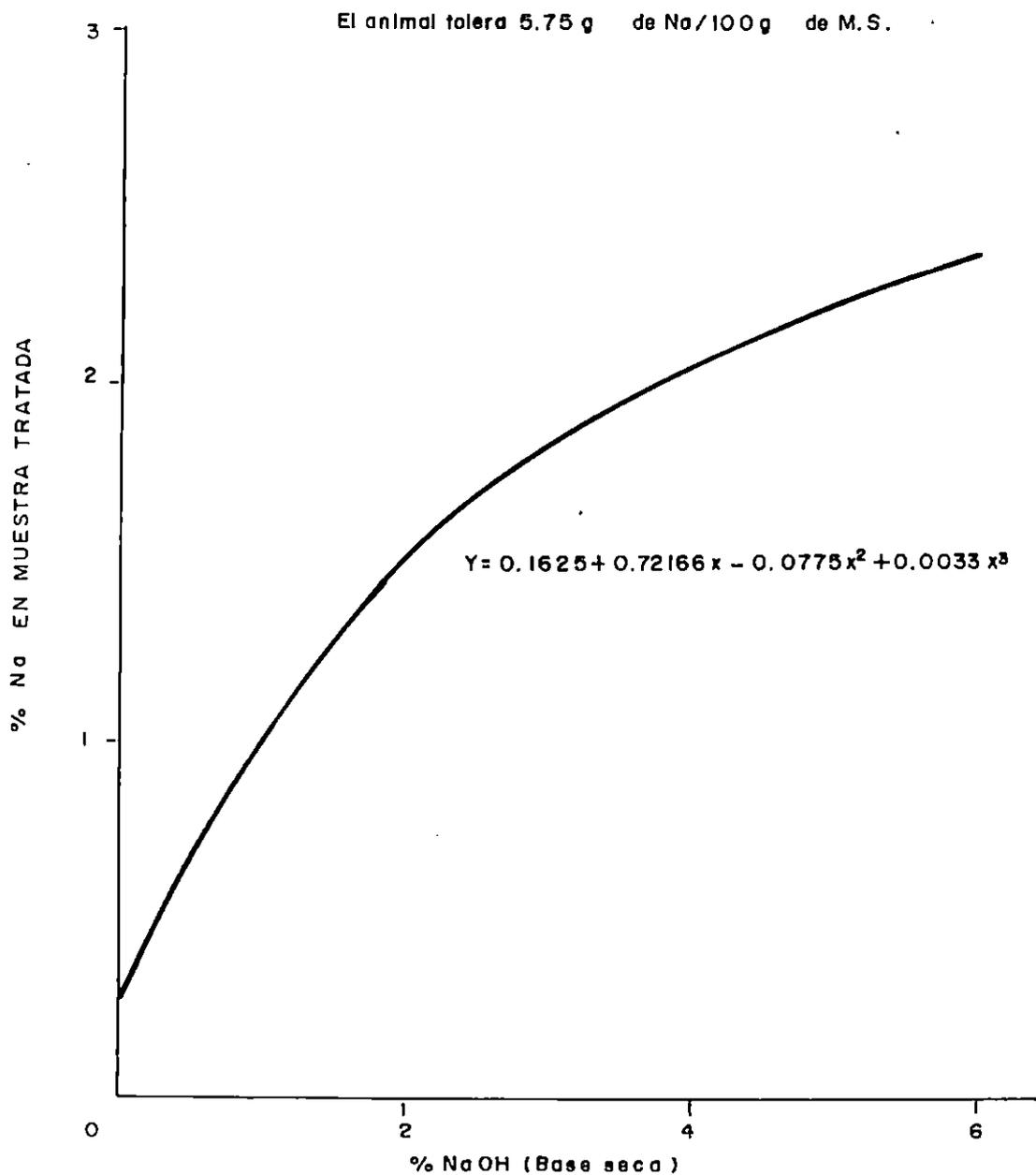


FIGURA 5.2 : % CONTENIDO CELULAR VRS. % NaOH UTILIZADO EN LA HIDROLISIS QUIMICA DEL BAGAZO DE CAÑA .



**FIGURA 5.3 :** % Na PRESENTE EN LAS MUESTRAS HIDROLIZADAS vs. % Na OH UTILIZADO EN LA HIDROLISIS QUIMICA DEL BAGAZO DE CAÑA.

La tendencia de la curva se asemeja a un sigmoide, cuyo punto de inflexión está entre 4 % y 4.5 % de NaOH.

Al graficar el % de contenido celular vrs concentración de NaOH, (Figura 5.2), se observa que, a medida se incrementa la concentración del hidróxido de sodio, el contenido celular aumenta. Conociendo que el punto de inflexión está entre 4% y 4.5% de NaOH, se realiza un análisis sección por sección de la Figura 5.2, para determinar la concentración óptima del álcali y se obtiene que: del 0% al 2% (base seca) de NaOH el incremento en el contenido celular es del 12%; del 2% al 4% (base seca) de NaOH, el incremento en el contenido celular es del 37% y del 4% al 6%(base seca)de NaOH, el incremento en el contenido celular es del 23%. Lo anterior indica que la mejor opción está dentro del segundo rango. Para determinar el punto exacto, se tomaron rangos más pequeños para evaluar el incremento en el contenido celular, llegando a determinar que la concentración óptima de NaOH está entre el 3.5 y 4% (base seca) de NaOH.

La figura 5.3 muestra la variación que existe en el aumento de la concentración de Na, a medida que se incrementa el nivel de NaOH. Se muestra en esa figura el valor máximo tolerable como Na por los bovinos, y se ob-

serva que aún con el nivel más elevado de NaOH ensayado no se alcanza dicho valor (25).

#### 5.4 DISCUSION

El objetivo de la investigación ha sido evaluar la disminución de fibra en el bagazo de caña cuando es tratado químicamente con hidróxido de sodio. Para tal efecto se compararon tres niveles del álcali: 2%, 4% y 6% (base seca) contra dos tiempos de contacto: 24 y 72 horas; ambos tratamientos a temperatura ambiente. Las muestras ya tratadas al igual que el patrón (bagazo 'in natura') fueron analizadas por duplicado, efectuándoles el análisis químico proximal (método de Wendee), y la determinación de fibra neutro detergente (técnica de Van Soest) (46). Además, se les determinó elementos como potasio, fósforo, calcio y sodio, se determinó el pH de las muestras y su contenido de sólidos totales.

El análisis estadístico de los resultados, muestra que no existe diferencia significativa para los niveles de NaOH ensayados, ni para el tiempo de contacto, ni para la interacción NaOH-tiempo en los siguientes parámetros: fibra cruda, extracto etéreo, proteína cruda, potasio y fósforo. Aunque la fibra cruda se creía que serviría para cuantificar o medir el avance de la hi-

drólisis, el no presentar diferencia significativa indica la poca sensibilidad del método de laboratorio. Esto probablemente se debe a que el análisis se lleva a cabo con un cambio brusco de pH (de ácido a alcalino) y tomando en cuenta que el material tratado inicialmente tiene un pH elevadamente alcalino podría minimizar el efecto de la digestión ácida.

Por otra parte, los resultados muestran que existió una diferencia significativa ( $P < 0.10$ ) para los niveles de NaOH ensayados, en relación a fibra neutro detergente y calcio. Pero no existe diferencia estadística significativa entre los tiempos ensayados, ni para la interacción entre NaOH y tiempo.

La importancia del análisis de fibra neutro detergente es que al cuantificar la disminución de fibra, cuantifica al mismo tiempo el aumento del contenido celular (por diferencia entre 100 y el resultado del análisis de fibra neutro detergente) que es la parte inmediatamente disponible por el animal. De esta forma se propone el contenido celular como variable de control para evaluar el grado de avance de hidrólisis a nivel de laboratorio.

Otra determinación indirecta importante es el extracto no nitrogenado ya que cuantifica los carbohidratos\* fácilmente disponibles por el animal a partir de los

---

\* Esta determinación ha sufrido críticas en cuanto a su validez, ver Van Soest (80).

resultados del análisis químico proximal. En este ensayo esta determinación no muestra resultados representativos de estos carbohidratos, ya que el aumento en el porcentaje de cenizas disminuye el valor numérico del extracto libre de nitrógeno, siendo esta la justificación para que no se considere objeto de análisis por la vía química.

La diferencia estadística que presenta el contenido de calcio respecto a los niveles de NaOH, seguramente se debe a contaminantes del químico.

Otros resultados que se observan en la tabla 5.1 es que el contenido de sólidos totales (°Brix) en las muestras tratadas así como el patrón, permanece con un valor constante, resultando una variable no sensible para la hidrólisis alcalina. Además, en la misma tabla se observó que el pH duplica su valor con el tratamiento de más alta concentración de NaOH.

Por todo lo anteriormente expuesto, se selecciona el nivel del 4% de NaOH (base seca) y un tiempo de contacto de 24 horas para llevarlo a escalamiento a nivel piloto.

## CAPITULO VI

BASES PARA FORMULAR ALIMENTOS PARA GANADO

El principio en que se basa este estudio, es mejorar la digestibilidad del bagazo de caña y habiendo establecido en el capítulo anterior la concentración óptima del NaOH y el mejor tiempo de contacto, se procede a establecer las bases teóricas que servirán para balancear la ración alimenticia que se formulará.

Una ración balanceada es la que suministra al animal las proporciones y cantidades correctas de todos los principios nutritivos requeridos en un período de 24 horas (17).

En las regiones tropicales, a las cuales pertenece El Salvador, la alimentación del ganado consiste principalmente en leguminosas (pastos, desechos vegetales, etc.) que son ricos en celulosa, razón por la cual se hace necesario reforzar la dieta.

Antes de proceder a balancear una ración, es necesario conocer las necesidades nutritivas del ganado.

## 6.1 NECESIDADES NUTRITIVAS DEL GANADO

A continuación se describen en forma general las necesidades nutritivas del ganado por tipo de substancia que está presente en el alimento y que son cuantificadas por el análisis químico proximal, exceptuando el contenido energético y las vitaminas.

a) Agua: la humedad del alimento está sujeta a un amplio margen de variación y depende del tipo de alimento.

b) Materia Seca: es la diferencia del 100% menos la humedad. Incluye proteínas, grasas, carbohidratos, minerales y vitaminas. Su requerimiento va del 1.4 al 2.7 % del peso en pie del animal.

c) Proteína: es indispensable y su requerimiento va disminuyendo gradualmente desde que está en crecimiento hasta que llega a la edad adulta.

La mayor parte de las proteínas necesarias para casi todo el ganado bovino se puede sustituir con urea y con granos ricos en ella, como la soya.

d) Carbohidratos: Se pueden clasificar en hidrosolubles, que son los almidones, azúcares y gran parte de

hemicelulosa (medidas como extracto no nitrogenado); y los no hidrosolubles que son básicamente: celulosa, hemicelulosa y lignina (medidas como fibra cruda) (52). Los del primer grupo se acumulan como grasa en el organismo animal.

Vale insistir, que la hidrólisis del bagazo, ya sea por la vía térmica o la vía química, busca convertir parte de los carbohidratos no solubles en agua, en carbohidratos solubles que son de más fácil asimilación.

e) Grasas: acumulan energía y cuando se queman, liberan 2.25 veces más energía que los carbohidratos y sirven para lo mismo: fuente de calor y energía para el organismo.

f) Minerales: se sabe que el sodio y el cloro son aportados en cantidad suficiente cuando se agrega 0.25% de sal común en la materia seca. El calcio y fósforo se dosifican según las necesidades corporales y de la flora ruminal y son proporcionados por preparados comerciales (conocidos como sales minerales), que se incorporan como parte de la ración. La necesidad de cobalto en el ganado fluctúa entre 0.05 y 0.1 mg/Kg de materia seca. Otros minerales necesarios son: potasio, magnesio, hierro, azufre, yodo, cobre, zinc, níquel, silicio y es-

taño, y muchos de ellos vienen incluidos como parte de las mezclas de sales minerales.

Para la formulación de una ración además de las necesidades nutritivas, se tomarán en cuenta los aspectos siguientes (27):

1. Para componer raciones alimenticias se necesitan conocimientos, experiencia y aguda observación de los animales; es necesario además fundamentarse en la química, fisiología y microbiología.

2. También se debe considerar:

- a) disponibilidad y costo de los diferentes ingredientes alimenticios.
- b) contenido de humedad
- c) composición de los alimentos considerados
- d) requerimientos de principios nutritivos del animal.

3. Además de proporcionar una cantidad adecuada de alimento y satisfacer requerimientos protéicos y energéticos, una ración bien balanceada debe ser:

- a) Palatable y digestible
- b) Económica
- c) Fortificada con otros aditivos (vitaminas, minerales, etc.)

Una clasificación de los alimentos para animales útil para este estudio, es el siguiente:

a) Alimentos Basales o de Mantenimiento: término usado para designar todo el grupo de granos y subproductos, cuyo contenido proteínico y de fibra no exceden de 16 y 20% respectivamente (41).

b) Alimentos Concentrados: técnicamente son todos los alimentos que suplen nutrimentos (proteínas, carbohidratos y grasa). Se clasifican como concentrado si su contenido de fibra cruda es bajo y elevado en contenido proteico (41).

De acuerdo a esta clasificación se formulará teóricamente una ración del primer tipo (mantenimiento), ya que es la que acepta una mayor proporción de fibra en su composición, es decir, que acepta una mayor proporción del bagazo.

Para balancear raciones existen varios métodos y el que se utilizará aquí es el de prueba y error (25) y se explica someramente a continuación:

1. Establecer tipo de materia prima y la participación porcentual de ellas en la ración, conociendo la composición de cada uno de ellos.

2. Se balancea respecto a proteínas y se compara con los requerimientos para una ración de mantenimiento (ver tabla en Apéndice G).
3. Si el contenido proteico es mayor o menor que el requerido, se modifican los porcentajes de las diferentes materias primas en la ración, a prueba y error, hasta lograr el nivel proteico deseado.
4. Una vez logrado el nivel proteico, se calcula el TND (Total de Nutrientos Digestibles) que es una medida relativa de la energía digestible expresada en términos de masa (1Kg TND=4,400 calorías de Energía Digestible). Para efectos de comprensión, la Figura 6.1 muestra la distribución de energía en el ganado bovino.

Para el cálculo de TND se deben conocer la digestibilidad de cada ingrediente (ver Apéndice H). Por ejemplo, el maíz tiene una digestibilidad del 73% y la ración incluye un 9% de maíz, por lo que éste aporta un 6.57 % como nutrientes digestibles. Este procedimiento se le aplica a cada uno de los ingredientes, luego se suman y se obtiene el total de nutrientes digestibles de la ración.

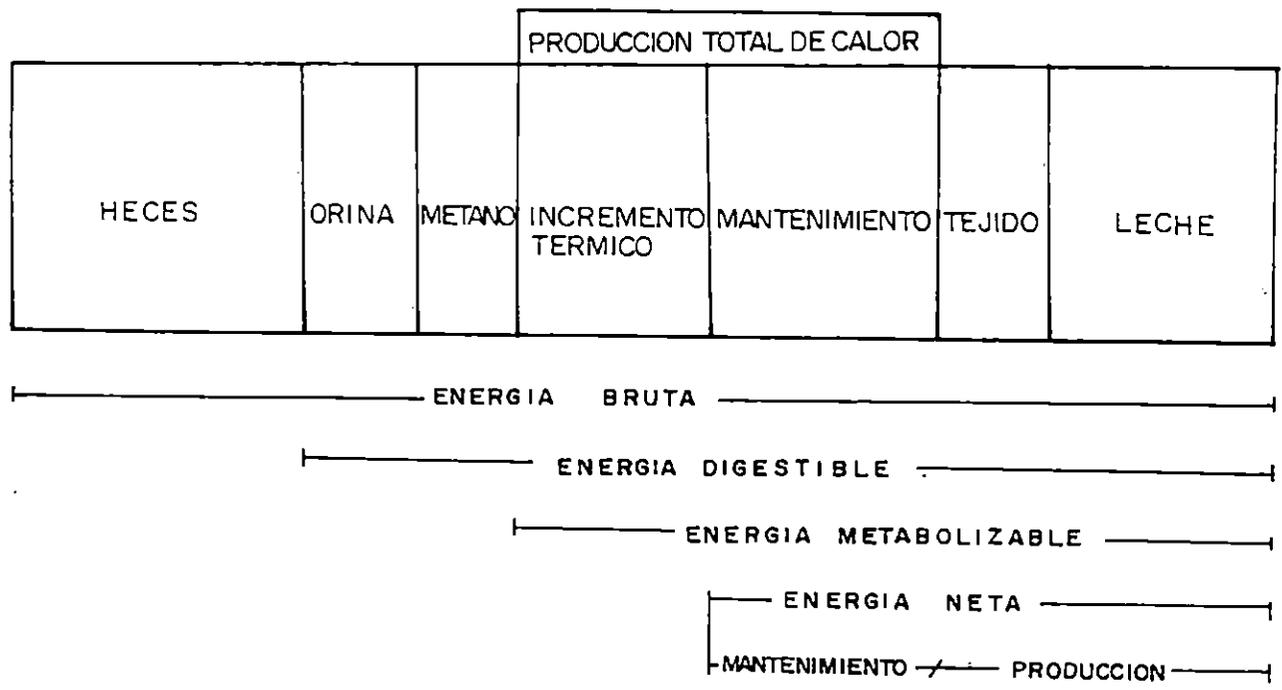


FIGURA 6.1 : PRODUCCION TOTAL DE CALOR Y REPARTO DE ENERGIA EN LOS BOVINOS. (25)

## CAPITULO VII

ESTUDIO DE MERCADO

Habiendo establecido la metodología para balancear una ración, se procede a realizar el estudio de mercado que tiene por objeto analizar, dentro de la etapa de prefactibilidad Técnico-Económica de una planta productora de alimento animal, la oferta y la demanda existentes actualmente en el país de dichos productos destinados a la alimentación animal.

Inicialmente la planta fabricará raciones de mantenimiento o alimentos basales, ya que es el producto que permite la mayor proporción de bagazo en su composición y que le proporciona al animal los nutrimentos necesarios para su mantenimiento. El contenido proteico y de fibra en este producto no exceden de 16 y 20%, respectivamente. Posteriormente, al modificar la ración, se podrá fabricar otros tipos de raciones.

**7.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA**

Para la realización del estudio de mercado, se hace necesario tener conocimiento acerca de la cantidad, calidad, características y disponibilidad en el mercado de ciertos bienes, que llegan a constituir parte esencial

del bien final producido. Las materias primas tales como: bagazo de caña, melaza, harinas, sal común, son todas de origen nacional y pueden ser adquiridas en la zona.

Tomando en cuenta que el principal objetivo de este proyecto es darle un aprovechamiento adecuado al bagazo de caña, que en muchas ocasiones presentan problemas de manejo y almacenamiento para los ingenios, se profundiza más en su disponibilidad como materia prima. Para los otros componentes de la ración alimenticia que se formula, aunque se mencionan, no se entrará en mucho detalle en cuanto la situación de éstos en el mercado, siendo ellos: melaza, harina de maíz y soya, sal común, urea, sales minerales y la base química NaOH, utilizada en el proceso de hidrólisis.

En la Tabla 7.1 se presentan los excedentes de bagazo de caña, por ingenio, para los últimos 7 años, con el objetivo de visualizar la mejor ubicación de la planta; además, en la Tabla 7.2 se presentan los excedentes de bagazo de caña a nivel nacional para un período de 30 años y su porcentaje respecto a la producción nacional. Cabe aclarar que dichos excedentes no dependen únicamente de la cantidad de caña molida, si no también del consumo de bagazo en las calderas.

TABLA 7.1: EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA POR INGENIO EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1983 - 1990 (TM).

INGENIO \ AÑO	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90
Central Izalco	15,277	4,375	9,429	13,968	16,735	9,967	23,147
El Angel	13,940	3,104	2,833	592	518	2,632	11,573
La Cabaña	18,969	15,955	18,000	16,434	1,843	8,587	11,730
Jiboa	7,305	24,878	31,141	11,874	7,535	9,337	20,657
San Francisco	12,895	17,421	22,968	16,251	11,845	14,845	15,600
Chanmico	700	211	524	2,559	-5,572	923	-7,966
La Magdalena	275	130	807	- 13	00	684	473
El Carmen	4,279	11,301	10,454	802	657	4,874	-3,301
Chaparrastique	1,560	2,547	3,978	696	159	1,417	2,761
Ahuachapán	00	00	00	00	00	00	00

FUENTE: (45).

TABLA 7.2: PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA A NIVEL NACIONAL. PERIODO 1961-1992.

ZAFRA	PRODUCCION (TM)	EXCEDENTES (TM)	% DE EXCEDENTES
61-61	156,623.96 <u>1/</u>	23,492.59	15.00 <u>3/</u>
62-63	177,527.84	26,629.18	15.00
63-64	180,965.14	27,144.77	15.00
64-65	290,617.00	43,592.55	15.00
65-66	328,445.60	49,266.84	15.00
66-67	323,441.50	48,516.22	15.00
67-68	356,034.08	53,405.11	15.00
68-69	286,797.16	43,019.57	15.00
69-70	315,424.84	47,313.73	15.00
70-71	424,684.54	63,702.68	15.00
71-72	510,576.36	76,586.45	15.00
72-73	522,913.91	78,437.08	15.00
73-74	662,088.36	99,313.25	15.00
74-75	722,279.30	108,431.89	15.00
75-76	714,955.60	107,243.34	15.00
76-77	809,950.09	121,492.50	15.00
77-78	798,544.85	119,781.72	15.00
78-79	757,969.63	113,695.40	15.00
79-80	557,511.16	83,626.67	15.00
80-81	473,373.00 <u>2/</u>	61,538.50	13.00
81-82	562,085.00	73,071.00	13.00
82-83	711,024.00	92,433.00	13.00
83-84	785,671.00	75,150.00	9.50
84-85	800,182.00	79,904.00	10.00
85-86	893,295.00	100,142.00	11.20
86-87	815,051.00	63,163.00	7.74
87-88	674,692.00	33,735.00	5.00
88-89	593,466.00	52,646.00	8.80
89-90	746,694.45	74,669.50	10.00
90-91	914,451.61	91,445.60	10.00
91-92	1,022,407.60	102,240.70	10.00

1/Para el período 61-80, éstos valores fueron calculados, teniendo datos de la caña molida (TM) proporcionados por el Banco de Datos de la Dirección General de Economía Agropecuaria y considerando que el 28% de la caña está constituida por bagazo.

2/Los datos para el período 82-90 fueron proporcionados por el Departamento de Coordinación General de INSTITUTO NACIONAL DEL AZUCAR (INAZUCAR).

3/Para el período 61-80, se consideró un 15% de excedentes de bagazo de caña.

Es necesario tomar en cuenta que para conocer la disponibilidad de bagazo de caña en el futuro, se hace necesario realizar proyecciones de las mismas, para las cuales se tomó un período histórico de 30 años (61-91), ya que el último decenio (80-90) describió un comportamiento anómalo, debido a la situación socio-política-económica del país .

Por otra parte, las últimas tres zafras (89-90, 90-91, 91-92) han presentado niveles de excedentes de bagazo de caña, similares a los obtenidos en los años 76 y 85, esperando que en el futuro esta situación se mantenga o se mejore, ya que actualmente las nuevas políticas económicas tienen proyectado incrementar el área cultivada de caña, ya que ésta ha alcanzado el segundo lugar como rubro de importancia en el sostenimiento de la economía nacional, por otra parte considerando la actual coyuntura energética (escasez de fuentes de fuentes de energía), se está contemplando el uso de estos excedentes para la cogeneración de Energía Eléctrica para la red pública. Sin embargo la introducción de nuevas tecnologías orientadas al mejoramiento de eficiencias en los ingenios podrían generar más excedentes de bagazo, del orden de hasta 40%, permitiendo destinar una parte de estos excedentes a la alimentación ganadera, sin detri-

mento a los proyectos de cogeneración.

Lo anteriormente expuesto, nos permite visualizar un panorama optimista para el próximo decenio, lo cual hace posible realizar proyecciones favorables.

En la tabla 7.3 se presentan los datos proyectados de excedentes de bagazo de caña a nivel nacional para los próximos 10 años (el método utilizado para calcular las proyecciones se presentan en el Apéndice I).

*mínimo cubierto.*

Con los datos de la Tabla 7.2 y 7.3 se construye la figura 7.1 y 7.2, para observar de forma gráfica la situación actual y futura de los excedentes de bagazo de caña a nivel nacional.

De los datos proyectados para el próximo decenio, se tiene un promedio de 100,000 TM de excedentes.

En el caso del bagazo y la melaza que constituyen en conjunto el 72% de la ración (ver tabla 8.5, Cap.VIII), serían proporcionados por el Ingenio más cercano a las instalaciones de la planta.

**TABLA 7.3: DATOS PROYECTADOS DE PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1992-2002, CALCULADOS EN BASE A UN PERIODO HISTORICO DE 30 AÑOS**

ZAFRA	PRODUCCION (TM)	EXCEDENTES (TM)	% DE EXCEDENTES
92-93	943,956.31	96,386.00	10.21
93-94	966,885.55	97,904.60	10.12
94-95	989,814.79	99,423.20	10.04
95-96	1,012,744.00	100,941.80	9.97
96-97	1,035,673.20	102,460.40	9.89
97-98	1,058,602.50	103,979.00	9.82
98-99	1,081,531.70	105,497.60	9.75
99-2000	1,104,460.90	107,017.65	9.69
2000-2001	1,127,390.20	108,534.80	9.63
2001-2002	1,150,319.40	110,053.40	9.57

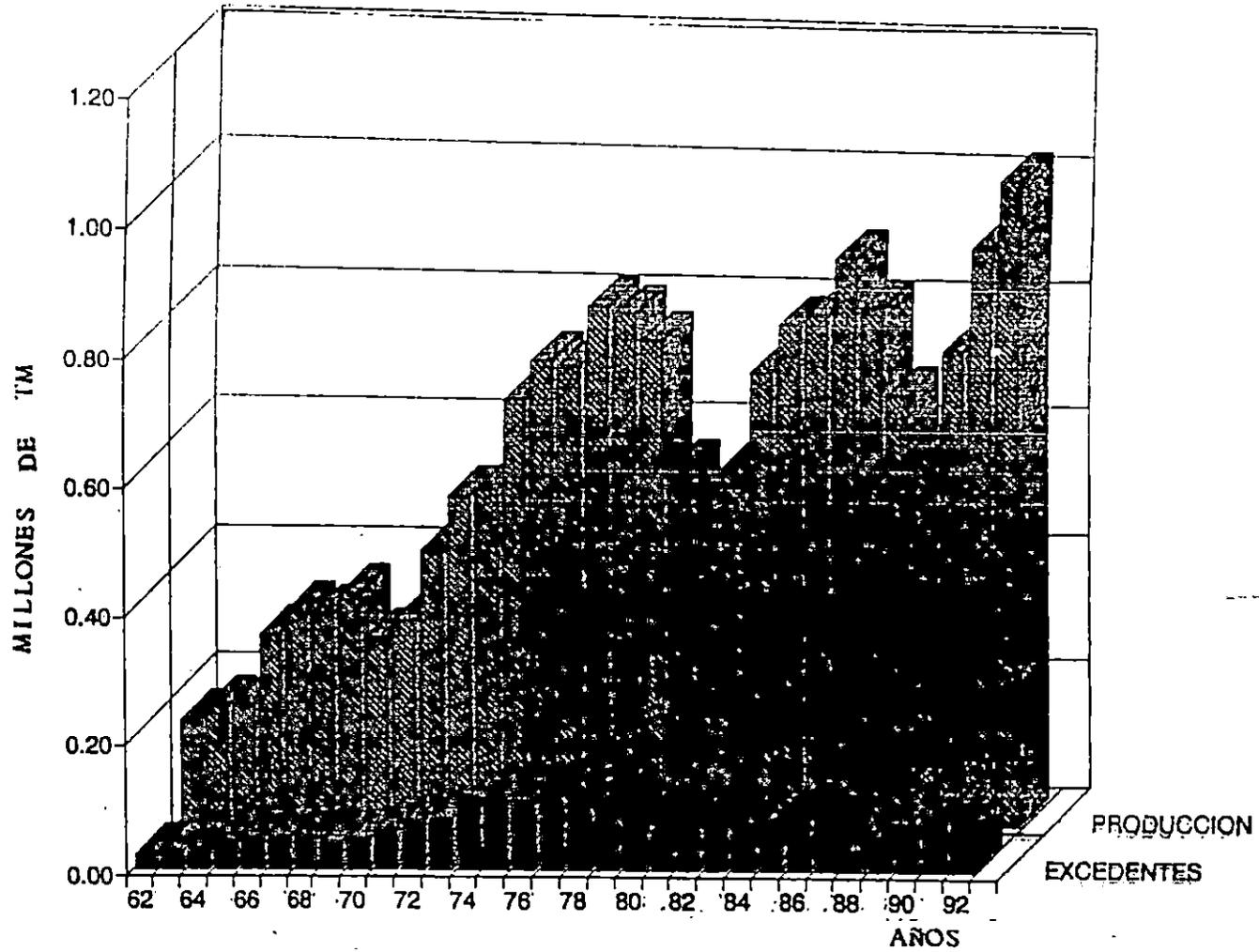


FIGURA 7.1: PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA EN EL SALVADOR. DATOS HISTORICOS Y ACTUALES PERIODO 1962-1992

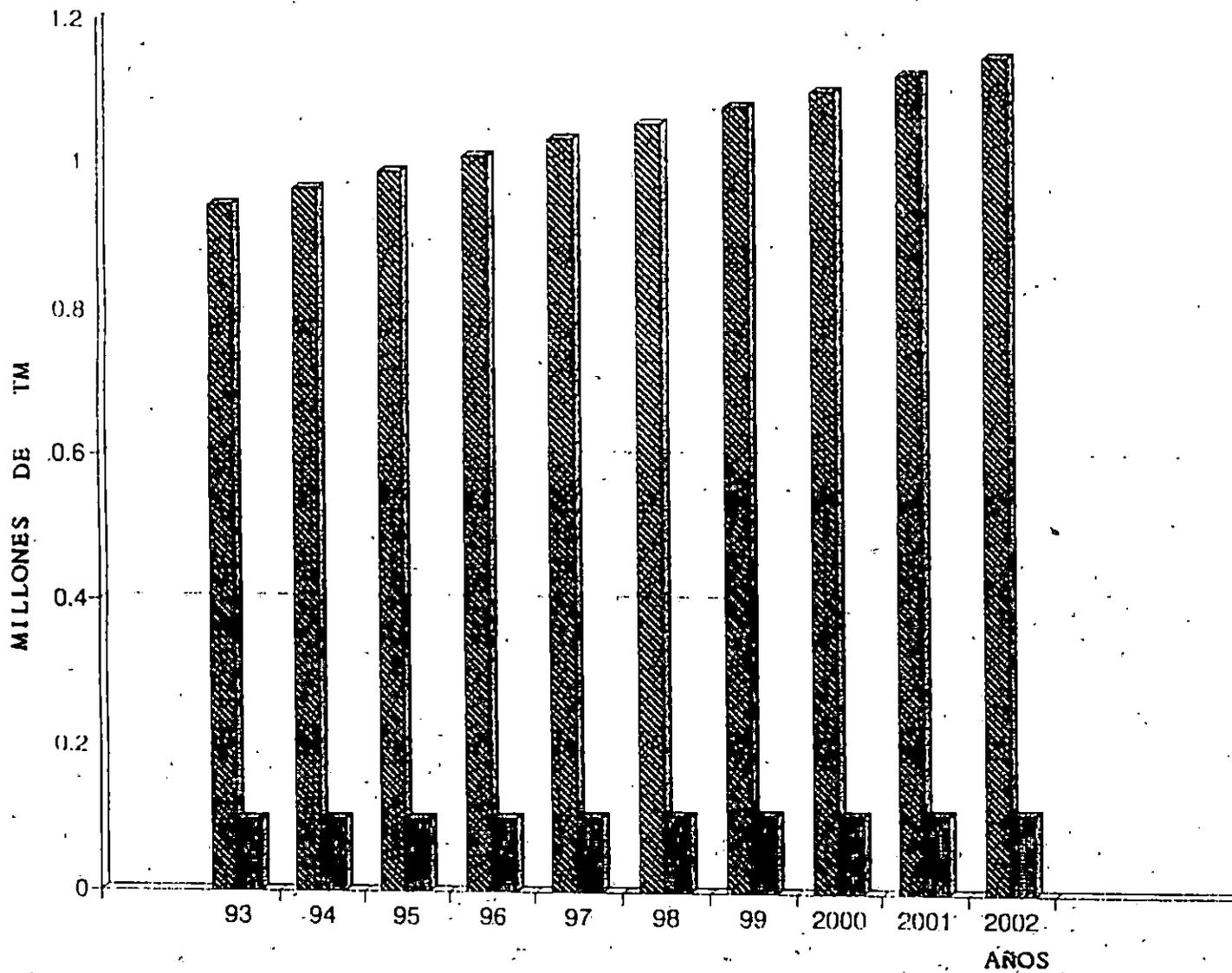


FIGURA 7.2: PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CANA EN EL SALVADOR PROYECTADOS PARA EL PERIODO 1992-2002.

Cabe mencionar que la rentabilidad de este proyecto está afectada por la variación de precios de la materia prima, razón por la cual, el precio asignado a la melaza es el correspondiente al Sector Agropecuario, ya que el precio del Sector Industrial es 65% mayor que el del Sector Agropecuario(56).

El volumen proyectado de excedentes de bagazo que se tiene disponible por zafra es de 100,000 TM como promedio, procedente de los 10 ingenios existentes en el país. Sin embargo para el presente estudio, se tomará como base de análisis únicamente el excedente del Ingenio Jiboa, el cual es en promedio de 16,000 TM anuales, para la última zafra.

En cuanto a la adquisición de harina de soya, harina de maíz y sal común; se hará en la zona aledaña al proyecto.

Las Sales Minerales, Hidróxido de Sodio y Urea se comercializan en San Salvador. A continuación se presenta el detalle de materias primas e insumos, así como también el precio por unidad de dichos insumos. Tales precios fueron cotizados en el área metropolitana de San Salvador con sus respectivos distribuidores, vigentes en Marzo de 1992 (2,3).

**TABLA 7.4: PRECIOS POR UNIDAD DE MATERIA PRIMA  
E INSUMOS PARA LA FORMULACION DE  
ALIMENTO PARA GANADO BOVINO.**

MATERIA PRIMA O INSUMO	UNIDAD	PRECIO (¢)
Bagazo de caña	TM	13.00 1/
Melaza	TM	44.00
NaOH	Kg	4.50
Urea	qq	390.00
H. de Soya	qq	115.00
H. de Maíz Amarillo	qq	55.00
Sales Minerales	qq	95.00
Sal Común	qq	30.00

1/ Referencia (20).

Debe aclararse que al considerar economía de escala, estos precios serán menores.

## 7.2 ANALISIS DE LA OFERTA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO

Actualmente la oferta de alimento para ganado bovino, está representada por 5 empresas, las cuales en conjunto producen aproximadamente 11,363.63 TM (250,000 quintales), habiendo permanecido constante en los últimos años.

Existen además algunas plantas pequeñas que fabrican el producto para auto consumo.

### 7.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO

La demanda de alimento para ganado se determinó en base a la producción vacuna nacional, que son los consumidores del producto a elaborar.

La importancia de éste análisis estriba, en que permite visualizar la futura demanda del bien a producir. Para conocer la demanda futura, se hace necesario hacer un análisis histórico y actual de ésta. En la Tabla 7.5 se presenta la serie histórica de la demanda, la cual se obtuvo considerando el hato nacional y un consumo promedio de 2.27 Kg (5 lb.) diarios por cabeza durante un año.

En base a estos datos históricos, con las mismas consideraciones anteriores, se aplica el método de mínimos cuadrados (ver Apéndice I) y se obtiene la demanda futura presentada en la Tabla 7.6.

De lo anterior, se considera que para el próximo decenio, se tendrá una demanda promedio de 883,500 TM de alimento para animales, en esta demanda no se especifica el tipo de alimento demandado (para ganado lechero, de carne, mantenimiento, etc.), ya que esta información no es accesible al público, en las instituciones encarga-

das de su recopilación.

La figura 7.3 muestra gráficamente la situación histórica actual y proyectada, de la demanda de alimento para ganado bovino, en la cual se puede observar que hubo un descenso marcado en el período comprendido entre el año 1981 a 1983 atribuible a la situación político-social por la que atravezaba el país; por lo tanto, las proyecciones realizadas en base a esos datos deberán tomarse con estricta reserva, considerándose como la situación más pesimista.

Si tomamos en cuenta que la actual producción de alimento para ganado bovino cubre solamente un 1.28% de la demanda, se tiene una demanda insatisfecha teórica de 872,136.35 TM, la cual podría ser cubierta en un 35.83 % si se utiliza todo el excedente nacional de bagazo de caña, bajo las condiciones proyectadas. Sin embargo para este proyecto se trabajará con un 10 % del excedente del Ingenio, para producir 113,400 qq (5,154.54 TM) de alimento, con lo cual se pretende satisfacer alrededor del 1 % de la demanda teórica insatisfecha, pudiendo llenar la necesidad de alimento de 1,240 animales en confinamiento (considerando que el animal consume 11.36 Kg -(25 lb)-diarios de la ración); ésto proporcionaría

**TABLA 7.5: DEMANDA TEORICA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1980-1990.**

<b>AÑO</b>	<b>TOTAL GANADO VACUNO (CABEZAS/AÑO) 1/</b>	<b>DEMANDA TEORICA (TM) 2/</b>
80	1,526,600.00	1,266,384.00
81	1,105,700.00	917,228.00
82	954,000.00	791,386.00
83	936,800.00	777,118.00
84	950,000.00	788,068.00
85	979,990.00	812,946.25
86	1,050,400.00	871,354.55
87	1,088,300.00	902,794.30
88	1,144,100.00	949,082.95
89	1,176,200.00	975,711.36
90	1,200,000.00	995,454.55

1/ Referencia (55).

2/ Considerando el hato nacional y un consumo mínimo promedio de 2.27 Kg. (5 Lb.) diarias por cabeza, durante un año.

TABLA 7.6: DEMANDA PROYECTADA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1991-2002.

AÑO	DEMANDA ANUAL (TM)
1991	896,339.84
1992	893,494.50
1993	890,649.24
1994	887,803.94
1995	884,958.64
1996	882,113.34
1997	879,268.04
1998	876,422.74
1999	873,577.44
2000	870,732.14
2001	867,542.16
2002	864,429.22

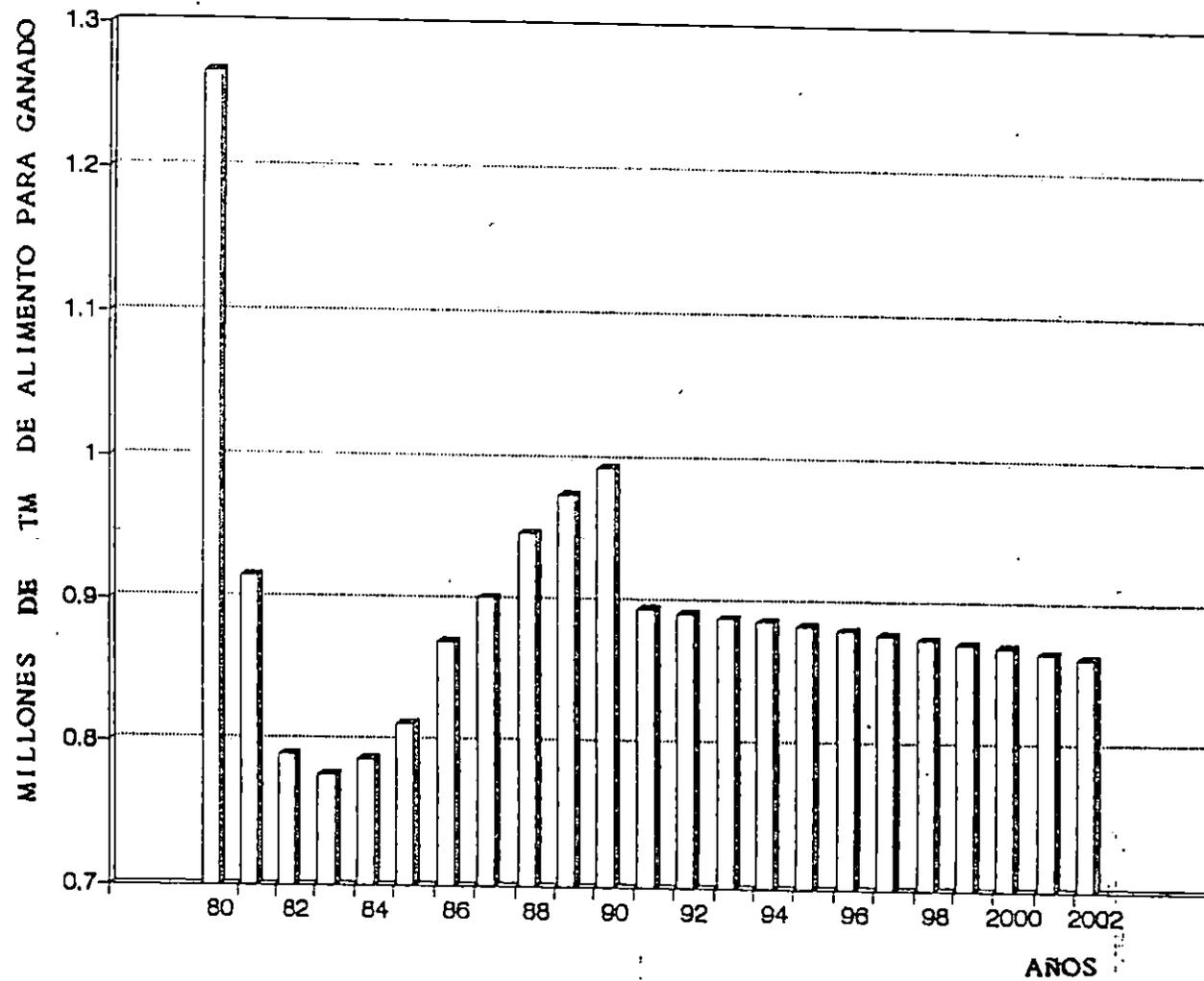


FIGURA 7.3: DEMANDA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO EN EL SALVADOR.  
SITUACION HISTORICA, ACTUAL Y PROYECTADA.

una estrategia alimenticia para dos o tres fincas ganaderas.

El desarrollo de este proyecto a nivel piloto está orientado al Ingenio Jíboa, por ser éste uno de los Ingenios con más excedentes de bagazo de caña del país, contando actualmente con 16,000 TM de bagazo como promedio por zafra. Posteriormente y según evaluaciones respectivas, se podría comenzar a trabajar gradualmente con los demás ingenios, hasta absorber todo el excedente nacional.

#### **7.4 PRECIOS DE RACIONES ALIMENTICIAS PARA GANADO BOVINO**

El precio de las actuales raciones alimenticias al público oscila entre ¢34.00 y ¢100.00 el quintal, dependiendo si es para ganado lechero, de carne, doble propósito, mantenimiento, etc. y de la materia prima utilizada para su formulación(49,58,73).

Los precios antes mencionados han sido cotizados en el área metropolitana de San Salvador.

### 7.5 CANALES DE COMERCIALIZACION

Si consideramos este proyecto como iniciativa privada en función social, dirigido para cooperativas del sector reformado y manejado por ellas mismas, el consumo del producto estaría garantizado, proponiéndose los canales de comercialización de la figura 7.4.

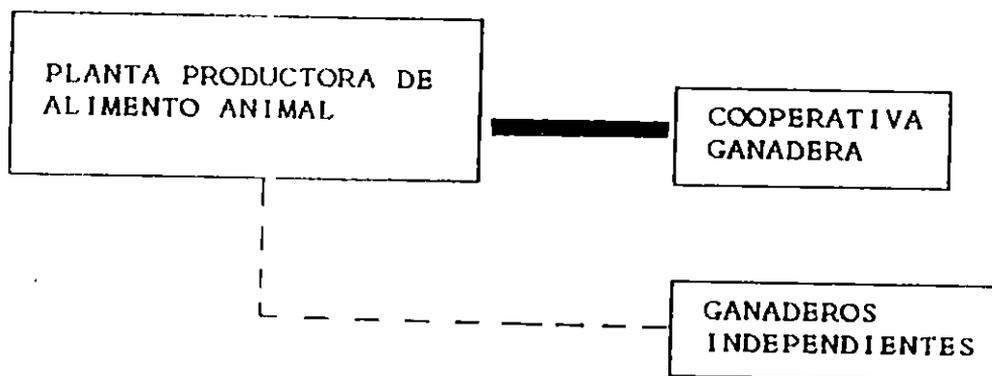


FIGURA 7.4: CANALES DE COMERCIALIZACION PROPUESTOS DE EL ALIMENTO PARA GANADO BOVINO.

## CAPITULO VIII

### PREFACTIBILIDAD TECNICA

La operación unitaria fundamental de la hidrólisis del bagazo es la de mezclado. Dado que la proporción de líquido a sólido es muy pequeña, se trata como una mezcla sólido-sólido. Este tipo de mezcla ha resistido todo intento de sistematización a nivel teórico y esto hace más necesario aún desarrollar pruebas de cambio de escala puesto que podría ser riesgoso asumir un mismo grado de hidrólisis a nivel de laboratorio y nivel planta piloto.

#### 8.1 ESCALAMIENTO A NIVEL PLANTA PILOTO

El escalamiento lleva en si dos objetivos centrales:

1. Encontrar el grado de hidrólisis logrado con grandes cantidades y compararlo con el obtenido a nivel de laboratorio.
2. Evaluar el desempeño de una mezcladora horizontal para concentrados, para llevar a cabo la hidrólisis.

Características del equipo a usar (ver Figuras 8.1, 8.2 y 8.3):

- Mezcladora tipo horizontal para concentrados  
Capacidad de carga = 180 Kg de bagazo

rpm de trabajo = 20

Tiempo de mezclado = 10 a 15 min.

- Báscula Mecánica de Fiel

Capacidad = 250 Kg

Características de las materias primas:

- Bagazo de caña

Humedad del promontorio: 11% (humedad al equilibrio)

Peso de la muestra: 30 Kg

Densidad en bulto : 175 Kg/m<sup>3</sup>

- Hidróxido de Sodio

Pureza de reactivo: Calidad Industrial

Concentración de la solución: saturada, conocida la solubilidad (42 g/100 ml)

Volumen de la solución: 2.31 L

El bagazo se pesó y ensacó. La solución se preparó y guardó en recipiente plástico.

Se planeó desarrollar la prueba siguiendo el mismo modo de operación que cuando se formula concentrado.

Se descargó el bagazo a lo largo del compartimiento de mezclado, echándose andar el motor enseguida, luego la solución de NaOH se fue agregando con cuidado a lo lar-

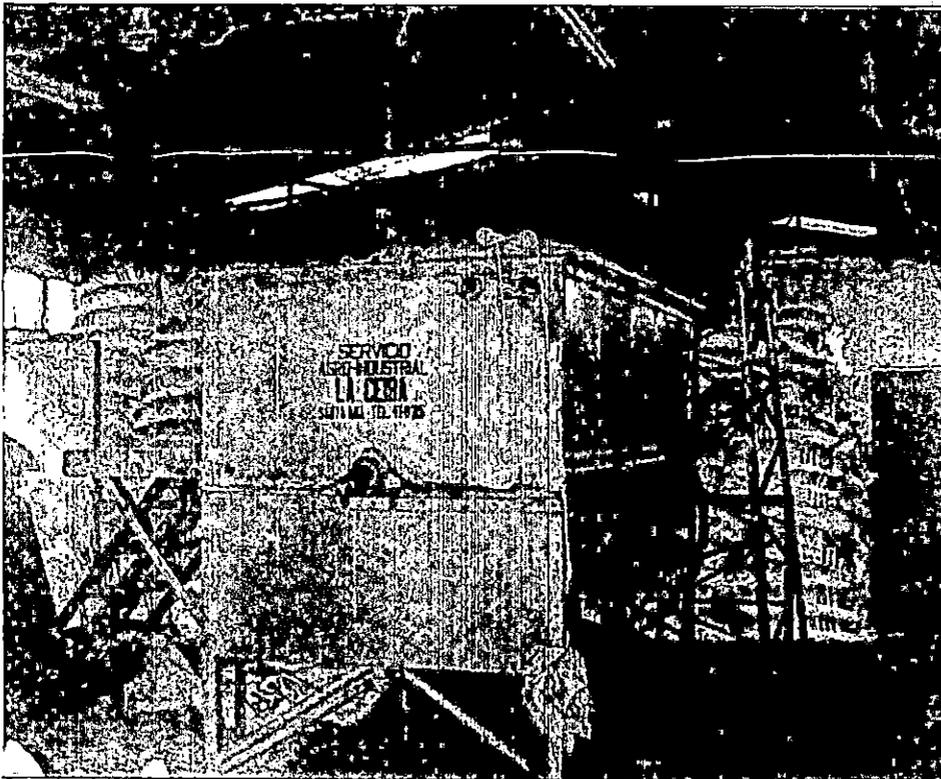
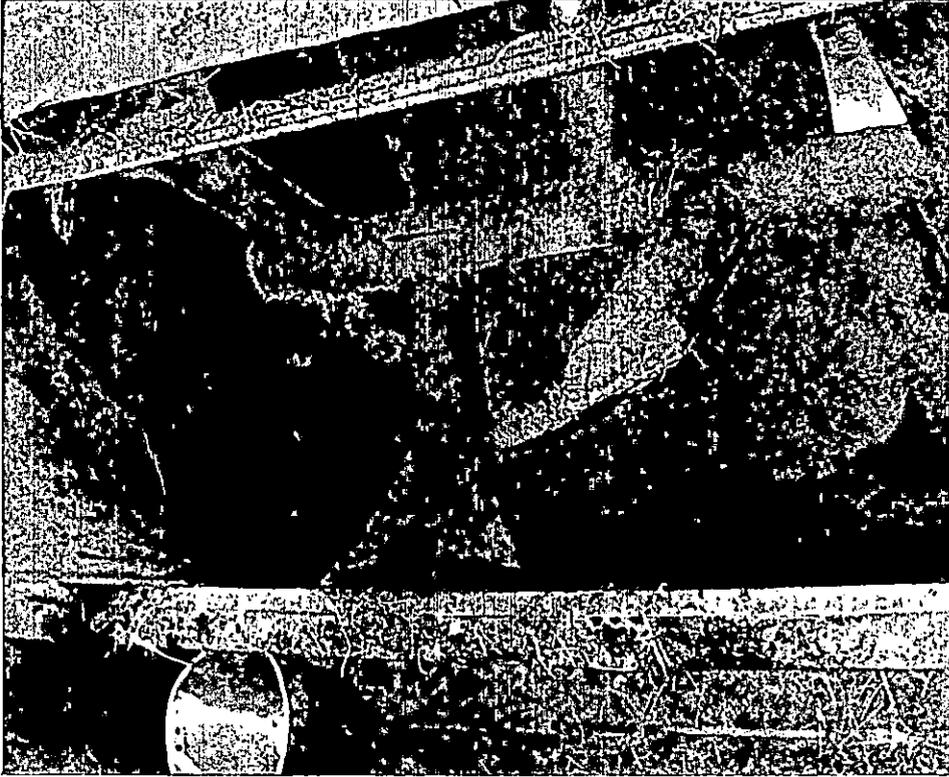


FIGURA 8.1: MEZCLADORA PARA CONCENTRADOS  
TIPO HORIZONTAL.



**FIGURA 8.2: VISTA INTERIOR DE LA MEZCLADORA  
PARA CONCENTRADOS TIPO HORIZONTAL.**



FIGURA 8.3: BASCULA MECANICA DE FIEL

go del material en movimiento. Luego de 10 min de mezclado se descargó y ensacó la muestra para cumplir el tiempo de reacción de 24 hr. Un indicio favorable de que la hidrólisis se había efectuado normalmente fue el aspecto y olor del bagazo al momento de ensacar.

Luego de las 24 hr la muestra se analizó contra patrón. Los resultados se muestran en la tabla 8.1.

TABLA 8.1: ANALISIS DE LABORATORIO DE LA HIDROLISIS QUIMICA DE BAGAZO DE CAÑA A NIVEL PLANTA PILOTO

ANALISIS MUESTRA	FIBRA NEUTRO DETERGENTE % p/p	CONTENIDO CELULAR % p/p	HUMEDAD % p/p
PATRON	85.73	14.27	11.03
HIDROLIZADO	78.76	21.24	14.73

De la tabla 8.1 se puede visualizar el efecto de hidrolizado que se puede cuantificar como una diferencia porcentual de la variable Fibra Neutro Detergente analizada en la ración hidrolizada respecto al patrón, así tenemos un 8.13% de disminución en fibra neutro detergente y un 33% de aumento en contenido celular.

Para evidenciar el efecto del cambio de escala se comparan los resultados obtenidos con los de laboratorio - reportados previamente, donde se comprueba que el rendimiento se mantiene (ver tabla 8.2).

TABLA 8.2: COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA HIDROLISIS QUIMICA DE BAGAZO DE CAÑA A NIVEL DE LABORATORIO Y DE PLANTA PILOTO.

NIVEL	FIBRA NEUTRO DETERGENTE. % p/p	CONTENIDO CELULAR % p/p
Laboratorio P. Piloto	78.05 78.76	21.95 21.24
Reportado en la literatura para Planta Piloto (17).	75.30	24.70

## 8.2 FORMULACION DE LA RACION ALIMENTICIA

La formulación de raciones debe lograr dos objetivos:

1. Proporcionar los nutrimentos requeridos en cantidades adecuadas para el animal.
2. Lograr que el animal acepte el alimento.

El primer objetivo se logra balanceando las cantidades de materias primas del concentrado, conociendo sus composiciones.

El segundo objetivo es empírico y es afectado por factores referentes al animal, tales como: comportamiento en aislamiento o grupo, acostumbramiento al tipo de alimento, familiaridad al lugar donde se alimenta, hora de alimentación y cantidad de alimento ingerido previamente(18).

Factores fácilmente controlables que también inciden en la aceptabilidad son: sexo, edad, raza y salud.

Para uniformizar el efecto de estas variables, se eligió un grupo de 5 novillas para el acostumbramiento a la ración, al comedero y a la hora de alimentación (08:30 - 11:30 am cada día). La edad de los animales oscilaba entre 9 y 12 meses, razas Brown Swiss y Holstein, sanas y en estabulación (ver figura 8.4).

#### 8.2.1 ENSAYO CON ANIMALES

El ensayo se realizó en las instalaciones de la Escuela Nacional de Agricultura (ENA), en el valle de San Andrés, a 460 msnm, humedad relativa promedio = 76%, temperatura promedio anual = 23.8 °C.

El ensayo total duró aproximadamente tres semanas.



**FIGURA 8.4: NOVILLAS ENTRE 9 Y 12 MESES DE EDAD, RAZAS BROWN SWISS Y HOLSTEIN, UTILIZADAS EN EL ENSAYO.**

El primer objetivo fue el acostumbramiento al bagazo y se fueron variando los siguientes parámetros (hasta alcanzar sus mínimos aceptables)(18):

- a) Cantidad de melaza
- b) Cantidad de grano
- c) Humedad de la muestra.

La fórmula aceptada por el animal, finalmente fue (ver figura 8.5):

Bagazo in natura.....	27%
Maíz amarillo.....	18%
Melaza.....	45%
Agua.....	9%

Estos valores iniciales fueron la base para proponer una ración a comercializar.

El siguiente objetivo era lograr aceptabilidad de la ración con bagazo hidrolizado, que los animales ya acondicionados, consumen sin problema (ver figura 8.6).

Para ello se prepararon raciones con la misma composición reportada anteriormente, pero usando bagazo hidrolizado. Siendo la aceptabilidad un objetivo fundamental, se reportan las cantidades consumidas y las rechazadas.



FIGURA 8.5: FORMULA PREPARADA PARA EVALUAR ACEPTABILIDAD  
DE RACIONES CONTENIENDO BAGAZO DE CAÑA  
HIDROLIZADO.



FIGURA 8.6: NOVILLAS CONSUMIENDO RACION FORMULADA CON  
BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO.

---

TABLA 8.3: CONSUMO Y RECHAZO DE UNA RACION FORMULADA PARA GANADO BOVINO CON BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO

DIA	CONSUMO (Kg)	RECHAZO (Kg)	% RECHAZO	TOTAL(Kg)
1	5.45	0.91	17	6.36
2	12.72	0.91	7	13.63
3	12.72	0.91	7	13.63

Se hace la observación que la mayor parte del rechazo consiste en las fracciones más grandes y leñosas del bagazo (epidermis), ya que estas partes resultaron menos palatables para los animales sujetos de ensayo.

El grupo de ensayo fue observado días después de consumir la ración con bagazo hidrolizado y no se notó ninguna manifestación anómala en ellos. Esto podría servir para sugerir que dicha ración no produce efectos tóxicos.

La última etapa del ensayo consistió en dejar en consumo libre al grupo de animales frente a dos raciones idénticas, pero una formulada a base de bagazo in natura y la otra con bagazo hidrolizado. Se notó preferencia por la última.

Es necesario hacer notar que este ensayo no pretende ser riguroso o exhaustivo, sino preliminar y limitado aún así, aporta información valiosa para el estudio de prefactibilidad.

Las conclusiones respecto a la aceptabilidad tendrán una validez definitiva cuando sean conducidas por zootecnistas y sin limitaciones de tipo material y/o tiempo.

#### 8.2.2 ANALISIS DE LABORATORIO

La fórmula ensayada con bagazo hidrolizado se analizó contra un patrón a base de bagazo "in natura". Se reportan en la tabla 8.4, los resultados de los análisis de laboratorio de las raciones ensayadas y los de una ración comercial, que servirá para balancear posteriormente la composición de la ración propuesta.

La humedad es mayor que en la ración comercial, pues ésta se incrementó en función de la aceptabilidad. La humedad alta no representa problema si la ración es consumida en el lapso de una semana, ya que se observó que al cabo de este tiempo, la ración formulada conservaba las propiedades iniciales (humedad, color y apariencia).

La fibra cruda, que en el bagazo hidrolizado no mostró cambio apreciable (ver tabla 5.1, Cap. V), ahora muestra un descenso respecto a la ración no hidrolizada(35.2%) y a la ración comercial(45.5%), lo cual constituye un argumento a favor de esta ración.

Grasas y proteínas no se balancearon pues su presencia no es determinante para la aceptabilidad. Finalmente, el pH de la ración hidrolizada oscila entre 6.3 y 6.4.

#### 8.2.3 RACION PROPUESTA

En base a los resultados obtenidos de las pruebas de aceptabilidad y teniendo como modelo la ración comercial reportada en la tabla 8.4, se propone la ración que aparece en la tabla 8.5 y que fue balanceada respecto a proteínas utilizando los criterios del capítulo VI. Además se reporta la cantidad total de nutrimentos digestibles que estaría aportando dicha ración.

En la tabla 8.6 se presenta el análisis bromatológico teórico que ha sido calculado en base a los

TABLA 8.4: RESULTADO DEL ANALISIS DE LABORATORIO DE LAS RACIONES DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO ENSAYADAS Y DE UNA RACION COMERCIAL

DETERMINACION	RACION IN NATURAL (PATRON)	RACION HIDROLIZADA	RACION COMERCIAL DE MANTENIMIENTO 1/
Humedad	22.86	22.45	15.08
Materia seca	77.14	77.55	84.92
Fibra cruda	17.07	11.06	20.31
Grasa	0.66	0.66	3.25
Proteína	3.94	4.08	18.41
Ceniza	7.00	8.68	11.60
Extracto libre de Nitrógeno	71.33	75.52	46.43
Fibra Neutro Detergente	48.68	45.91	---
Contenido Celular	51.32	64.09	---
Sodio	0.21	0.7	---

1/ Referencia (59).

análisis bromatológicos de cada uno de los componentes de la ración, que se reportan en la literatura (25) (ver Apéndice H).

Debe tomarse en cuenta que estos resultados por no ser lo suficientemente amplios, no son concluyentes.

TABLA 8.5: COMPOSICION DE LA RACION PROPUESTA PARA ALIMENTO DE GANADO BOVINO

MATERIA PRIMA	PORCENTAJE DE LA RACION (% p/p)	PROTEINA (% p/p)	TND (% p/p) <u>1/</u>
Bagazo Hidrolizado	32	0.58	0.46 <u>2/</u>
Melaza	40	1.60	2.4
Harina de Soya	15	7.20	40.9
Harina de Maíz	9	0.80	6.8
Sal Común	1	-	-
Urea	1	2.81	-
Sales Minerales	2	-	-
TOTAL	100	12.99	50.56

1/ TND: Total de Nutrimientos Digestibles.

2/ Para este cálculo se ha utilizado el porcentaje de digestibilidad del bagazo de caña 'in natura', por desconocerse el nuevo porcentaje de digestibilidad del bagazo hidrolizado químicamente, ya que para ello era necesario realizar otras pruebas con ganado bovino, que se salen del alcance del presente trabajo.

El método utilizado para construir la tabla 8.6 consiste en la sumatoria de la proporción de cada componente en la ración, multiplicada por el aporte teórico del parámetro que se está calculando, así se tiene para humedad la ecuación 8.1:

$$H = \%H_B \times \%B + \%H_M \times \%M + \%H_S \times S + \%H_{MA} \times \%MA \quad (8.1)$$

Donde:

$\%H_T$  = porcentaje de humedad total

$\%H_x$  = porcentaje de Humedad del componente x

$\%X$  = participación del componente en la ración.

TABLA 8.6: ANALISIS BROMATOLOGICO DE LA RACION PROPUESTA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO

DETERMINACION	% p/p
Humedad	29.21
Materia Seca	70.79
Fibra Cruda	21.29
Grasa	0.5208
Proteína	12.99 <u>1/</u>
Cenizas	11.00
Extracto libre de Nitrógeno	54.19

1/ Aunque el contenido proteico es inferior al de la ración comercial, este valor - está dentro de la proporción proteica - que debe contener una ración de mantenimiento (ver Apéndice G).

De igual forma se procede para cada uno de los parámetros que aparecen en dicha tabla. Debe de tomarse en cuenta que el análisis bromatológico del bagazo hidrolizado no es del todo confiable, tal como se explicó en la sección 5.5, por lo tanto, sería recomendable hacerle el análisis bromatológico a la ración propuesta, así como pruebas biológicas, sin las cuales, el análisis bromatológico no aporta toda la información para poder concluir.

### 8.3 INGENIERIA DEL PROYECTO

Una vez establecido que el rendimiento del avance de la hidrólisis a nivel planta piloto fue satisfactoria (se mantuvo en el mismo grado que a nivel de laboratorio) y sin perder de vista que las pruebas biológicas de la ración propuesta son indispensables para concluir si la ración es efectiva en el animal o no, se procede al dimensionamiento del proyecto.

#### 8.3.1 TAMANO DEL PROYECTO

Para dimensionar el tamaño del proyecto es necesario considerar los parámetros que pueden ser limitantes para tal fin, siendo éstos los que se analizan a continuación:

## a) Materias Primas

- Bagazo: del estudio de mercado se observa que existe en suficiente cantidad.
- Grano: podría llegar a ser limitante ya sea por su disponibilidad o por costo; en ambos casos puede cambiarse de grano para formular.
- Melaza: es la limitante definitiva del proyecto. Si no se obtiene a precio para el sector ganadero, (¢ 44/TM) el proyecto sería incosteable (56).

## b) Demanda

El estudio de mercado estableció en 872,136.35 TM la demanda insatisfecha de raciones, por lo cual no se considera limitante.

## c) Financiamiento

Aunque no es definitivo, se podría sugerir un techo de ¢ 2,000,000.00, para el monto del proyecto. No se considera la capacidad financiera del solicitante del crédito.

## d) Costo de Producción Unitario (62)

Es un criterio que relaciona el costo unitario con la capacidad de producción, y se selecciona como tamaño de producción, donde la curva de un mínimo

de costo a una capacidad mínima.

e) Comercialización

Se propone que la producción sea principalmente de consumo interno entre cooperativas y para ganaderos de la zona.

De estos cinco parámetros, es el costo de producción unitario el seleccionado para determinar el tamaño del proyecto. Para calcular el costo unitario, se hace uso de la ecuación 8.2 (5).

$$\text{COSTO UNITARIO} = \frac{\text{COSTOS DE PRODUCCION (¢/año)}}{\text{PRODUCCION ANUAL (qq/año)}} \quad (8.2)$$

Los niveles de producción están considerados en base a equipo disponible, pero de baja capacidad. Se ensayan 3 niveles o arreglos para simplificar y uniformizar el análisis:

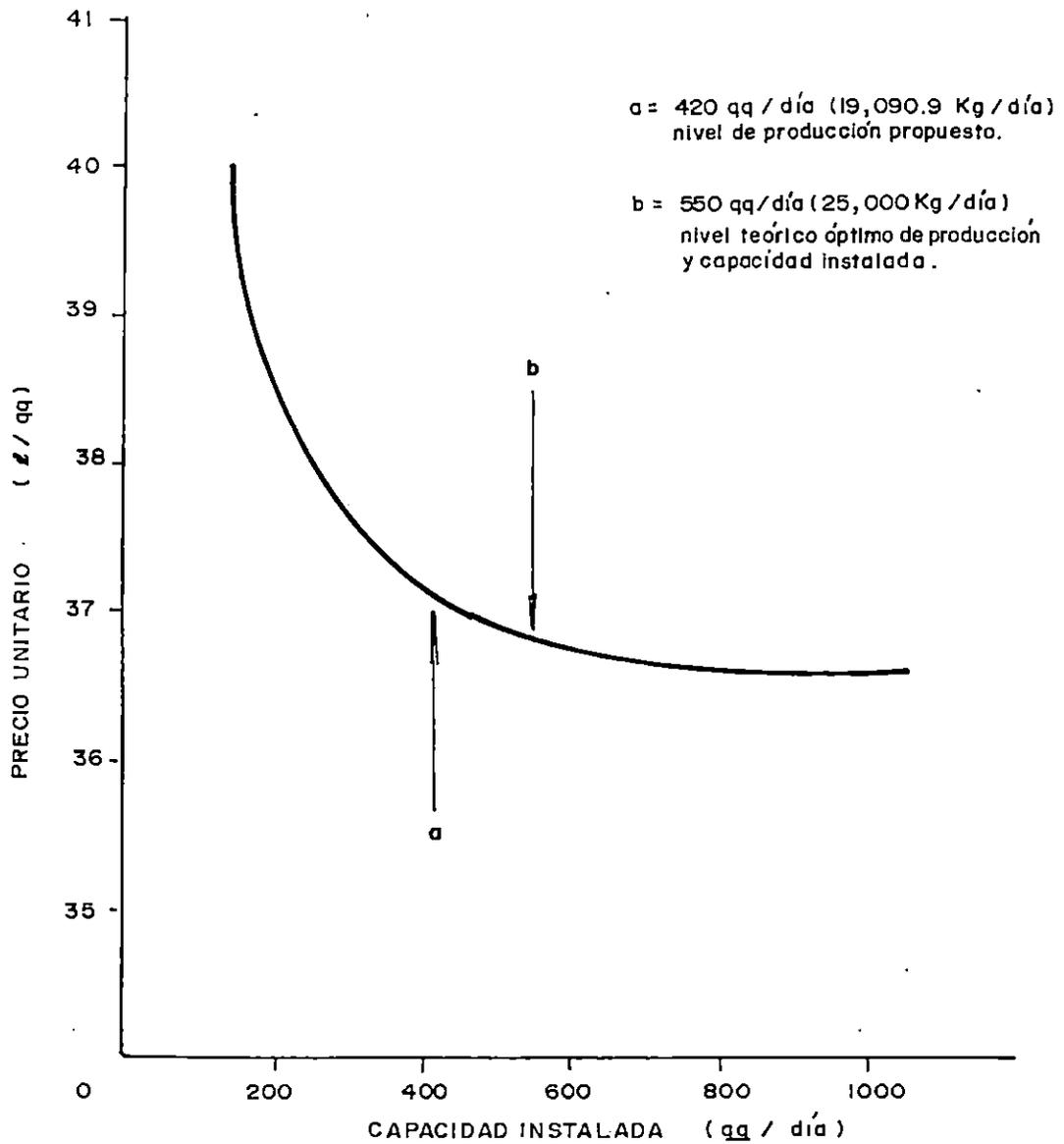
- a) Nivel mínimo: un molino-un hidrolizador-una mezcladora
- b) Nivel medio: un molino-un hidrolizador-tres mezcladoras.
- c) Nivel alto: dos molinos-dos hidrolizadores-seis mezcladoras.

La tabla 8.7 resume los resultados obtenidos y que fueron calculados siguiendo el método, de manera similar a la que se explica en el análisis de prefactibilidad económica (capítulo IX). Con estos datos se construye el gráfico de la figura 8.7, de donde se selecciona el nivel de 550 qq/día para la capacidad de la planta, siendo el nivel medio ensayado el más cercano, que corresponde a 420 qq/día (113,400 qq/año), representando un 76.36% del nivel seleccionado, permitiendo alimentar 1,240 cabezas de ganado (ver Sección 7.3, Capítulo VII).

**TABLA 8.7: COSTOS PARA SELECCIONAR EL TAMAÑO DE LA PLANTA PRODUCTORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO, DE ACUERDO A SU CAPACIDAD DE PRODUCCION**

CP RUBRO	NIVEL MINIMO (37,800 qq/ año) ¢	NIVEL MEDIO (113,400 qq/año) ¢	NIVEL ALTO (226,800 qq/año) ¢
Costos Primos	1,261,000.20	¢3,768,600.80	7,508,401.60
Costos de Fabricación	120,932.67	185,967.94	316,513.41
Costos de Administra.	15,150.00	22,980.96	29,970.72
Costos Financieros	113,281.88	220,967.91	440,842.22
Costo Total	1,510,364.70	4,198,511.60	8,295,727.90
Costo Unitario (¢/qq)	39.96	37.03	36.57

CP: Capacidad de Producción



**FIGURA 8.7 : COSTO UNITARIO DE PRODUCCION DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO vs. CAPACIDAD INSTALADA DE LA PLANTA .**

### 8.3.2 LOCALIZACION DEL PROYECTO

A nivel de macro-localización se selecciona la zona paracentral del país, donde hay gran necesidad de alimento para ganado especialmente, en la época de verano; además en la misma región se localiza uno de los mayores ingenios del país, siendo este el Ingenio Jiboa, ubicado en el departamento de San Vicente.

### 8.3.3 DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCION

Para diseñar el proceso de producción se establecieron las siguientes consideraciones:

- a) Tipo de Proceso: discontinuo (por lotes)
- b) Número de Batch: 14/día, con un tiempo promedio de 30 min por lote.
- c) Tiempo de operación de la planta: 8 h/día.
- d) Capacidad instalada: 25,000 Kg/día (550 qq/día)
- e) Producción propuesta: 19,090.9 Kg/día (420 qq/día), lo cual corresponde al 76.4% de la capacidad instalada.
- f) Días de operación efectivo: 270 días.
- g) Producción anual: 5,154,545.4 Kg/año (113,400 qq/año).

El proceso se divide en cuatro grandes etapas:

ETAPA I: MOLIENDA

a) Molienda de Bagazo: 6,109.08 Kg/día (134.4 qq/día).

Tamaño de partícula inicial: 30 mm

Tamaño de partícula final : 10 mm

b) Molienda de Granos:

i) Soya: 2,863.63 Kg/día (62.99 qq/día)

ii) Maíz: 1,718.18 Kg/día (37.79 qq/día)

ETAPA II: HIDROLISIS

a) Solución de Hidróxido de sodio al 4%

Volumen de agua: 290.56 L/día

Cantidad de NaOH: 122.18 Kg/día

Volumen de solución: 65 gal/día, 4.64 gal/lote

Tiempo de mezclado: 30 min

Capacidad del Hidrolizador: 454.5 Kg/30 min

(10 qq/30 min)

Bagazo a hidrolizar en cada lote :436.36 Kg/lote  
(9.6 qq/lote).

ETAPA III: MEZCLADO DE RACION

a) Mezclar para cada mezcladora y en cada lote

Bagazo: 145.45 Kg (3.2 qq)

Melaza: 181.81 Kg = 33.64 gal.

Maíz: 40.90 Kg (0.9 qq)

Soya: 68.18 Kg (1.5 qq)

Sal Común: 4.54 Kg (0.1 qq)

Sales Minerales: 9.09 Kg (0.2 qq)

Urea: 4.54 Kg (0.1 qq)

b) Tiempo efectivo de mezclado: 15 min

c) Tiempo de carga y descarga: 15 min

#### ETAPA IV: EMPACADO

a) Capacidad de Tolva de ensaque: 2 m<sup>3</sup>

b) Dimensiones de bolsa para empaque: 0.75x0.25 m

c) Capacidad de Bolsa: 45.5 Kg (1 qq)

d) Capacidad de la Cosedora: 41 bolsa/h

La figura 8.8 explica los movimientos de materia prima, la sucesión de operaciones y los balances de materiales.

A continuación se describe brevemente el proceso: En el patio se descarga el bagazo y conforme la producción diaria, se acarrea hasta el molino, al que llega con 50% de humedad y una longitud promedio de partícula de 30 mm. Una vez molido hasta alrededor de 10 mm se lleva al hidrolizador se echa andar y se le va dosificando la carga de NaOH en

solución. A continuación se deja en un área determinada por un tiempo de 24 horas para que se efectúe el mecanismo de hidrólisis. El grano se descarga al pie de los silos donde un transporte de tornillo sin fin lo eleva hasta los silos; posteriormente por canaletas se lleva al molino, luego por otro tornillo sin fin se lleva a las tolvas de harina.

La melaza se almacena en la cisterna. Se bombea y se llena dos veces el tanque durante la jornada.

Según las cantidades requeridas para la formulación, se lleva el bagazo ya hidrolizado a cada mezcladora, se inicia la mezcla, se descargan las harinas desde las tolvas, se agrega la melaza, sales y urea. Concluido el tiempo de mezclado, se descarga el formulado a la tolva de ensaque, que va llenando los sacos, que luego se pesan y cosen.

En la tabla 8.8 se muestran las especificaciones del equipo que se seleccionó para este proceso (47,68).

BASE = 1 DIA DE OPERACION  
 PRODUCCION 19090.9 Kg ALIM/DIA

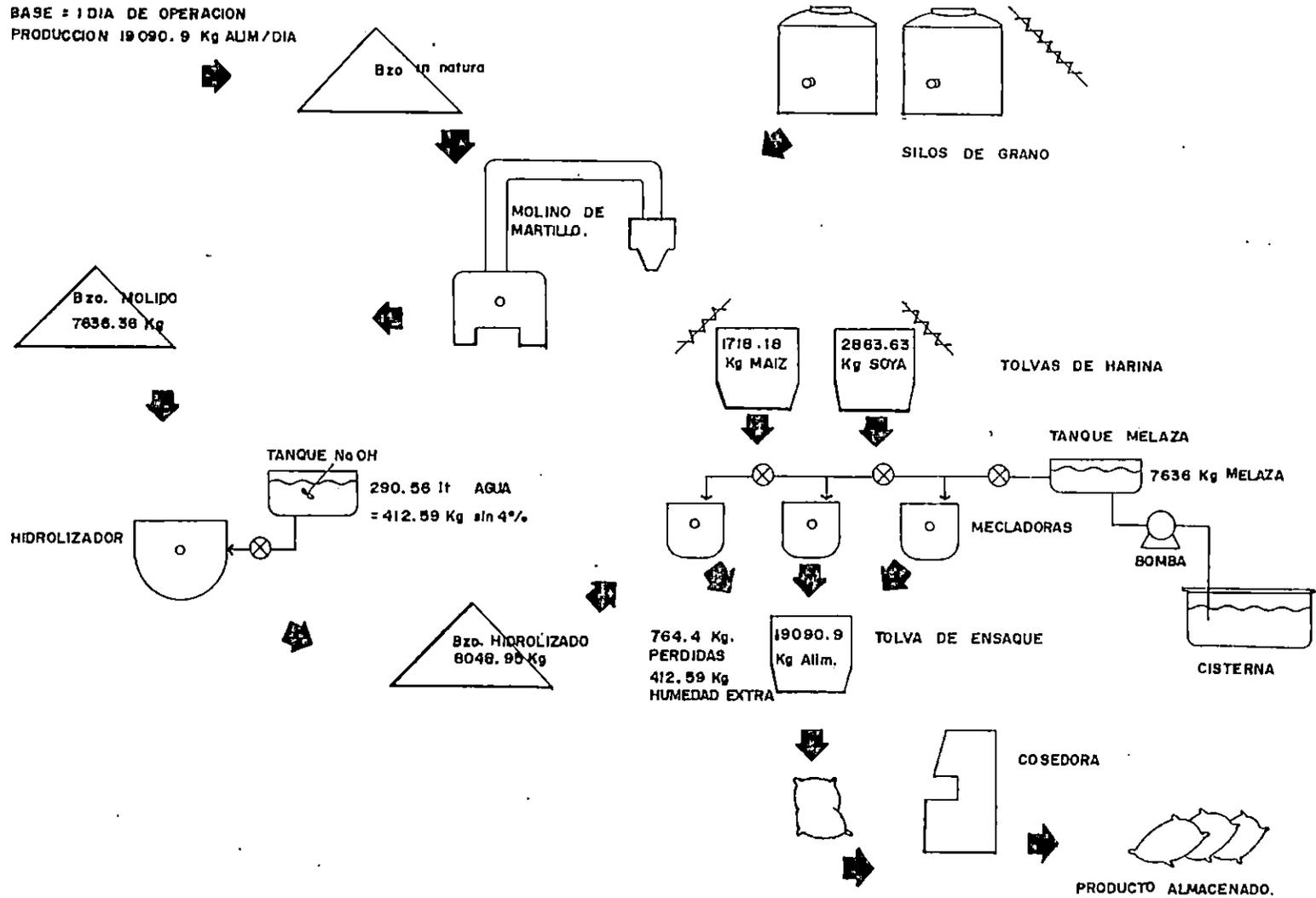


FIGURA 8.8 PROCESO DE PRODUCCION DE ALIMENTO ANIMAL CON BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO .

TABLA 8.8: ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO SELECCIONADO PARA FORMULAR RACIONES ALIMENTICIAS PARA GANADO.

EQUIPO	COMENTARIOS	ESPECIFICACIONES
Molino	Seleccionado en base a la máxima capacidad de trabajo y por la versatilidad de su uso (bagazo y grano)	4 TM Bagazo/h 16 qq grano/h
Mezcladoras	Según la máxima capacidad de trabajo y su adaptabilidad para mezclar formulado e hidrolizar el bagazo.	10 qq/10 min
Cosedora	De acuerdo al tipo usado en procesos similares.	41 saco/h
Bomba	De engranaje. Material, galonaje y potencia calculada y seleccionada con un margen de seguridad.	5 gpm 7.5 HP
Báscula	Seleccionada de tipo mecánica, por costo y necesidad de mano de obra, sobre otra automática.	1200 Lb(max)
Agitador	Acero inoxidable, para mezclar NaOH.	40 cm de diámetro
Tanques	De fabricación local. Cotización y detalle contra presentación de proyecto.	Melaza: 3 m <sup>3</sup> NaOH: 70 gal Urea: 55 gal
Silos, Tolvas y Canaletas	De fabricación local. Cotización y detalle contra presentación de proyecto.	Silos: 30 y 15 m <sup>3</sup> Long. de canaleta: 20m. Tolva ensaque: 2 m <sup>3</sup>
Líneas	Tuberías, accesorios, válvulas en plaza.	Resistentes a la corrosión: PVC
Empaques	Bolsas de papel doble	Capacidad 1 qq de formulado
Tornillos	Por importadores locales	
Motores	Según máximo caballaje disponible y de acuerdo a la necesidad.	Trifásico

## CAPITULO IX

### PREFACTIBILIDAD ECONOMICA

Una vez evaluada la prefactibilidad técnica del proyecto se procede a evaluar su prefactibilidad económica, que pretende de manera general, determinar si el proyecto resulta rentable o no. Para ello se analizan primeramente las inversiones que se necesitan realizar en el proyecto; luego se analizan los costos que inciden directamente en la producción y finalmente se procede a evaluar su rentabilidad.

#### 9.1 INVERSIONES

Para determinar el monto a que asciende la inversión necesaria en este proyecto se consideran los siguientes rubros:

- a) Costos Fijos
- b) Capital de Trabajo

##### 9.1.1 COSTOS FIJOS.

Comprende el conjunto de bienes que se adquieren de una vez durante la etapa de instalación del proyecto y se utilizan a lo largo de su vida útil: terrenos, construcción, equipo de proceso instala-

do, equipo de oficina y preinversión.

a) Costos de Terreno y Construcciones: Se requiere la compra de un terreno rústico, ubicado en la zona oriental.

b) Costos de Equipo de Proceso: Los costos de los equipos que se necesitan para el proceso fueron cotizados en su mayoría en las casas comerciales que se encargan de su fabricación o distribución. Para los equipos que no se encuentran disponibles en el país se hizo uso de los precios que aparecen en el Manual del Ingeniero Químico (65), actualizándolos en base a estimaciones.

Los precios que se reportan son válidos hasta marzo de 1992.

c) Equipo de Oficina: Aquí se considera el equipo necesario para el control de ventas y producciones, así como también trámites de adquisición de materias primas y otra papelería necesaria.

d) Preinversión: Incluye gastos de puesta en marcha e imprevistos. Los costos de puesta en marcha se refieren a la cantidad de dinero que se invier-

te cuando se realizan las pruebas de producción; la empresa efectúa esta inversión para lograr un nivel de productividad y de calidad aceptable.

La preinversión se calcula como un 5% del monto a que asciende el valor del terreno, la obra civil y el equipo instalado (81).

En la tabla 9.1 aparecen detallados los costos fijos para este proyecto.

#### 9.1.2 CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo es el dinero en efectivo que la empresa requiere para operar normalmente y debe estar disponible en caso de que la empresa no perciba ingresos.

En este proyecto se calcula el capital de trabajo para dos meses de operación y el monto a que asciende se presenta en la tabla 9.2.

Además, en la tabla 9.3 se muestra el monto total a que asciende la inversión de capital.

TABLA 9.1: COSTOS FIJOS PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO ¢	VALOR ¢	TOTAL ¢
a)Terreno y Construcción			275,000.00
Terreno 10,000 V <sup>2</sup>	10.00	100,000.00	
Construc.250 m <sup>2</sup>	700.00	175,000.00	
b)Equipo de Proceso			325,176.86
3 mezcladoras10/10	19,950.00	59,850.00	
3 motores 30 HP	11,425.00	34,275.00	
1 Hidrolizadora 10/10	19,950.00	19,950.00	
1 motor 30 HP	11,425.00	11,425.00	
1 molino de martillo	9,340.00	9,340.00	
1 motor 10 HP	6,800.00	6,800.00	
1 bomba melaza	9,780.00	9,780.00	
2 cosedoras	4,000.00	8,000.00	
5 tornillos	12,225.00	61,125.00	
5 motores ½ HP	500.00	2,500.00	
2 básculas	2,700.00	5,400.00	
Tolva + canaletas	6,500.00	6,500.00	
Tanque + agitador inoxidable	8,000.00	8,000.00	
Silo maíz	6,000.00	6,000.00	
Silo Soya	8,000.00	8,000.00	
Cisterna Melaza	30,000.00	30,000.00	
Tolva maíz	3,500.00	3,500.00	
Tolva soya	4,500.00	4,500.00	
Otros		14,747.25	
Instalación		15,484.61	
c)Equipo de Oficina	6,000.00	6,000.00	6,000.00
d)PreInversión	35,258.84	35,258.84	35,258.84
TOTAL . . .			641,435.70

TABLA 9.2: CAPITAL DE TRABAJO PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO

CONCEPTO	MONTO (¢)
Sueldos	15,400.00
Servicios	12,703.00
Materia Prima	578,300.13
Empaque	37,800.00
Mantenimiento	2,457.87
<b>T O T A L</b>	<b>646,661.00</b>

TABLA 9.3: INVERSION DE CAPITAL PARA EL PROYECTO

CONCEPTO	MONTO (¢)
Costos Fijos	641,435.70
Capital de Trabajo	646,661.00
<b>T O T A L</b>	<b>1,288,096.70</b>

## 9.2 COSTOS DE PRODUCCION

Los costos de producción son los que inciden directamente en la producción y son calculados sobre la base de un año de operación de la planta (63).

Los costos de producción se dividen en:

- a) Costos Primos: incluye mano de obra directa y materia prima e insumos.

b) Costos de Fabricación: involucra los gastos relacionados con la mano de obra indirecta, electricidad, agua, depreciación y mantenimiento.

La depreciación se calcula para el equipo del proceso y para el equipo de oficina, considerando una vida útil del proyecto de 8 años y que al final del período el equipo de proceso poseerá un valor equivalente al 20% del costo inicial y que para el equipo de oficina se considera un valor residual del 10%. Se hace uso del método de la línea recta para este cálculo.

c) Costos de Administración: incluye los gastos de comunicación y gastos por prestaciones de la ley a los empleados (calculados como un 16.18% del monto total de sueldos mensuales).

d) Costos Financieros: Es la amortiguación de la deuda contraída con el Sistema Financiero para el desarrollo del proyecto. Se calcula con la ecuación 9.1

$$R = \frac{A i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (9.1)$$

R = Pago anual para amortizar la deuda incluyendo los intereses

A = Monto adecuado

n = Período o plazo (años)

i = Tasa de interés.

TABLA 9.4: COSTOS DE PRODUCCION PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO

CONCEPTO	COSTO UNITARIO ¢	COSTO ANUAL ¢	COSTO TOTAL ¢
a)Costos Primos			3,768,600.80
-Mano de Obra directa 10 operarios	600.00	72,000.00	
-Materia Prima			
Bagazo TM	13.00	21,409.92	
Melaza TM	44.00	90,720.00	
Soya qq	115.00	1,956,150.00	
Maíz qq	55.00	561,330.00	
Sales			
Minerales qq	95.00	215,460.00	
Sal común qq	30.00	34,020.00	
Urea qq	390.00	442,260.00	
NaOH Kg	450.00	148,450.90	
Empaque c/u	2.00	226,800.00	
b)Costos de Fabricación			185,967.94
-Mano de obra directa			
1-Sec.Contador	900.00	10,800.00	
1-Gerente	2,000.00	24,000.00	
2-Vigilantes	700.00	16,800.00	
1-Técnico	1,000.00	12,000.00	
-Electricidad Kwh	0.379	75,097.00	
-Agua m <sup>3</sup>	0.53	1,121.00	
-Depreciación		32,517.69	
-Mantenimiento		14,747.25	
c)Costos de Admón. Comunicaciones Prestaciones	200.00	2,400.00 20,580.96	22,980.96
d)Costos Financieros			220,967.91
<b>T O T A L</b>			<b>4,198,511.60</b>

Para este proyecto se considera que el banco aportará el 60% de la inversión de capital (ver Tabla 9.3) a una tasa de Interés del 18 %, a 8 años plazo, de los cuales dos son de gracia.

### 9.3 DETERMINACION DEL COSTO UNITARIO DE PRODUCCION

Para determinar el costo unitario de producción(CUP), se utiliza la ecuación 9.2 (5):

$$\text{CUP} = \frac{\text{Costo total de Producción}}{\text{Producción Anual}} \quad (9.2)$$

Se conoce ya, que la planta producirá 420 qq/d de alimento animal, trabajando 270 días al año, es decir que la producción anual será de 113,400 qq al año, siendo el costo unitario de producción el siguiente:

$$\text{CUP} = \frac{\$ 4,198,511.60}{113,400 \text{ qq.}} = 37.03 \text{ ¢/qq}$$

### 9.4 DETERMINACION DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

Para determinar el precio de venta del alimento que se pretende producir, se hace uso de la ecuación 9.3 que establece el punto de equilibrio(PE), es decir el punto donde los ingresos son igual a los egresos.(5).

$$PE = \frac{\text{GASTOS FIJOS}}{\text{Precio Unitario de Venta} - \text{Costo Variable Unitario}} \quad \begin{array}{l} \text{(Unidades de} \\ \text{Producción)} \\ \text{(9.3)} \end{array}$$

Gastos Fijos: Son los gastos que tiene la empresa esté produciendo o no (sueldos, iluminación, agua, 50% de la depreciación, prestaciones y costos financieros).

$$PE = \frac{429,934.81}{X - 37.03}$$

$$X = \text{¢}40.80$$

Es decir que a ese precio se tiene una producción de 114,000 qq/año, siendo el punto donde la empresa no ganará ni perderá.

### 9.5 VALOR PRESENTE NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO

Los métodos que se utilizan para la evaluación financiera de un proyecto son: el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR). (75,79).

a) VPN: es el valor obtenido de la diferencia positiva o negativa entre los ingresos actualizados, utilizando una tasa de actualización.

La fórmula para calcular el VPN se presenta en la ecuación 9.4:

$$VPN = \frac{\sum (I - E)}{(1 + i)^n} \quad (9.4)$$

b) TIR: es aquella tasa que aplicada a la diferencia entre ingresos y gastos de cada período de la vida útil del proyecto, iguala a los valores actualizados (79). Para su cálculo se prepara un cuadro de corrientes de liquidez. Se utiliza una tasa de actualización estimada, para actualizar la corriente de liquidez neta al valor actual. La TIR se encontrará entre dos tasas de actualización que den el VPN uno positivo y el otro negativo. La fórmula de interpolación lineal para encontrar la TIR se presenta en la ecuación 9.5.

$$i_r = i_1 + \frac{VP (i_2 - i_1)}{VP + VN} \quad (9.5)$$

donde:  $i_r$  = es la TIR

$VP$  = VPN positivo a la tasa  $i_1$

$VN$  = VPN negativo a la tasa  $i_2$

Para el cálculo de VPN y TIR, se fija un precio de venta, que para este proyecto se sugiere que sea de \$ 43.50. Además se ha considerado que para el primer año los ingresos se producirán durante cuatro meses y los egresos para ese mismo período durante seis meses.

$$TIR = 60 + \frac{(90,797.52) (70 - 60)}{90,797.52 + 40,564.90}$$

$$TIR = 66.91\%$$

TABLA 9.5: VALOR PRESENTE NETO (VPN) Y LA TASA INTERNA DE DE RETORNO (TIR) PARA EL PROYECTO DE UNA PLANTA FORMULADORA DE ALIMENTO PARA GANADO BOVINO A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA HIDROLIZADO

AÑO	FLUJO NETO	FLUJO DESCONTADO (60%)	FLUJO DESCONTADO (70%)
0	- 515,238.68	- 515,238.60	- 515,238.68
1	- 345,032.30	- 215,645.18	- 202,960.17
2	954,235.40	372,748.20	330,185.26
3	733,267.40	179,020.36	149,250.43
4	733,267.40	111,887.72	87,794.37
5	733,267.40	69,929.83	51,643.75
6	733,267.40	43,706.14	30,378.68
7	733,267.40	27,316.34	17,869.81
8	733,267.40	17,072.71	10,511.65
VPN	4,493,568.80	90,797.52	- 40,564.90

Del valor de la TIR obtenida, se afirma que el proyecto a las condiciones planteadas es rentable, pues ésta es mayor que la TIR mínima aceptable (35%) (61).

El tiempo de recuperación de capital resulta de 3.7 años, siendo este lapso relativamente corto y menor que la vida económica del proyecto.

## CAPITULO X

### IMPACTO A NIVEL NACIONAL DEL APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA COMO ALIMENTO PARA GANADO BOVINO

Considerando que El Salvador, es un país con escaso territorio y alta densidad de población y catalogado como agroexportador, se hace necesario un adecuado manejo de las tecnologías relacionadas con esta área, así como también la utilización y optimización de sus recursos.

Cabe destacar que, uno de los objetivos de la producción de derivados de la agroindustria lo constituye, el garantizar una base alimenticia propia para la ganadería, así como el mejoramiento del nivel de vida de la población.

En el caso de la agroindustria azucarera, ésto constituiría, sin duda alguna, una contribución muy significativa para el desarrollo integral de ésta, así como también de la economía del país en general.

La utilización de uno de los subproductos del procesamiento de la caña de azúcar, como lo es el bagazo, vendría a aliviar el crítico y permanente problema de escasez de alimento ani-

mal, sobretodo en la zona oriental del país.

Por lo anterior, se propone la utilización de bagazo de caña para la formulación de raciones alimenticias para ganado bovino; este bagazo ha recibido tratamientos previos para aumentar la digestibilidad del mismo.

La producción de raciones alimenticias, utilizando bagazo hidrolizado como un rubro integrado a una central azucarera, vendría a proporcionar a dicha central, el aprovechamiento y optimización de sus subproductos. Sin embargo, en este estudio, se propone la instalación de la planta, independiente del Ingenio, dirigido a una cooperativa, proporcionando una tasa interna de retorno del 66.91%. Si dicha planta estuviera anexa a un ingenio azucarero, proveería una TIR mayor, ya que haría uso del terreno, servicios, personal administrativo, etc. de éste.

Tomando en cuenta que la producción de alimentos para animales, no tiene un mercado altamente especializado, ni de difícil penetración y si además consideramos que el proyecto está dirigido a una cooperativa, la instalación de una planta productora de alimento para animales, repercutiría a nivel nacional en las siguientes áreas:

- a) Económica: en esta área el impacto es mayor, ya que se está aprovechando un material, que presenta problemas de manejo y almacenamiento y con el cual se obtendría un producto de mayor valor económico.
- b) Social: en el aspecto social se puede decir que al lograr una mayor eficiencia alimenticia o sea una mayor producción de proteína animal para alimentación humana, se dispondría de una mayor oferta de carne, lo cual vendría a disminuir las fluctuaciones en el precio de ésta.
- Otro factor importante en el aspecto social, es que habrá generación de empleos en la zona.
- c) Tecnológico: por ser éste un proyecto pionero (la hidrólisis del bagazo), se estarían introduciendo nuevas tecnologías, las cuales, adecuándolas a las condiciones del país (bajo costo y simples) podrían ser utilizadas para promover la transformación de subproductos, no sólo de la agroindustria azucarera, sino también de otras agroindustrias, en materiales o productos que beneficien directa o indirectamente a la población.
- d) Ambiental: Se puede decir que la utilización de vapor o de productos químicos en el proceso hidrolítico, no cau-

san un efecto ambiental negativo, ya que estos últimos (productos químicos) son utilizados en bajas concentraciones.

Del estudio de mercado se observa, que al proyectar datos de excedentes de bagazo, se obtuvo una tendencia optimista que considera que los excedentes de bagazo serán aproximadamente de 100,000 TM anuales y tomando en cuenta, que una ración alimenticia para ganado utilizando bagazo hidrolizado, podría estar constituido hasta por 32% de bagazo, se puede diseñar una planta con una capacidad de producción de 312,500 TM anuales, utilizando todo el excedente nacional.

Actualmente, se considera que se tiene una demanda potencial de alimento para ganado de 896,339.80 TM, la cual es cubierta en una mínima parte por la actual producción nacional que es de 11,363 TM/anuales (250,000 qq/anuales), la cual ha permanecido cercana a este valor, en los últimos años.

El impacto a nivel nacional del aprovechamiento potencial de bagazo de caña hidrolizado, de acuerdo a la demanda actual y proyectado de alimento para ganado bovino, radica en cubrir un 34.86% de la demanda insatisfecha para el próximo decenio, si se utiliza todo el excedente nacional.

Sin embargo en este proyecto piloto, se utilizará el 10% del excedente del Ingenio Jiboa y luego a través de un proceso gradual, establecer el mercado y los procesos óptimos de producción y así implementar una planta utilizando los excedentes de bagazo del ingenio.

Con la utilización de este 10% de excedentes de un ingenio, se cubre alrededor del 1% de la demanda insatisfecha. Con este proyecto se espera producir 5,670 TM/anuales (113,400 qq/anuales) de alimento para bovinos, lo que representa el 45.36% de lo que producen en conjunto las 5 empresas productoras de alimento para ganado existentes actualmente en el país.

## CONCLUSIONES

1. Las fluctuaciones en el precio del azúcar en el mercado internacional, hacen necesario buscar la diversificación del uso de los subproductos de la caña.
2. De la historia y situación actual en cuanto a caña molida, se espera un aumento en la producción de bagazo para el próximo decenio que es equivalente a 100,000 TM/año.
3. El método de almacenamiento del bagazo de caña, más sencillo y conveniente, parece ser a granel, protegiéndolo de la radiación solar, las precipitaciones pluviales, controlando la ventilación y manteniendo baja la humedad ambiental.
4. Los datos proyectados de demanda de alimento para ganado bovino, tienden a disminuir, ya que se obtuvo una ecuación cuya pendiente es negativa, ésto permite considerar que la demanda de éste permanecerá constante en los próximos diez años.
5. Se recomienda la concentración media ensayada (4%, base seca) ya que al analizar matemáticamente el gráfico del

% de contenido celular vrs % de NaOH (figura 5.2, Capítulo V), se encuentra que a este nivel para un mismo incremento de concentración, el aumento del contenido celular es máximo para el 4%.

6. Del análisis estadístico se concluye que el tiempo de contacto adecuado entre el NaOH y el bagazo de caña, es de 24 horas, ya que al triplicar este tiempo, se obtiene que no existe una diferencia estadística significativa en ninguno de los parámetros evaluados.
7. El contenido de sodio en las muestras para los niveles ensayados de Hidróxido de Sodio, es inferior a la cantidad diaria máxima tolerada por los bovinos (5.75 g de Na/100 g MS) (25).
8. Para la vía química, un análisis químico proximal no resulta adecuado para medir el efecto hidrolítico sobre el bagazo de caña, para ello debe hacerse el análisis fibra neutro detergente, que cuantifica la disminución de la fibra y a partir del cual se determina el contenido celular, que es la variable tomada para controlar grado de avance de la hidrólisis a nivel de laboratorio.

9. Existe actualmente una demanda insatisfecha de 872,135 TM anuales de alimentos para animales ya que la oferta actual de concentrados, cubre únicamente el 1.28 % de la demanda nacional.
10. En cuanto a la disponibilidad de bagazo para el próximo decenio, del estudio de mercado se concluye que se tendrán suficientes excedentes de bagazo destinados a la alimentación animal, sin ocasionar detrimento a los actuales proyectos de cogeneración de energía eléctrica para la red pública.
11. Al cambiar de escala de trabajo, la hidrólisis se mantiene en el mismo grado de avance, por lo que se puede asegurar que el equipo que se utilizó para la mezcla bagazo-reactivo, es adecuado para tal fin.
12. Se encontró una preferencia por raciones con bagazo hidrolizado sobre otras sin hidrolizar en razas que son exigentes en la aceptabilidad de raciones (Holstein, Brown Swiss).
13. El contenido celular de la ración hidrolizada aumentó 19.92% respecto a la ración patrón, lo que conlleva a un aumento en la cantidad de carbohidratos disponibles pa-

ra el animal.

14. Siendo la TIR encontrada de 66.91 % y la TIR mínima aceptable es de 35%, el proyecto a las condiciones planteadas, resulta rentable.
15. Los precios de venta de las raciones de mantenimiento existentes en el mercado, actualmente oscilan entre 34 y 43.85 colones/qq, lo que vuelve competitivo el producto formulado, ya que se propone un precio de venta de ¢ 43.50 por qq.
16. Al considerar economía de escala para los precios de las materias primas que forman parte de la ración, se obtendrían precios menores, lo que conlleva a una disminución en el costo de producción del producto.
17. El tiempo de recuperación de capital es de 3.7 años, siendo favorable, ya que es menor que la vida económica del proyecto.
18. Del análisis del VPN se obtiene que las ganancias brutas a partir del segundo año de producción, tienen un valor de ¢ 733,267.40 aproximadamente.

19. Con este proyecto se espera producir 113,400 qq/año de alimento para bovinos, que aumentaría en un 45.36% la oferta actual.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar experimentalmente la autohidrólisis del bagazo de caña (donde se usa vapor altamente presurizado) ya que la literatura reporta que una ración de alimento puede contener hasta un 60% de este tipo de bagazo, superando en un 28% a la ración propuesta.
- Se recomienda investigación más profunda respecto a las condiciones de almacenamiento del bagazo de caña durante la hidrólisis (intemperie, para comprobar si la vida útil del producto se prolonga o no).
- En cuanto al bagazo hidrolizado y a la ración formulada, se recomienda hacer análisis microbiológicos durante el almacenaje, a fin de determinar la vida útil del producto.
- Con la ración formulada, es conveniente seguir ensayando con animales a fin de determinar si la ración únicamente es de mantenimiento o le proporciona alguna ganancia de peso, pues teóricamente el bagazo hidrolizado utilizando NaOH, debería de aumentar la digestibilidad de éste, proporcionándole peso al animal.

- Aunque en este ensayo no se redujo de tamaño el bagazo por no contar con la disponibilidad de un molino, se recomienda hacerlo, ya que al ensayar con los animales, se pudo observar que el rechazo estaba compuesto de las partes leñosas de la ración y sugiere que la etapa de picado, se lleve a cabo antes de hidrolizar el material y así evitar problemas de corrosión en el molino.

## G L O S A R I O

**AUTOHIDROLISIS:** rompimiento de las estructuras lignocelulósicas por efecto del vapor y con formación de ácidos.

**BAGACILLO:** producto obtenido del proceso de desmedulado del bagazo.

**BAGAZO:** producto remanente de la molienda de la caña de azúcar luego que se le ha extraído del jugo. Se compone de tres partes: bagazo, bagacillo y médula.

**BAGAZO IN NATURA:** es el que se obtiene del último molino de proceso azucarero.

**CONCENTRADO:** alimento con alto contenido de proteínas, que se utiliza para producción animal (aumento de peso o producción de leche). En el país este nombre se aplica a cualquier tipo de mezcla alimenticia comercial.

**CONFINAMIENTO:** régimen de alimentación donde se limita al animal a ingerir cierto tipo de alimento, el cual le debe proporcionar los nutrimentos requeridos para su propósito.

**DIGESTIBILIDAD:** se refiere a la cantidad de carbohidratos que han sido realmente asimilados del total ingerido, sin tomar en cuenta los que han sido excretados.

**ESQUILMO:** fruto que se saca de la tierra. Cosecha.

**EXCEDENTE DE BAGAZO DE CAÑA:** cantidad de bagazo de caña producida en el ingenio que no es utilizado en el proceso de producción de azúcar.

**EXTRACTO ETereo:** conjunto de sustancias extraídas con éter - etílico, incluye además de los ésteres de los ácidos grasos, a los fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ácidos grasos libres, etc.

**FIBRA BRUTA:** sustancias vegetales insolubles, nutritivamente inútiles y no digeribles por enzimas.

**HIDROLISIS ACIDA:** sinónimo de autohidrólisis.

**NUTRIMENTO:** sustancia de los alimentos capaz de ocasionar un aumento de energía o una ganancia de peso en un ser vivo.

**PALATABLE:** agradable al gusto.

**RACION DE MANTENIMIENTO:** dieta suministrada para mantener el peso del animal, no para producción.

**RESIDUOS DE CAÑA:** compuestos por cogollos, pajas y hojas secas, que se obtienen durante la corta.

**SALES MINERALES:** nombre con que se conocen las mezclas de minerales que se comercializan comúnmente. Pueden contener Ca, P, Mg, Az, Co e I. Su precio varía de acuerdo al origen del elemento Ca; el de origen animal es más efectivo.

## REFERENCIAS

1. Acavisa, Sistemas de Manejo y Almacenamiento de granos San Salvador, El Salvador, Marzo (1992).
2. Agroservicio Granada, Distribuidor de Materias Primas para la Elaboración de Concentrados para Animales, San Salvador, El Salvador, Marzo (1992).
3. Agrosol, Distribuidor de Materias Primas para la Elaboración de Concentrados para Animales, San Salvador El Salvador, Marzo (1992).
4. Badger, W. y Banchemo, J., "INTRODUCCION A LA INGENIERIA QUIMICA", Segunda Edición, Editorial Mc Graw Hill, México (1986).
5. Banco Central de Reserva de El Salvador, "GUIA PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS DE INVERSION", San Salvador, (1988).
6. Brasil Acucareiro, "ALMACENAMIENTO A GRANEL DE BAGAZO DE CAÑA MOJADO", Instituto de Acucar e do Alcohol, No.2, Brasil, Febrero (1975).
7. Buchanan, J.G., et al, "EFFECTS OF SODIUM HIDROXIDE TREATED DIET BODY FLUIDS PARAMETERS", J. Anim. Sc, Vol. 35:226, Estados Unidos (1972).
8. Caldema, Equipamentos Industriais, Ltda., "PRENSA ENFARDADEIRA CONTINUA", Catálogo, Sertaozinho, Brasil (1990).
9. Caldema, Equipamentos Industriais, Ltda., "USO DEL BAGAZO DE CAÑA PARA ALIMENTACION DE BOVINOS", Sertaozinho, Brasil (1990).
10. Cantner, E.W., "UTILITATION OF AGRICULTURAL WASTE PRODUCTS IN ANIMAL NUTRITION", Anim. Research and Development, Vol. 26:56, Alemania (1987).
11. Carranza, M., Superintendente del Ingenio La Magdalena Santa Ana, El Salvador, Abril (1991).
12. Compañía de Desarrollo Tecnológico (CODETEC), "BAGAZO DE CAÑA PARA ALIMENTO ANIMAL", Brasil (sin fecha de publicación).

13. Cornejo M., A, et al, "PRODUCCION E INDUSTRIALIZACION DE LA SEMILLA DE AJONJOLI, (Sesamum indicum)", Trabajo de Graduación para optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1988).
14. Criaco, "BAGACO DE CANA COZIDO E BOM ALIMENTO PARA BOVINOS" Sao Paulo, Brasil, Mayo, (1985).
15. Dalton y Co., F.A., Distribuidor de Básculas, San Salvador, El Salvador, Marzo, (1992).
16. De la Torre, M., "LA UTILIZACION DE LOS RECURSOS CELULOSICOS EN LA ALIMENTACION ANIMAL", Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México, (1985).
17. De Toro y G., M, "DICCIONARIO PEQUEÑO LAROUSE ILUSTRADO", Editorial Larousse, Buenos Aires, Argentina, (1964).
18. Entrevista Personal con el Ingeniero José Castillo González, Planta Formuladora de la Escuela Nacional de Agricultura "Roberto Quiñón" (ENA), La Libertad, El Salvador, Febrero, (1991).
19. Entrevista Personal con el Doctor Francisco Castillo, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, Julio, (1991).
20. Entrevista Personal con la Ingeniero Ana María González Trabanino, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, Febrero, (1992).
21. Entrevista Personal con la Ingeniero Delmy del Carmen Rico Peña, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, Junio, (1991).
22. Entrevista Personal con el Ingeniero Juan Ernesto Serméño, Centro de Desarrollo Ganadero (CEGA), Sonsonate, El Salvador, Julio, (1991).
23. Entrevista Personal con el Ingeniero Carlos Hernández, Banco de Datos de la Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA), San Salvador, El Salvador, Junio, (1991).

24. Entrevista Personal con el Licenciado Carlos Romero, Oficinas Administrativas del Ingenio Central Azucarero Jiboa, San Salvador, El Salvador, Junio, (1991).
25. Esminger, M.E., "MANUAL DEL GANADERO", Cuarta Edición, Centro Regional de Ayuda Técnica, Buenos Aires, Argentina, (1973).
26. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "LA CAÑA DE AZUCAR COMO PIENSO", Producción y Sanidad Animal 72, Santo Domingo, República Dominicana, Julio, (1986).
27. Geplacea - INAZUCAR - PNUD, "USO ALTERNATIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR PARA ENERGIA Y ALIMENTO", Seminario Internacional, República Dominicana, (1987).
28. Geplacea, "RESULTADOS DE UN PROYECTO DE INVESTIGACION A NIVEL PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCION DE BAGAZO PARA ALIMENTO ANIMAL", Boletín, Vol. VII, No.12, Diciembre, (1990).
29. Geplacea, "UTILIZACION DE LA CAÑA DE AZUCAR, SUBPRODUCTOS Y DERIVADOS EN LA ALIMENTACION ANIMAL", Boletín, Vol. VII No. 7, Julio, (1990).
30. Gleaves, O. G. y D. M. Pérez, "EFECTO DE LA ADICION DE NaOH SOBRE LA COMPOSICION FISICO-QUIMICA DE MICROENSILAJES DE CAÑA", Técnica Pecuaria No.31, Julio-Diciembre, (1981).
31. Gleaves, G. y D. M. Pérez, "UTILIZACION DE ENSILAJE DE CAÑA DE AZUCAR CON Y SIN ADICION DE NaOH COMO UNICO FORRAJE PARA VACAS LECHERAS EN EL TROPICO", Técnica Pecuaria, No.41, Julio-Diciembre, (1981).
32. González, A. M., "APROVEITAMIENTO ENERGETICO DA AGROINDUSTRIA DA CANA DE ACUCAR PARA GERACAO DA EXCEDENTES DA ELECTRICIDADE NA REDE PUBLICA DE EL SALVADOR", Trabajo de Graduación para optar al título de Master en Energía, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil, (1990).
33. González, A. M., "TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS DE OBTENCION DE ENERGIA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES PROPIAS (Bagazo de Caña, Estufas Lorena)", Gerencia de Tecnice, Santa Tecla, El Salvador, (1991).

34. González, C., Instrumentista del Ingenio El Carmen, Sonsonate, El Salvador, Octubre, (1991).
35. Guandique G., R. N., et al, "EVALUACION Y PERSPECTIVA - DE EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA AZUCARERA EN EL SALVADOR", Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad Centro Americana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador, (1985).
36. Harris, L.E., "COMPILACION DE DATOS ANALITICOS Y BIOLÓGICOS EN LA PREPARACION DE CUADROS PARA ALIMENTOS USO EN LOS TROPICOS DE AMERICA LATINA", Centro para la Agricultura Tropical, Universidad de Florida, Marzo, (1970).
37. Honing, P., "PRINCIPIOS DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA", Primera Edición, Editorial Continental, México, (1969).
38. Hughes, M. y G. Peralta, "OBSERVACIONES SOBRE LOS EFECTOS DEL NaOH, NH<sub>3</sub> Y UREA, SOBRE ENSILAJES DE CAÑA Y TALLO PENSADO", Producción Animal Tropical, Vol.6, No. 1:297, (1981).
39. Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial (ICAITI), "DEGRADACION DE CELULOSA POR METODOS FISICOS, QUIMICOS Y BIOLÓGICOS", Memorias del Simposio de Biotecnología para Producción de Biomasa y Tratamiento de Desperdicios, Antigua Guatemala, Guatemala, (sin fecha de publicación).
40. Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial (ICAITI), "METODOS DE PREDIGESTION PARA MATERIALES LIGNOCELULOSICOS", Guatemala, (1987).
41. Instituto Salvadoreño de Fomento Industrial (INSAFI), - "PROYECTO PARA LA ELABORACION DE CONCENTRADOS PARA GANADO VACUNO", San Salvador, El Salvador, Julio, (1981).
42. Instituto Salvadoreño de Fomento Industrial (INSAFI), - "FABRICACION DE MADERA LAMINADA DE BAGAZO DE CAÑA PARA PAREDES", San Salvador, El Salvador, (1967).
43. Instituto Salvadoreño de Fomento Industrial (INSAFI), - "COMPLEJO AGROINDUSTRIAL PROCESADOR DE AZUCAR", Junio, (1978).

44. Instituto Salvadoreño de Fomento Industrial (INSAFI), - "PAPEL EMPLEANDO BAGAZO", San Salvador, El Salvador, (1963).
45. Instituto Nacional del Azúcar (INAZUCAR), Departamento de Coordinación General, San Salvador, El Salvador Julio, (1991).
46. Inter American of Agriculture Science of the OAS Tropical Training and Research Center, Turrialba, Costa Rica, (sin fecha de publicación).
47. Iraheta, G.N., "APUNTES DE LA CATEDRA OPERACION DE PLANTAS", Ciclo I 87/88, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1987).
48. Kirk, R.E. y D. F. Othmer, "ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA", Primera Edición, Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana (UTEHA), México, (1961).
49. La Sultana, Fabricantes de Alimentos para Animales, San Salvador, El Salvador, Marzo, (1992).
50. Len, N. y T.R. Preston, "CAÑA DE AZUCAR PARA LA PRODUCCION BOVINA: LIMITACIONES ACTUALES, PERSPECTIVAS Y PRIORIDADES PARA LA INVESTIGACION", Revista Producción Animal Tropical, Vol. 1:1, México, (1976).
51. Little M., T. y F. Jackson H., "METODOS ESTADISTICOS PARA LA INVESTIGACION EN LA AGRICULTURA", Primera Edición en Español, Editorial Trillas, México (1976).
52. Maynard, L.A., "NUTRICION ANIMAL", Tercera Edición, Editorial McGraw Hill, México, (1975).
53. Memorias del Seminario Taller de Sistemas Intensivos - para la Producción Animal y de Energía Renovable con Recursos Tropicales, Cali, Colombia, Julio, (1988).
54. Menke, K. H. y H. Steingass, "ESTIMATION OF THE ENERGETIC FEED VALUE OBTAINED FROM CHEMICAL ANALYSIS AND IN VITRO GAS PRODUCTION USING RUMEN FLUID", Anim. Research and Development, Vol. 28:7, Alemania (1988).

55. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Economía Agropecuaria, "ANUARIO DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS", Edición 28, El Salvador, (1988-1989).
56. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Economía Agropecuaria, Revista Semestral de Economía Agropecuaria, El Salvador, Julio-Diciembre (1989).
57. Ministerio de Economía "MEMORIA", San Salvador, El Salvador, (1989-1990).
58. Moore Comercial, Fabricante de Alimento para Animales, San Salvador, El Salvador, Marzo, (1992).
59. Mulato, J., Departamento de Inscripción de Productos para Alimentación Animal, Dirección General de Defensa Agropecuaria, San Salvador, El Salvador, Marzo, (1992).
60. National Academy of Sciences Washington, "NECESIDADES - NUTRITIVAS DEL GANADO VACUNO", Primera Edición, Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina, (1973).
61. Ochoa, C.R., "APUNTES DE LA CATEDRA DE DISEÑO DE PLANTAS QUIMICAS", Ciclo II 88/89, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1988).
62. Ololade, B.G., et al, "SODIUM HYDROXIDE TREATED DIET AND BODY FLUIDS PARAMETERS", J. Anim Science, Vol. 35: 343, Estados Unidos, (1986).
63. Organización de las Naciones Unidas (ONU), "MANUAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO ECONOMICO", México, (sin fecha de publicación).
64. Ovando, M.A.; I.A. Olivares; J.A. Sermeño, "BAGAZO DE CAÑA TRATADO CON NaOH EN LA ALIMENTACION DE NOVILLAS HOLSTEIN", Izalco, El Salvador, XXXVI Reunión Anual PCCMCA, (1990).
65. Perry, R.H. y C.H. Chilton, "MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO", Segunda Edición en español, Editorial Mc Graw Hill, México, (1986).
66. Preston, T.R., "PRODUCCION INTENSIVA DE CARNE", Primera Edición, Editorial Drama, México, (1973).

67. Rico, D.C., "LOS CARBOHIDRATOS", Guión Nº 14 de la Cátedra de Química de Alimentos, Ciclo I 90/91, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1990).
68. Rico, D.C., "APUNTES DE LA CATEDRA OPERACIONES UNITARIAS IV", Ciclo I 89/90, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1989).
69. Rodríguez, M., Ingenio El Angel, Apopa, El Salvador, Abril, (1991).
70. Sánchez, E.J., "CAMBIOS EN LA COMPOSICION QUIMICA Y DIGESTIBILIDAD DE FORRAJES DE BAJA CALIDAD NUTRITIVA MEDIANTE EL USO DE DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS", Técnica Pecuaria Nº.31, México, Julio-Diciembre, (1976).
71. Sarmiento, R.G. y H. M. Figueroa, "OPTIMIZACION DEL USO DE BAGAZO DE CAÑA EN CALDERAS DE INGENIOS AZUCAREROS", Trabajo de Graduación para optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1983).
72. Segura, V.M. y F. Rivera, "DISEÑO EXPERIMENTAL APLICADO A INGENIERIA QUIMICA Y ALIMENTOS", Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, Septiembre, (1986).
73. Sello de Oro, Fabricante de Alimento para Animales, La Libertad, El Salvador, Marzo, (1992).
74. Shultz, E., et al, "PRESSURE COOKED UREA - CASSANOVA MEAL FOR LAMBS CONSUMING LOW QUALITY HAY", J. Anim. Science, Vol. 35:865, Estados Unidos, (1972).
75. Sorto, J.M., "APUNTES SOBRE FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS", San Salvador, Agosto, (1985).
76. Talleres Agrícolas Fastabend, Distribuidor de Equipo Industrial, San Salvador, El Salvador, Marzo, (1992).
77. Técnico Mercantil (TEMSA), Distribuidor de Equipo Industrial, San Salvador, El Salvador, Marzo, (1992).

78. Valencia, J., et al, "APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DEL JACINTO ACUÁTICO (Eichornia crassipes) PARA PULPA DE PAPEL", Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1982).
79. Vanegas, J., "APUNTES DE LA CATEDRA DE INGENIERIA ECONOMICA", Ciclo I 89/90, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, (1989).
80. Van Soest, P. J., "DEVELOPMENT OF A COMPREHENSIVE SYSTEM OF FEED ANALYSES AND ITS APPLICATION TO FORAGES", J. Anim. Science, Vol. 26:119, Estados Unidos, (1967).
81. Vilbrandt, F.C. y C. Dryden, "INGENIERIA QUIMICA DEL DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIALES", Primera Edición, en Español, Editorial Grijalbo, México, (1963).

# APENDICES

12

11

**APENDICE A**

**TABLA A.1: COMPOSICION ESENCIAL DE LOS CONSTITUYENTES ORGANICOS COMPLEJOS DE ALTO PESO MOLECULAR DE LA FIBRA CRUDA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR**

CONSTITUYENTE	UNIDAD ESTRUCTURAL PRINCIPAL MONOMERO COMPONENTE DEL POLIMERO	GRADO DE POLIMERIZACION
Celulosa	B-D Glucopiranososa (glucosa) es eslabonamiento 1 - 4 piranosido.	1000 - 3000
Hemicelulosa	B-D Xilopiranososa (xilosa) es eslabonamiento 1 - 4 piranosido.	400 - 500
Lignina	1 - (3-metoxi, 4-hidrofénil)-ceto-propanol-1 en condensación de furano	No se ha determinado con precisión. Probablemente 10 - 50.

FUENTE: (37).

## APENDICE B

### PREPARACION DE SOLUCIONES DE NaOH A DIFERENTES CONCENTRACIONES

- a) Agua necesaria para disolver el químico, llevando la humedad del bagezo de un 11% hasta una humedad propuesta.

BALANCE TOTAL DE MATERIA:

$$M \text{ total} = M \text{ agua} + M \text{ bagazo} \quad (1)$$

BALANCE DE COMPONENTE (agua):

$$M \text{ total} \times X \text{ agua} = M \text{ agua} \times X \text{ agua} + M \text{ bagazo} \times X \text{ agua} \quad (2)$$

$$\text{pero } M \text{ agua} \times X \text{ agua} = 1 \quad y$$

$$M \text{ bagazo} \times X \text{ agua} = 0$$

Sustituyendo  $M \text{ total}$  de (2) en (1), se tiene

$$\frac{M \text{ agua}}{X \text{ agua}} = M \text{ agua} + M \text{ bagazo}$$

Despejando obtenemos:

$$M \text{ agua} = \frac{X \text{ agua} \cdot M \text{ bagazo}}{(1 - X \text{ agua})} \quad (3)$$

Con la ecuación (3) se obtiene la masa de agua del bagezo de caña cuando su humedad es de 11% y la masa de agua, cuando llevamos su humedad al 42%, conociendo por diferencia de masas la cantidad de agua en la que se -

podrá disolver la masa del químico.

Al 11% de humedad y tomádo una masa de bagazo de 0.9 Kg (2 lb), se tiene:

$$M \text{ agua} = \frac{0.11 \times 2 \text{ lb}}{1 - 0.11} + 0.247191 \text{ lb H}_2\text{O}$$

$$V_1 \text{ agua} = 0.217191 \text{ lb agua} \times \frac{1 \text{ cm}}{0.95 \text{ g}} \times \frac{456.0 \text{ g}}{1 \text{ lb}} = 118.65 \text{ ml}$$

Para 42% se tiene:

$$M \text{ agua} = \frac{0.42 \times 2 \text{ lb}}{1 - 0.42} = 1.4483 \text{ lb H}_2\text{O}$$

$$V_2 \text{ agua} = 1.4483 \text{ lb H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ cm}}{0.95 \text{ g}} \times \frac{456.0 \text{ g}}{1 \text{ lb}} = 695.18 \text{ ml}$$

Volumen de agua necesaria para elevar la humedad al 42%:

$$V \text{ agua} = V_2 \text{ agua} - V_1 \text{ agua}$$

$$V \text{ agua} = 695.18 - 118.65 = 570 \text{ ml.}$$

b) Masa del químico a disolver en volumen de agua calculado para preparar soluciones de NaOH al 2, 4 y 6% (base seca) - al 2% (masa químico/masa de materia seca)

$$\begin{aligned} \text{g de NaOH} &= \frac{2 \text{ lb de NaOH}}{100 \text{ lb de ms}} \times 2 \text{ lb de bagazo} \times \frac{0.89 \text{ lb ms}}{1 \text{ lb de bagazo}} \\ &= 0.0356 \text{ lb de NaOH} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2.2 \text{ lb}} = 1.62 \times 10^{-2} \text{ Kg} \\ &= 16.18 \text{ g NaOH} \end{aligned}$$

De igual forma

$$\text{Para 4\%} \quad 3.2467 \times 10^{-2} \text{ Kg} = 32.46 \text{ g}$$

$$\text{Para 6\%} \quad 4.87 \times 10^{-2} \text{ Kg} = 48.7 \text{ g}$$

APENDICE C  
ANALISIS DE LABORATORIO

- C.1 : Determinación de Humedad
- C.2 : Determinación de Cenizas
- C.3 : Determinación de Extracto Etéreo (Grasa)
- C.4 : Determinación de Fibra Cruda
- C.5 : Extracto no Nitrogenado
- C.6 : Determinación de Nitrógeno y Proteína cruda
- C.7 : Determinación de Elementos como Calcio,  
Potasio, Sodio y Fósforo
- C.8 : Determinación de Fibra Neutro Detergente o  
Pared Celular
- C.9 : Determinación de pH y Grados Brix

### C.1 DETERMINACION DE HUMEDAD

Es la primera determinación que se lleva a cabo, tratando de verificarla lo más pronto posible, para impedir que la humedad ambiental influya en la exactitud del resultado. Posteriormente la muestra se someterá a secamiento, donde la humedad de la muestra se pierde por volatilización a causa del calor. Todas las demás determinaciones deberán ser efectuadas a muestras secas (36,46).

#### PROCEDIMIENTO

1. Colocar cierta cantidad de muestra, tomada del centro de la muestra total, en botes de vidrio totalmente limpios y secos. Tapar los botes para que conserven su humedad original.
2. Secar cápsulas de aluminio en la estufa, a temperatura de 130°C por espacio de 1  $\frac{1}{2}$  horas, posteriormente, dejarlas en el desecador por unos 20 minutos. Pesar las cápsulas al transcurrir este tiempo.
3. Colocar una cantidad de la muestra que se encuentra en los botes de vidrio, en las cápsulas de aluminio y pesarlás nuevamente.

4. Colocar las cápsulas con la muestra sin tapar dentro de la estufa a 75°C durante 5 horas. Colocarlas en el desecador después de este tiempo y esperar media hora para pesarlas nuevamente.
5. Calcular el porcentaje de humedad de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso} \times 100}{\text{Peso de muestra}}$$

Para los análisis restantes es necesario tener la muestra molida y libre de humedad. Para ello se revuelve bien la muestra y se extiende en una bandeja una porción representativa (aproximadamente la mitad de la muestra total) y se procede al cuarteo. La muestra se coloca en platos de porcelana (3 platos por muestra). Se someten a aireación a temperatura de 75°C (para no degradar las proteínas) hasta total sequedad, es decir, por aproximadamente 24 horas.

Una vez seca la muestra, se muele y se hace pasar por un tamiz 20, colocándola en frascos de vidrio completamente limpios, secos y previamente identificados.

## C.2 DETERMINACION DE CENIZAS

La muestra se incinera a 550°C por 5 horas, para quemar todo el material orgánico. El material inorgánico que no se destruye a esta temperatura se le llama ceniza (36,46).

### PROCEDIMIENTO

1. Colocar los crisoles dentro de la estufa a 75°C por 20 minutos aproximadamente, pasarlos al desecador y esperar otros 20 min a que se enfríen, para luego pesarlos.
2. Adicionar 1 g de muestra sólida y colocarlos en la mufla a 550°C por 5 horas (a la mufla se le va incrementando 50° en 50°C).
3. Transcurridas las 5 horas apagar la mufla y abrirla un poco para que enfríe lentamente (2 horas aproximadamente).
4. Introducir los crisoles en un desecador para que el enfriamiento sea total. Posteriormente pesar.
5. Hacer el cálculo del porcentaje de cenizas, sabiendo que el peso del crisol después de la calcinación menos el peso del crisol vacío da el contenido de cenizas.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso de ceniza} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

### C.3 DETERMINACION DE EXTRACTO ETereo (GRASAS)

El principio se basa en el hecho de que las grasas son insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos no polares, tal como el éter dietílico. El éter al evaporarse y condensarse continuamente, y al pasar a través de la muestra, extrae al material soluble, es decir la posición grasosa de la muestra (36,46).

#### PROCEDIMIENTO

1. Colocar los balones de 250 ml en la estufa a 75°C por 20 minutos aproximadamente. Esperar que se enfríe en el desecador y pesar.
2. Pesar 4 g de muestra en una navecilla previamente tarada, e introducir ésta en un dedal de celulosa completamente limpio, tapándolo con un algodón bien apelmazado.
3. Los dedales se colocan en el soxlet, añadiéndole 200 ml de éter de petróleo a los balones y se dejan 8 horas en extracción a partir de la ebullición completa.
4. Transcurridas las 8 horas, sacar los dedales y recuperar el solvente por evaporación-condensación, por 2 horas aproximadamente o hasta casi sequedad. Los dedales se se-

- can a 75°C por 30 min.
5. Después de recuperado el solvente se colocan los balones en la estufa a 75°C, para evaporar el resto del solvente; dejarlos por 8 horas.
  6. Pasar los balones a un desecador y esperar a que enfrién a la temperatura del laboratorio para pesarlos nuevamente. La diferencia de peso entre los balones vacíos y después de evaporar el solvente es de grasa.
  7. Calcular el porcentaje de grasa de la siguiente forma:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{\text{Peso de grasa en balón} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

#### C.4 DETERMINACION DE FIBRA CRUDA

La fibra de los alimentos está integrada por la celulosa y otros hidratos de carbono que son insolubles en los ácidos débiles y en los álcalis débiles (36,46).

Para su determinación es necesario que la muestra esté libre de humedad y de grasa, para posteriormente someterla a una digestión con una solución débil de ácido fuerte y luego con una solución débil de base fuerte.

##### PROCEDIMIENTO

1. Quitar la grasa a las muestras (ver numeral 8.3).
2. Pesar 2 g de esta muestra y agregar 0.5 g de asbesto.
3. En unos vasos Berzelius colocar 200 ml de  $H_2SO_4$  0.255 N a ebulir por 30 min.
4. Agregar la muestra más el asbesto al ácido en ebullición y dejarlos por  $\frac{1}{2}$  hora para que se de la digestión.
5. Filtrar inmediatamente a través de una tela especial (Tela de lino con aproximadamente 20 hilos por centímetro o tela filtrar número 40).
6. Lavar con suficiente agua caliente para eliminar todo el resto del ácido. De preferencia el agua de lavado debe ser destilada.

7. El residuo se digiere nuevamente con NaOH 0.312 N, que está en ebullición, por espacio de  $\frac{1}{4}$  hora.
8. Filtrar nuevamente y lavar con abundante agua caliente para eliminar todo el resto de soda.
9. Pasar el residuo a un filtro Gooch previamente tarado y filtrar.
10. Poner el Gooch con la muestra en la estufa por 4 horas a 75°C.
11. Pasar los filtros a un desecador y al enfriarse pesarlos nuevamente.
12. Calcinar en la muflla a 550°C por 3 horas.
13. Abrir la muflla para que empiece a enfriar. Luego de 2 horas aproximadamente, pasar los filtros a un desecador y posteriormente pesar de nuevo.
14. Calcular el porcentaje de fibra de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra} = \frac{\text{Pérdida de peso por incineración} \times 100}{\text{Pérdida de la muestra antes del secado y de extracción con éter.}}$$

### C.5 EXTRACTO NO NITROGENADO

Está constituido por los carbohidratos más solubles y por tanto de mayor valor, como los azúcares, las hemicelulosas y algunas partes más solubles de la celulosa (36,46).

Desgraciadamente, se incluyen en el extracto no nitrogenado cantidades mayores o menores de lignina, que tienen muy poco valor alimenticio.

El porcentaje de extracto libre de nitrógeno (suele llamarsele ELN), se calcula por diferencia y no por determinación directa. Para ello se suman los porcentajes de agua, cenizas, proteínas, fibra y grasas, restando su suma a 100%.

El extracto libre de nitrógeno es necesario para realizar el cálculo del total de nutrientes digestibles (TND), que es una medida relativa de la energía digestible contenida en los alimentos.

CALCULO:

$$\%ELN = 100 - (\%ceniza + \%fibra\ cruda + \%extracto\ etéreo + \%proteína).$$

## C.6 DETERMINACION DE NITROGENO Y PROTEINA CRUDA

La proteína cruda agrupa a proteínas y compuestos nitrogenados no proteicos (36,46).

El principio se basa en que el nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman a sulfato de amonio por medio de la digestión con ácido sulfúrico en ebullición. Después de determinar el porcentaje de nitrógeno, basta con multiplicar el resultado por 6.25 para obtener el porcentaje de proteínas, puesto que, por término medio, las proteínas contienen 16% de nitrógeno.

### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 0.1 g de muestra en una navecilla alargada, previamente tarada y depositarla en un balón micro Kjeldalh de 30 ml.
2. Agregarle 0.1 g de catalizador (KEL-PAK) y 2 ml de  $H_2SO_4$ , rotar el balón de manera que halla una mezcla uniforme. El ácido sulfúrico debe ser concentrado (95 - 97%).
3. Poner a destruir la muestra por espacio de unas 2 o 3 horas, colocando los balones en los calentadores del aparato Kjeldhal y ponerlos a funcionar simultáneamente con el extractor de aire. Mantenga en observación el proceso de digestión hasta que cese la formación de espuma. Si la -

espuma en una muestra sube por el cuello del balón, retire el frasco del calentador para que la espuma desaparezca y luego vuelva a colocarlo.

La digestión debe proseguir hasta que hayan transcurrido 30 min después de que la solución se aclare y todo el carbón se haya oxidado; se deben rotar los balones ocasionalmente durante todo el procedimiento. Terminada esta fase, se apagan los calentadores y se dejan enfriar los balones manteniendo conectado el extractor para permitir el escape de todos los gases.

4. Poner la muestra en el destilador, dándole de 3 a 4 lavadas al balón que contiene la muestra, para después agregar 10 ml de NaOH al 50% y calentar la muestra a 80 °C.
5. Recibir el destilado en un erlenmeyer de 125 ml conteniendo este 8 ml de ácido bórico al 4% y 4 gotas de indicador, recibándose 50 ml de destilado aproximadamente.
6. Después de recibir el destilado, se titula con  $H_2SO_4$  0.025 N o  $H_2SO_4$  0.1 N, dependiendo del contenido de nitrógeno-proteína que la muestra tenga.
7. Calcular el porcentaje de nitrógeno y de proteína en la muestra.

$$\% N_2 = \frac{\text{ml ácido} \times \text{N ácido} \times \text{miliequivalente ácido} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$\% \text{ Proteína Cruda} = \% N_2 \times 6.25$$

### C.7 DETERMINACION DE ELEMENTOS COMO CALCIO, POTASIO, SODIO Y FOSFORO.

Después de la calcinación de la materia orgánica (ver sección 8.2), se obtienen las cenizas de la muestra. Esta ceniza se agrega a un medio ácido (HCl) para que la parte soluble se diluya en él y se formen los cloruros correspondientes. La fracción insoluble se descarta por separación en el filtrado.

#### PROCEDIMIENTO

1. Las cenizas obtenidas después de la calcinación se someten a digestión, humectando la muestra con agua destilada (2-4 gotas), agregando suavemente 5 ml de HCl concentrado y agitando levemente. Utilizar crisoles.
2. Colocar los crisoles en un hot plate hasta sequedad. Dejar que enfríe. Evitar ebullición brusca.
3. Agregar 13 ml de solución de HCl (3 HCl + 10 agua), colocar de nuevo en el hot plate, hasta observar formación de humos blancos. Dejar enfriar. Evitar ebullición brusca.
4. La muestra que se obtiene después de la digestión se filtran utilizando agua caliente, depositando las aguas del filtrado en un volumétrico de 100 ml. Dejar enfriar y afo-

- rar. (Solución madre).
5. De la solución madre preparada se pipetea 5 ml y se deposita en un volumétrico de 50 ml, aforando con solución de óxido de lantano 0.1% p/v acidificada con 3 ml de HCL concentrado
  6. Con la solución preparada se procede a tomar lecturas de contenido de sodio, potasio y calcio en un espectrofotómetro de absorción atómica, en las condiciones adecuadas para cada elemento.
  7. Para la determinación de fósforo, se pipetea 5 ml de muestra y se colocan en un tubo de ensayo de 30 ml. Igualmente se pipetea 5 ml de soluciones estándar de 0, 4, 8, 12, 16 y 20 ppm y también se depositan en tubos de ensayo de 30 ml.
  8. Agregar a cada tubo de estándar y muestra 2 ml de solución de reactivo, molibdato de amonio y metavanadato de amonio; ésta solución se prepara al momento de usarse, mezclando partes iguales de ambos reactivos.
  9. Agitar hasta homogenización completa y después de 15 min de reposo tomar lecturas de concentración de fósforo en

un colorímetro.

10. Calcular los porcentajes de elementos de acuerdo a las siguientes fórmulas

$$F = \frac{W}{V_0} \times \frac{\text{Alícuota}}{V} \times 10^6$$

$$\% \text{ Elemento} = \frac{\text{ppm lect.}}{F} \times 10^2$$

Donde: W = peso de la muestra

V<sub>0</sub> = volumen inicial

V = dilución

F = Factor

## C.8 DETERMINACION DE FIBRA NEUTRO DETERGENTE

### O PARED CELULAR

El procedimiento neutro detergente para determinar componentes de la pared celular es un método rápido para determinar fibra total en alimentos fibrosos vegetales. Aparentemente divide la materia seca al punto de que separa los constituyentes nutricionales solubles y accesibles, de aquellos que no son totalmente aprovechables o que dependen de la fermentación microbiológica para su aprovechamiento (36,46).

#### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 1.0 g de muestra molida y depositarla en vasos Berzelius.
2. Añadir en el siguiente orden:
  - a) 95 ml de solución neutro detergente (se prepara agregando 30 g de sulfato láurico de sodio USP; 18.61 g del reactivo etilendiamino tetra acetato disódico dihidrogenado, dihidratado EDTA); 6.81 g del reactivo borato de sodio decahidratado; 4.56 g del reactivo fosfato disódico hidrogenado, anhidro y 10 ml de 2-etoxietanol (éter monoetílico) grado purificado, en 1 litro de agua destilada).
  - b) 2 ml de decahidronaftaleno.
  - c) 5 ml de solución de sulfito de sodio.

3. Calentar para obtener ebullición; en 5-10 min reducir el calor al mínimo y mantener la ebullición sin formación de espuma. Mantener en esta forma por 60 min medidos desde la iniciación de la ebullición.
4. Filtrar haciendo un leve vacío y lavar con 200 ml de agua destilada caliente y luego con 10 ml de acetona. Los filtros deberán haber permanecido en la muflla por 8 horas a 550 °C, antes de ser utilizados. Pesar los filtros vacíos.
5. Posteriormente al filtrado, colocar los embudos en la estufa a 75 °C por 8 horas.
6. Dejar enfriar los embudos en desecador y pesar.
7. Reportar el contenido como pared celular de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Pared Celular} = \frac{(\text{Peso embudo} + \text{pared celular}) - \text{peso embudo} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

### C.9 DETERMINACION DE pH Y GRADOS BRUX

El principio se basa en dejar reposar la muestra sólida en contacto con el agua destilada, a fin de que los sólidos solubles se transfieran a ella (36,46).

#### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 20 g de muestra fresca sin moler.
2. Agregarla a un beaker junto con 200 ml de agua destilada y dejar en reposo por 2 horas.
3. Tomar la temperatura de la muestra y estandarizar el aparato usando soluciones amortiguadoras de pH conocido.
4. Hacer lecturas de pH introduciendo los electrodos dentro del beaker que contiene la muestra, evitando que los electrodos queden en contacto con el fondo y las paredes. Después de cada lectura es necesario lavar bien el electrodo con agua destilada y secarlo con papel toalla.
5. De la misma muestra se leen °Brix; estandarizando primeramente el refractómetro Abbé utilizando agua destilada.
6. Tomar la temperatura de la muestra y colocar 2 ó 3 gotas en el centro de la placa. Efectuar la lectura.
7. Lavar bien con agua destilada y secar con papel toalla.
8. Con la lectura y la temperatura de la muestra se hace la corrección en las tablas dadas por el manual (si es necesario).

## APENDICE D

### D.1 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo del análisis de varianza llamado "Bloques al azar con arreglo factorial", utilizado para evaluar la validez estadística de los resultados obtenidos experimentalmente.

TABLA D.1: FIBRA NEUTRO DETERGENTE

	24 HORAS				72 HORAS				
a	0	2	4	6	0	2	4	6	Σ
b									
R	83.88	85.18	78.83	72.72	82.98	83.93	77.59	70.48	635.59
R	86.70	82.75	77.17	73.08	85.32	82.29	76.08	70.19	633.58
Σx	170.58	167.93	156.00	145.80	168.30	166.22	153.27	140.67	1,269.17
x	85.29	83.96	78.00	72.90	84.15	83.11	76.84	70.34	
Σx	640.31				628.86				

a: Nivel de NaOH, % p/p en base seca.

b: Repeticiones.

#### PRIMER ANOVA

##### 1) Factor de Corrección

$$C = \frac{(\Sigma n)^2}{16} = \frac{(1,269.17)^2}{16} = 100,674.53$$

## 2) Varianza total

$$SS_{\text{total}} = \Sigma x^2 - C$$

$$SS_{\text{total}} = (7035.85 + 7255.63 + 6214.17 + 5288.19 + 6885.68 + 7044.24 + 6020.21 + 4967.43 + 7516.89 + 6847.56 + 5955.21 + 5788.17 + 7279.50 + 6771.64 + 5788.17 + 4926.64) - 100,674.53$$

$$SS_{\text{total}} = 101,585.18 - 100,674.53 = 910.65$$

## 3) Varianza de Repeticiones

$$SS_{\text{rep}} = \frac{(\Sigma R_1^2 + \Sigma R_2^2)}{8} - C$$

$$SS_{\text{rep}} = \frac{403,974.64 + 401,423.61}{8} - 100,674.53$$

$$SS_{\text{rep}} = 100,674.78 - 100,674.53 = 0.25$$

## 4) Varianza de Tratamientos

$$SS_{\text{strat}} = \frac{\Sigma (R_1 + R_2)^2}{2} - C$$

$$SS_{\text{strat}} = \frac{(29097.54 + 28200.48 + 24336. + 21257.64 + 28324.89 + 27629.09 + 23614.47 + 19788.05)}{2} - 100,674.53$$

$$SS_{\text{strat}} = 101,124.08 - 100,674.53 = 449.55$$

## 5) Varianza del Experimento

$$SS_{\text{exp}} = SS_{\text{total}} - (SS_{\text{rep}} + SS_{\text{strat}})$$

$$SS_{\text{exp}} = 910 - (0.25 + 449.55) = 460.84$$

FUENTE DE VARIACION	df	SS	SS	Fcalc	F. tablas *		
					10%	5%	1%
Rep.	f <sub>1</sub> 1	0.25	0.25	3.84x10ns	3.59	5.59	12.25
Trat.	f <sub>1</sub> 7	449.5	64.21	0.9747ns	2.78	3.79	7.00
Error	f <sub>2</sub> 7	461.10	65.87				
Total	15	910.65					

Rep : Repeticiones

Trat: tratamientos

ns : no significativa

\* : Apéndice D.2

## SEGUNDO ANOVA

1) Varianza por el Tiempo

$$SS_{\text{tiempo}} = \frac{\sum x^2 t_1 + \sum x^2 t_2}{8} - C$$

$$SS_{\text{tiempo}} = \frac{(640.31) + (628.86)}{8} - 100,674.53$$

$$SS_{\text{tiempo}} = 100,682.72 - 100,674.53 = 8.194$$

2) Varianza por el nivel de NaOH

$$SS_{\text{NaOH}} = \frac{\sum (R_1 + R_2)^2 t_n}{4} - C$$

$$SS_{\text{NaOH}} = \frac{(170.58+168.30) + (167.93+166.22) + (156.00+153.67) + (145.80+140.67)}{4} - 100,674.53$$

$$SS_{\text{NaOH}} = 101,114.11 - 100,674.53 = 431.39$$

## 3) Varianza por Interacción Tiempo-NaOH

$$SS_{\text{inter}} = \frac{\sum x_1^2 + \sum x_2^2}{8} - C$$

$$SS_{\text{inter}} = 100,682.72 - 100,674.53 = 8.194$$

FdeV	df	SS	SS	Fcalc	F. tablas *		
					10%	5%	1%
Tiempo	f <sub>1</sub> 1	8.194	8.194	0.177ns	3.28	4.96	10.04
NaOH	f <sub>1</sub> 3	431.39	143.79	3.106	2.73	3.71	6.51
T x N	f <sub>1</sub> 1	8.194	8.194	0.177ns			
Error	f <sub>2</sub> 10	462.87	46.287				
Total	15	910.65					

\* : Apéndice D.2  
 ns : no significativa.  
 T x N: Interacción

Significante al 90% de probabilidad en los niveles de NaOH, pero no significativa en el tiempo y en la interacción.

D.2 DISTRIBUCION F PARA NIVELES DE 10%, 5% Y 1% DE CONFIANZA

Grados de Libertad del Denominador P	Grados de Libertad del Numerador																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	20														
1	.10	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.89	60.20	60.70	61.22	61.74	.05	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	248
2	.10	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	.01	4,052	4,999	5,403	5,625	5,764	5,859	5,928	5,981	6,022	6,056	6,082	6,106	6,142	6,169	6,208
3	.10	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	.05	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.88	8.84	8.81	8.78	8.76	8.74	8.71	8.69	8.66
4	.10	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	.01	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92	26.83	26.69
5	.10	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.78	4.74	4.70	4.68	4.64	4.60	4.56
6	.10	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	.01	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.45	10.27	10.15	10.05	9.96	9.89	9.77	9.68	9.55
7	.10	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.63	3.60	3.57	3.52	3.49	3.44
8	.10	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	.01	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	7.00	6.84	6.71	6.62	6.54	6.47	6.35	6.27	6.15
9	.10	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.13	3.10	3.07	3.02	2.98	2.93
	.01	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.62	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.00	4.92	4.80														

... continúa ...

DISTRIBUCION P PARA NIVELES AL 10%, 5% Y 1% DE CONFIANZA - CONTINUACION

GRADOS DE LIBERTAD DEL DENOMINADOR	GRADOS DE LIBERTAD DEL NUMERADOR																																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	20																												
10	.10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	.05	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.97	2.94	2.82	2.77	.01	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.21	5.06	4.95	4.85	4.78	4.71	4.60	4.52	4.41
11	.10	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.86	2.82	2.79	2.74	2.65	.01	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.88	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29	4.21	4.10
12	.10	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.05	.05	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.92	2.85	2.76	2.72	2.69	2.64	2.54	.01	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.65	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	3.98	3.86
13	.10	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	.05	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.84	2.77	2.67	2.63	2.60	2.55	2.46	.01	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.85	3.78	3.67
14	.10	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	.05	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.77	2.70	2.60	2.56	2.53	2.48	2.39	.01	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70	3.62	3.51
15	.10	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	.05	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.70	2.64	2.55	2.51	2.48	2.43	2.39	.01	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.48	3.36
16	.10	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	.05	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.38	.01	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.61	3.55	3.45	3.37	3.25
17	.10	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.85	.05	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.62	2.55	2.50	2.45	2.41	2.38	2.33	.01	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.45	3.35	3.27	3.16
18	.10	1.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	.05	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	.01	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.85	3.71	3.60	3.51	3.44	3.37	3.27	3.19	3.07

### APENDICE E

Para determinar la cantidad máxima de NaOH que toleran los bovinos, se parten de que éstos permiten el consumo de un 6% de NaCl en su ración diaria \*.

BASE: 100 g de forraje

$$6\% = \frac{6 \text{ g de NaCl}}{100 \text{ g de forraje}}$$

$$\text{g de Na} = \frac{22.991 \text{ g Na}}{58.448 \text{ g NaCl}} \times 6 \text{ g NaCl}$$

$$\text{g de Na} = 2.36 \text{ g (máximo tolerable)}$$

g de Na agregados en el tratamiento químico mas drástico:

BASE: 100 g de ración

$$\text{g de NaOH} = \frac{6 \text{ g de NaOH}}{100 \text{ g mat seca}} \times \frac{0.89 \text{ g mat seca}}{\text{g de bagazo}} \times \frac{0.5 \text{ g de bagazo}^{**}}{\text{g de forraje}}$$

$$\text{g de NaOH} = 2.67 \text{ g NaOH/100 g ración}$$

$$\text{g de Na} = 2.67 \text{ g NaOH} \times \frac{22.991 \text{ gr Na}}{40 \text{ g NaOH}}$$

$$\text{g de Na} = 1.534 \text{ g (máximo agregado para el tratamiento 6\% de NaOH)}$$

-----  
\* Referencia (25)

\*\* En el caso de que la ración estuviera compuesta por 50% de bagazo hidrolizado.

g de Na agregados en la sal común al formular, conociendo que se le incorporan 0.5 g de NaCl por 100 g de forraje\*.

$$\text{g de Na agregados} = \frac{22.991 \text{ g Na}}{58.448 \text{ g NaCl}} \times 0.5 \text{ g NaCl}$$

Si se suma el Na procedente del tratamiento más el Na procedente de la sal obtenemos en total de 1.77 g de Na. Por lo que se puede decir que aún el tratamiento más elevado en NaOH ensayado, permite un incremento del 33% en su valor, para alcanzar el máximo de Na tolerable por los bovinos.

De acuerdo a la ración propuesta (Cap. VIII; Sección 8.2.3):

$$\frac{2.35 \text{ gNa}}{100 \text{ g ración}} \times \frac{1 \text{ g ración}}{0.32 \text{ g bagazo}} \times \frac{0.78 \text{ g bagazo}}{1 \text{ g MS}} = \frac{5.75 \text{ g Na}}{100 \text{ g MS}}$$

\* De la ración que se prepara en la ENA.

## APENDICE F

### DETERMINACION DE LAS CURVAS QUE MAS SE AJUSTAN A LOS DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE

Para determinar el tipo de curva que más se ajusta a los datos obtenidos experimentalmente, se ensayan ecuaciones polinómicas de primero, segundo, tercer y cuarto grado, cuya ecuación general es la siguiente:

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + \dots$$

y para la resolución de ésta se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} an + b\sum x + c\sum x^2 + d\sum x^3 + e\sum x^4 &= \sum y \\ a\sum x + b\sum x^2 + c\sum x^3 + d\sum x^4 + e\sum x^5 &= \sum xy \\ a\sum x^2 + b\sum x^3 + c\sum x^4 + d\sum x^5 + e\sum x^6 &= \sum x^2 y \\ a\sum x^3 + b\sum x^4 + c\sum x^5 + d\sum x^6 + e\sum x^7 &= \sum x^3 y \\ a\sum x^4 + b\sum x^5 + c\sum x^6 + d\sum x^7 + e\sum x^8 &= \sum x^4 y \end{aligned}$$

Una vez encontrados los coeficientes a, b, c, d, e, ..., se sustituyen en la ecuación general.

Se selecciona aquella ecuación que proporcione un menor porcentaje de desviación respecto a los datos obtenidos experimentalmente.

Ejemplo: Probar una ecuación polinómica de segundo grado, para

el contenido celular a las 24 horas de contacto.

$$\text{Ecuación general: } Y = a + bx + cx^2 \quad (1)$$

Se necesita conocer coeficientes a, b y c; para ello se utilizan las siguientes ecuaciones

$$an + b\sum x + c\sum x^2 = \sum y \quad (2)$$

$$a\sum x + b\sum x^2 + c\sum x^3 = \sum xy \quad (3)$$

$$a\sum x^2 + b\sum x^3 + c\sum x^4 = \sum x^2y \quad (4)$$

A partir de las cuales se construye la siguiente tabla:

	x*	y*	x	x	x	xy	x y
	0	14.27	0	0	0	0	0
	2	15.98	4	8	16	31.96	63.92
	4	21.95	16	64	256	87.80	351.20
	6	27.05	36	216	1296	162.30	973.80
$\Sigma$	12	79.25	56	288	1568	282.06	1388.92

x\*, y\* : datos de la experimentación

Sustituyendo estas sumatorias en las ecuaciones (2), (3) y (4)

tenemos:

$$4a + 12b + 56c = 79.25 \quad (5)$$

$$12a + 56b + 288c = 282.06 \quad (6)$$

$$56a + 288b + 1568c = 1388.92 \quad (7)$$

Simultaneando adecuadamente las ecuaciones anteriores, se encuentran los valores a, b y c siguientes:

$$a = 14.0135$$

$$b = 0.94425$$

$$c = 0.21875$$

Resultando la ecuación general para el contenido celular (24 - horas) como se muestra:

$$Y = 14.0135 + 0.94425x + 0.211875x^2$$

Sustituyendo los diferentes niveles de NaOH en la ecuación general se tiene el contenido celular para cada concentración.

x	y
0	14.1135
2	16.7495
4	21.1805
6	27.3065

De igual forma se encontraron ecuaciones lineales, cúbicas y cuárticas.

Para determinar cual ecuación es la que más se ajusta a cada una de las variables ensayadas, se toma el porcentaje de desviación total para los datos obtenidos en cada ecuación, las cuales se calculan para cada dato generado con la ecuación y luego se toma el valor absoluto del promedio para cada varia-

ble analizada; el valor de desviación para cada dato se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ desviación} = \frac{\text{valores generados por ec.} \times 100}{\text{valores experimentales}}$$

Luego se obtiene un promedio de desviación, en base al cual se selecciona la mejor curva.

El cuadro siguiente resume las desviaciones promedio calculadas para los análisis que presentaban diferencia estadística significativa y para el contenido de sodio.

Determinación	y1	y2	y3	y4
Contenido celular(CC)	5.088	2.7737	0.01849	2.7857
Fibra Neutro Detergente(FND)	1.028	0.6256	0.0	0.01437
Sodio (Na)	37.37	10.434	10.435	10.4635

De donde se concluye que es la ecuación cúbica la que más se ajusta para describir el comportamiento de las variables analizadas. Por lo tanto las ecuaciones propuestas son:

$$\text{CC} : 14.27 - 1.065x + 1.11737x - 0.1068x$$

$$\text{FND} : 85.73 + 1.05x - 1.1675x + 0.10625x$$

$$\text{Na} : 0.1625 + 0.771x - 0.068125x$$

## APENDICE G

### G. 1. NECESIDADES NUTRITIVAS DIARIAS DEL GANADO VACUNO PARA CARNE<sup>1</sup> (Basadas en alimentos secados al aire, con 90 por ciento de materia seca)

Peso vivo Kg	Ganancia diaria promedio <sup>2</sup> Kg	Alimento diario por animal Kg	Proteína total Kg	Proteína digestible Kg	Nutrientes diarios por animal							
					Energía digestible <sup>1</sup>			PDT <sup>4</sup> Kg	Ca g	P g	Caroteno <sup>5</sup> mg	Vitamina A UI
					Para mantenimiento Kcal	Por kilo de ganancia Kcal	Total Kcal					
<b>Terneros engordados antes del año</b>												
181	1.0	5.4	0.6	0.45	6600	8598	15600	3.5	20	15	22	8850
272	1.1	7.4	0.8	0.59	9000	11684	21700	4.9	20	17	31	12300
363	1.0	6.8	0.9	0.68	11200	14550	25700	5.9	20	18	37	14600
454	1.0	10.4	1.0	0.77	13300	17196	30500	6.9	21	21	44	17300
<b>Novillos de año (terminación)</b>												
272	1.2	7.9	0.8	0.59	9000	11684	22800	5.2	20	17	33	13100
363	1.2	10.1	1.0	0.77	11200	14550	29000	6.0	20	20	42	16700
454	1.2	11.7	1.2	0.86	13300	17196	33660	7.6	23	23	49	19400
499	1.0	11.7	1.2	0.96	14200	18519	33500	7.6	23	23	49	19400
<b>Novillos de dos años (terminación)</b>												
363	1.3	10.6	1.0	0.77	11200	14550	29700	6.7	22	22	44	17500
454	1.3	12.8	1.3	0.95	13300	17196	35900	8.2	26	26	54	21200
544	1.2	14.1	1.4	1.04	15200	19841	39500	9.0	28	28	59	23300
<b>Vaquillonas y novillos (crecimiento normal)</b>												
181	0.7	5.5	0.6	0.41	6600	8598	12800	3.0	16	11	23	9200
272	0.6	7.4	0.7	0.41	9000	11684	16400	3.7	16	12	31	12300
363	0.5	8.7	0.7	0.41	11200	14550	19100	4.3	16	13	36	14300
454	0.4	9.6	0.7	0.45	13300	17196	21100	4.8	14	14	40	15800
<b>Terneros destetados (en invierno)</b>												
181	0.4	4.8	0.5	0.32	6600	8598	10500	2.4	13	10	20	7900
227	0.4	6.7	0.6	0.36	7900	10362	12600	2.9	13	10	24	9500
272	0.4	6.5	0.6	0.36	9000	11684	14300	3.3	13	10	27	10700

... continúa...

Novillos de año (en invierno)												
272	0.4	6.5	0.5	0.32	9000	11684	14300	3.3	13	11	27	10700
363	0.3	7.2	0.5	0.32	11200	14550	15800	3.6	13	12	30	11900
408	0.2	7.2	0.5	0.32	12200	15873	15800	3.6	13	12	30	11900
Vaquillonas preñadas (en invierno)												
317	0.7	9.1	0.7	0.42	--	--	20000	4.5	15	14	50	20000
408	0.4	8.2	0.6	0.36	--	--	18000	4.1	13	12	45	18000
454	0.2	8.2	0.6	0.36	--	--	18000	4.1	13	12	45	18000
Vacas adultas preñadas (en invierno)												
363	0.7	10.0	0.8	0.45	--	--	22000	5.0	16	15	55	22600
454	0.2	8.2	0.6	0.36	--	--	18000	4.7	13	12	45	18000
544	0	8.2	0.6	0.36	--	--	18000	4.1	13	12	45	18000
544	0.2	8.0	0.6	0.36	--	--	15000	3.4	13	12	44	17600
Vacas amamantando terneros (primeros 3-4 meses)												
408-500	0	12.7	1.0	0.63	--	--	33600	7.6	39	23	106	42000
Toros, crecimiento y mantenimiento (actividad moderada)												
272	1.0	7.3	0.9	0.54	--	--	20200	4.6	21	15	62	24300
454	0.7	9.1	1.1	0.63	--	--	24000	5.4	19	15	76	30000
635	0.4	11.2	1.1	0.63	--	--	28400	6.4	17	16	94	37100
816	0	11.6	1.1	0.68	--	--	28000	6.3	18	18	97	38300

<sup>1</sup> De *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, Pub. 1137, Academia Nacional de Ciencias, NRC., 1963.

<sup>2</sup> La ganancia diaria promedio en el ganado para engorde se basa en animales que reciben éstilbestrol. El ganado para engorde que no recibe éstilbestrol gana de 10 a 20% menos que los valores indicados.

<sup>3</sup> Calculado a partir de la ecuación  $ED = 74.5 W^{0.75} [1 + 0.59 g]$ .

<sup>4</sup> El PDT está calculado a partir de la ED suponiendo 4400 Kcal de ED por Kg de PDT.

<sup>5</sup> El ganado puede utilizar caroteno para satisfacer su necesidad de vitamina A. La necesidad de caroteno fue calculada sobre la base de las necesidades de vitamina A suponiendo 400 UI de vitamina A por mg de caroteno.

**G. 2 NECESIDADES NUTRITIVAS DEL GANADO VACUNO PARA CARNE<sup>1</sup>**  
 (Basadas en alimentos secados al aire, con 90 por ciento de materia seca)

*Porcentaje de la ración o cantidad por kilo de alimento*

Peso vivo Kg	Ganancia diaria promedio <sup>1</sup> Kg	Alimento diario por animal Kg	Proteína total %	Proteína digestible %	ED Kcal/Kg	PDF <sup>1</sup> %	Cu %	P %	Caro-teno <sup>4</sup> ng/kg	Vita-mina A UI/Kg
-----------------	---	----------------------------------	---------------------	--------------------------	---------------	-----------------------	---------	--------	---------------------------------	----------------------

**Terneros engordados antes del año**

181	1.0	5.3	11.0	8.2	2921	66	0.37	0.28	4.2	1653
272	1.1	7.4	11.0	8.2	2921	66	0.27	0.23	4.2	1653
363	1.0	8.8	10.0	7.5	2921	66	0.23	0.21	4.2	1653
454	1.0	10.4	10.0	7.5	2921	66	0.20	0.20	4.2	1653

**Novillos de año (terminación)**

272	1.2	7.9	10.0	7.5	2866	65	0.25	0.21	4.2	1653
363	1.2	10.1	10.0	7.5	2866	65	0.20	0.20	4.2	1653
454	1.2	11.7	10.0	7.5	2866	65	0.20	0.20	4.2	1653
499	1.0	11.7	10.0	7.5	2866	65	0.20	0.20	4.2	1653

**Novillos de dos años (terminación)**

363	1.3	10.6	10.0	7.5	2811	64	0.21	0.21	4.2	1653
454	1.3	12.8	10.0	7.5	2811	64	0.20	0.20	4.2	1653
544	1.2	14.1	10.0	7.5	2811	64	0.20	0.20	4.2	1653

**Vaquillonas y novillos (crecimiento normal)**

181	0.7	5.7	11.7	7.0	2315	53	0.29	0.21	4.2	1653
272	0.6	7.4	9.3	5.6	2205	50	0.21	0.16	4.2	1653
363	0.5	8.7	7.8	4.7	2205	50	0.18	0.15	4.2	1653
454	0.4	9.6	7.8	4.7	2205	50	0.15	0.15	4.2	1653

..... continúa ..

Terneros destetados (en invierno)										
181	0.4	4.8	10.3	6.2	2205	50	0.27	0.21	4.2	1653
228	0.4	5.7	10.3	6.2	2205	50	0.23	0.18	4.2	1653
272	0.4	6.5	9.1	5.5	2205	50	0.20	0.16	4.2	1653
Novillos de año (en invierno)										
272	0.4	6.5	8.3	5.0	2205	50	0.20	0.17	4.2	1653
363	0.3	7.2	7.5	4.5	2205	50	0.18	0.17	4.2	1653
408	0.2	7.2	7.5	4.5	2205	50	0.18	0.17	4.2	1653
Vaquillonas preñadas (en invierno)										
317	0.7	9.1	7.5	4.5	2205	50	0.16	0.15	5.5	2205
498	0.4	8.2	7.5	4.5	2205	50	0.16	0.15	5.5	2205
454	0.2	8.2	7.5	4.5	2205	50	0.16	0.15	5.5	2205
Vacas adultas preñadas (en invierno)										
363	0.7	10.0	7.5	4.5	2205	50	0.16	0.15	5.5	2205
454	0.2	8.2	7.5	4.5	2205	50	0.16	0.15	5.5	2205
544	0	8.2	7.5	4.5	2205	50	0.16	0.15	5.5	2205
544	-0.2	8.0	7.5	4.5	1873	43	0.16	0.15	5.5	2205
Vacas amamantando terneros (primeros 3-4 meses)										
408-500	0	13.0	8.3	5.0	2645	60	0.24	0.18	8.4	3307
Toros, crecimiento y mantenimiento (actividad moderada)										
272	1.0	7.3	12.5	7.5	2756	63	0.29	0.21	8.4	3308
454	0.7	9.1	12.0	7.2	2645	60	0.21	0.17	8.4	3307
635	0.4	11.2	10.0	6.0	2536	58	0.16	0.15	8.4	3307
816	0	11.6	9.3	5.6	2426	55	0.15	0.15	8.4	3307

<sup>1</sup> De *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, Pub. 1137, Academia Nacional de Ciencias, NRC., 1963.  
<sup>2</sup> El promedio de aumento de peso en el ganado para engorde se basa en animales que reciben estrilbestról. A los que no se les suministra este producto, la ganancia es de 10 a 20% menos que los valores indicados.  
<sup>3</sup> El PDT está calculado a partir de la ED suponiendo 4400 calorías por Kg de PDT.  
<sup>4</sup> El ganado vacuno puede utilizar caroteno para satisfacer su necesidad de vitamina A. La necesidad de caroteno fue calculada de la vitamina A suponiendo 400 UI de vitamina A por miligramo de caroteno.

## APENDICE H

ANALISIS BROMATOLOGICOS REPORTADOS PARA ALGUNOS  
COMPONENTES DE RACIONES ALIMENTICIAS

## MAIZ AMARILLO

Determinación	%(p/p)
Humedad	11.00
Materia seca	89.00
Cenizas	0.40
fibra cruda	1.00
Grasa	1.20
Proteína	8.90
Prot.Digestible	6.80
Calcio	0.01
Fósforo	0.17

## MELAZA

Determinación	%(p/p)
Humedad	23.00
Materia seca	77.00
Cenizas	8.10
Fibra cruda	0.00
Grasa	0.10
Proteína	3.20
Prot.Digestible	2.40
Calcio	0.89
Fósforo	0.08
Potasio	2.38

## SOYA

torta de soya descasca-  
rillada, extracción con  
solvente (AAFCO)

Determinación	%(p/p)
Humedad	10.00
Materia seca	90.00
Cenizas	5.60
Fibra cruda	3.00
Grasa	0.80
Proteína	52.40
Prot.Digestible	48.00
Calcio	0.26
Fósforo	0.62
Potasio	2.02

## BAGAZO "IN NATURA"

Digestibilidad 25%

## APENDICE I

### MINIMOS CUADRADOS PARA EL CALCULO DE PROYECCIONES

La manera de aplicar el método de los mínimos cuadrados es la siguiente:

La línea recta se define por

$$Y = a + bX \quad (1)$$

donde:

Y = valor de la tendencia para el período X

X = Período de tiempo

b = Pendiente de aumento ó disminución en Y

a = Valor de Y en un punto base

Las ecuaciones para conocer los valores de "a" y "b" son:

$$Y = na + bX \quad (2)$$

$$XY = aX + bX^2 \quad (3)$$

El período a proyectar es de 1993 a 2002 tomando como base los datos de producción y excedentes de bagazo de la Tabla I.1.

Sustituyendo en la ecuación (2) y (3), se tiene:

$$Y = na + bx \quad 63,654,154 = 31a + b(465) \quad (4)$$

$$XY = ax + bx^2 \quad 1.1553 \times 10 = a(465) + b(9,455) \quad (5)$$

Multiplicando por (-465) ec.(4) y pqr (31) ec (5)

$$\begin{array}{r} -2.9599 \times 10 = 14415a - 216225b \\ 3.5814 \times 10 = 14415a + 293105b \\ \hline 6.2153 \times 10 = 76880 b \end{array}$$

$$b = 80,844.172$$

TABLA I.1: SUPERFICIE SEMBRADA, CAÑA MOLIDA, PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO, DE CAÑA EN EL SALVADOR, PARA EL PERIODO 1961-1992

AÑO	SUPERFICIE SEMBRADA (Ha)	CAÑA MOLIDA (TM)	PRODUCCION DE BAGAZO (TM)	EXCEDENTES DE BAGAZO (TM)
61-62	8,556.1	559,371.3 <sup>1/</sup>	156,623.96	23,493.59 <sup>2/</sup>
62-63	9,079.0	634,028.8	177,527.84	26,629.18
63-64	9,410.8	646,304.0	180,965.14	27,144.77
64-65	14,155.4	1,037,917.9	290,617.00	43,592.55
65-66	15,441.3	1,173,020.0	328,445.60	49,266.84
66-67	15,428.0	1,155,148.3	323,441.50	48,516.22
67-68	16,469.6	1,271,550.3	356,034.08	53,405.11
68-69	14,705.6	1,024,275.6	286,797.16	43,019.57
69-70	14,899.5	1,126,517.3	315,424.84	47,313.73
70-71	19,343.8	1,516,730.5	424,684.54	63,702.68
71-72	22,708.0	1,823,487.8	510,576.36	76,586.45
72-73	23,576.7	1,867,549.7	522,913.91	78,437.08
73-74	30,282.0	2,364,601.3	662,088.36	99,313.25
74-75	33,208.7	2,579,569.1	722,279.30	108,341.89
75-76	33,574.1	2,553,412.9	714,955.60	107,243.34
76-77	34,685.0	2,892,678.9	809,950.09	121,492.50
77-78	34,384.0	2,851,945.9	798,544.85	119,781.72
78-79	33,369.0	2,707,034.4	757,969.63	113,695.40
79-80	27,300.0	1,991,111.3	557,511.16	83,626.67
80-81	26,600.0	1,798,710.0	473,373.00 <sup>2/</sup>	61,538.50
81-82	27,440.0	1,920,948.7	562,085.00	73,071.00
82-83	31,500.0	2,459,765.9	711,024.00	92,433.00
83-84	34,020.0	2,829,638.0	785,671.00	75,150.00
84-85	36,400.0	2,914,576.8	800,182.00	79,904.00
85-86	38,640.0	3,110,941.7	893,295.00	100,142.00
86-87	41,125.0	2,889,060.1	815,051.00	63,163.00
87-88	33,810.0	2,292,395.9	674,692.00	33,735.00
88-89	28,910.0	2,077,742.0	593,466.00	52,646.00
89-90	31,920.0	2,666,765.9	746,694.45	74,669.50
90-91	42,000.0	3,265,898.6	914,451.61	91,455.60
91-92	46,958.3	3,651,456.0	1,022,407.60	102,240.70
TOTAL	829,899.9	63,654,154.0	17,889,743.00	2,234,740.80

1/ Referencia (23)

2/ Referencia (45)

3/ Para el período 61-80, se consideró un 15% de excedentes de bagazo de caña.

TABLA 1.2: APLICACION DEL METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS PARA CALCULAR PROYECCIONES DE CAÑA MOLIDA, PRODUCCION Y EXCEDENTES DE BAGAZO DE CAÑA EN EL SALVADOR, PARA EL PROXIMO DECENIO (1992-2002).

X	X <sub>2</sub>	CAÑA MOLIDA XY	BAGAZO XY	EXCEDENTES XY
0	0	0	0	0
1	1	624,028.8	177,527.84	26,629.17
2	4	1,292,608.2	361,930.28	54,289.54
3	9	3,113,753.7	871,851.00	130,777.65
4	16	4,692,080.8	1,313,782.40	197,067.36
5	25	5,775,741.5	1,617,207.50	242,581.10
6	36	7,629,301.8	2,136,204.40	320,430.66
7	49	7,169,929.2	2,007,580.10	301,136.99
8	64	9,012,138.4	2,523,398.70	378,509.84
9	81	13,650,574.0	3,822,150.80	573,324.12
10	100	18,234,870.0	5,105,763.60	765,864.50
11	121	20,543,046.0	5,752,053.00	862,807.88
12	144	28,375,215.0	7,945,060.30	1,191,759.00
13	169	33,534,398.0	9,389,630.90	1,408,444.50
14	196	35,747,780.0	10,009,378.00	1,505,406.70
15	225	43,390,183.0	12,149,251.00	1,822,387.50
16	256	45,631,134.0	12,776,717.00	1,916,507.50
17	289	46,819,584.0	12,885,483.00	1,932,821.80
18	324	35,840,003.3	10,035,200.00	1,505,280.00
19	361	34,175,490.0	8,994,087.00	1,169,231.50
20	400	38,418,978.0	11,241,700.00	1,461,420.00
21	441	51,655,083.0	14,931,504.00	1,941,093.00
22	484	62,252,036.0	17,284,762.00	1,653,300.00
23	529	67,035,266.0	18,404,186.00	1,837,792.00
24	576	74,662,600.0	21,439,080.00	2,403,408.00
25	625	72,226,502.0	20,376,275.00	1,579,075.00
26	676	59,602,293.0	17,541,992.00	877,110.00
27	729	56,099,034.0	16,023,582.00	1,421,422.00
28	784	74,669,445.0	20,907,444.00	2,090,746.00
29	841	94,711,059.0	26,519,096.00	2,651,922.40
30	900	109,540,000.0	30,672,228.00	3,067,221.00
465	9,455	1.1553X10 <sup>9</sup>	3.2521X10 <sup>8</sup>	3.7286X10 <sup>7</sup>

Sustituyendo el valor de b en ec. (4), se tiene:

$$63,654.154 = 31a + 465 (80,844.172)$$

$$a = 840,697.21$$

ECUACION PARA PROYECTAR CAÑA MOLIDA ES:

$$Y = 840,697.21 + 80,844.17X \quad (6)$$

TABLA 1.3: PROYECCION DE CAÑA MOLIDA  
(1992-2002)

A Ñ O	CAÑA MOLIDA (T M)
92-93	3,346,866.50
93-94	3,427,710.70
94-95	3,508,555.00
95-96	3,589,399.00
96-97	3,670,243.20
97-98	3,751,087.40
98-99	3,831,931.60
99-2000	3,912,775.70
2000-2001	3,993,619.80
2001-2002	4,074,464.00

Para proyectar la producción de bagazo de caña, se procede de igual forma:

$$Y = na + bx \quad 17,889,743 = 31a + 465b \quad (4)$$

$$XY = ax + bx^2 \quad 3.2521 \times 10 = 465a + 9455b \quad (8)$$

de donde se obtiene que la ecuación para proyectar es:

$$Y = 233,149.87 + 22,929.24 x \quad (9)$$

De manera similar se procede para proyectar excedentes de -  
bagazo:

$$Y = na + bx \quad 2,234,740.8 = 31a + 465b \quad (10)$$

$$XY = ax + bx^2 \quad 37,285,786 = 465a + 9455b \quad (11)$$

obteniéndose la ecuación siguiente:

$$Y = 49,309.406 + 1,518,60 x \quad (12)$$