

TUES  
1506  
B533e  
1997  
E. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



“EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE RESIDUOS  
AGRICOLAS VEGETALES EN EL SALVADOR. PARTE I: RESIDUOS  
DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) Y MAIZ (*Zea mays*)”

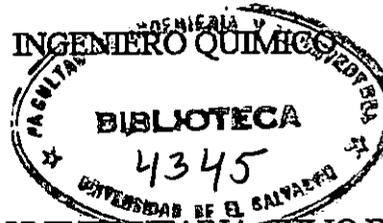
PRESENTADO POR:

GONZALO GUSTAVO BERRIOS  
MARLON RODOLFO CASTRO FUENTES

15100942

PARA OPTAR AL TITULO DE:

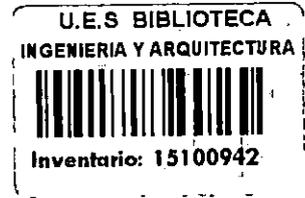
15100-142



CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 1997

Recibido el 24 de julio/97

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR: DR. BENJAMIN LÓPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL: LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO: ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO: ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Delmy del Carmen Rico Peña".

DIRECTORA: ING. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO QUIMICO

Título:

“EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE RESIDUOS  
AGRÍCOLAS VEGETALES EN EL SALVADOR. PARTE I: RESIDUOS  
DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum*) Y MAÍZ (*Zea mays*)”

Presentado por:

GONZALO GUSTAVO BERRIOS  
MARLON RODOLFO CASTRO FUENTES

Trabajo de graduación aprobado por:

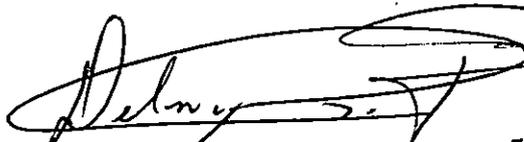
Coordinadora: ING. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

Asesor: ING. MARIO ANTONIO BERMUDEZ MARQUEZ  
Facultad de Ciencias Agronómicas.  
Universidad de El Salvador

San Salvador, julio de 1997

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinadora :



**ING. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA**



Asesor:



**ING. MARIO ANTONIO BERMUDEZ MARQUEZ**  
Facultad de Ciencias Agronómicas,  
Universidad de El Salvador

Ing. Luis Alonso...

Ing. Oscar Marroquín

Ing. Pedro Marroquín

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos por la ayuda brindada en el desarrollo del presente trabajo de graduación a: Facultad de Ciencias Agronómicas; Centro de Investigaciones Atómicas y Nucleares, Administración Financiera y Taller de Metal Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura; al Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador, y a las personas siguientes:

Ing. Delmy del Carmen Rico Peña

Ing. Mario Antonio Bermúdez Marquez

Lic. Salvador Castillo

Dr. Francisca Cañas de Moreno

Lic. Dina de García Mazzini

Ing. Franklin Arturo Méndez

Ing. Pedro González

Ing. Hugo Sambrana

Ing. Carlos Aguirre

Ing. Ana María González Trabanino

Lic. Rolando Velázquez

Ing. Fernando Teodoro Ramírez

Ing. Ítalo Andrés Córdova Flamenco

Ing. Eugenia Gamero

Ing. Tania Torres

Ing. José Anibal Erazo

Ing. Luis Ramón Portillo

Ing. Mario Enrique Estrada Muñoz

Ing. Luis Alonso Rodríguez Herrera

Ing. Oscar Marroquín

Ing. Pedro Marroquín

Sra. Sonia de Ramírez  
Sr. Rodolfo Mendoza  
Sr. Oscar Moran  
Srta. Sandra Lorena Recinos  
Sra. Guillermina Urrutia de Aguirre  
Mauricio Aguirre Urrutia  
Raúl Humberto Aguilar  
Claudia Mercedes Henríquez Pérez  
Juan Antonio Méndez Calixto  
Cándida Rebeca Alfaro  
Sandra Beatriz Parras Centeno  
Héctor Salomón Chávez Palacios  
Lucía Antonieta Sosa  
Jesús Adilman Pérez  
Sandra Mónica Artiga  
Javier Bojorquez  
Haydeé Esmeralda Munguía  
Sandra Avalos  
Lissette María Doffo  
Carmen Alicia Hidalgo de Pinto  
Samuel García Figueroa  
Irma Lilian Merino  
Roberto Melgar Monterrosa  
Edwin Antonio Alvarenga  
José Eduardo López

Y a toda la gran cantidad de amigos que nos apoyaron y nos dieron su voto de confianza en la realización de este trabajo.

**DEDICATORIA**

- A DIOS Y LA VIRGEN MARIA:** Por acompañarme y estar siempre a mi lado cada instante de mi vida
- A MI ABUELO:** Daniel Berrios, por todo su apoyo y conocimientos que me ha brindado.
- A MIS PADRES:** Rafael Portillo y Rosa Cándida Berrios, por su ayuda incesante que siempre me han brindado
- A MI HERMANO:** Walter Daniel, por su confianza y apoyo .
- A AMANDA GOMEZ:** Por su ayuda cuando más lo necesitaba.
- A LA FAMILIA BERRIOS:** Andrés, Fidel Ángel, Mauro Adán, Genaro, Ana Éster, Justo German, Bartolo Trinidad y Silverio Enrique; por su colaboración y apoyo.
- A MIS PRIMOS:** Bernardo Bladimir y Elías Godofredo, por su confianza y apollo que me brindaron.
- A MI COMPAÑERO DE TESIS:** Marlon Rodolfo, por ser un excelente amigo y buen compañero.
- A mis maestros, compañeros y amigos en especial a Manuel Antonio, Gilberto, Juan Antonio, a los del Cantón el Niño, El Amate, Las Lomitas y Jalacatal.

**Gonzalo Gustavo**

**DEDICATORIA****A DIOS TODO PODEROSO:**

Quien ha sido mi fortaleza y confianza para poder culminar mi carrera

**A LA VIRGEN MARIA Y SAN JOSE:**

Por interceder ante Dios cada vez que necesite de su divina gracia

**A MIS PADRES:**

Francisco Emiliano y María Berta, por todo el apoyo y amor que eternamente me han brindado

**A MIS HERMANOS:**

Ana Patricia y Francisco Ulises, por toda la ayuda, cariño, amor y Comprensión que siempre me han ofrecido

**A MIS TIOS Y TIAS:**

Por todo su cariño y apoyo que siempre me han dado y en especial a mi tío Celio de Jesús Castro (Q.D.D.G)

**A MIS ABUELITOS:**

Mamá Teresita y papá Rodolfito, por el amor que siempre me han ofrecido

**A MI NOVIA:**

Yanira Guadalupe, por todo el cariño y amor que comparte siempre conmigo

**A MI CUÑADO:**

Fabio Buisa, por toda la ayuda que me brindo cada vez que tuve problemas

**A MI COMPAÑERO Y AMIGO DE TESIS:**

Gonzalo Gustavo, por se un excelente compañero y amigo, y que a pesar de las dificultades que se nos presentaron siempre logramos salir adelante.

**A MIS PRIMOS Y PRIMAS, SOBRINITOS Y SOBRINITAS:**

Por la confianza, cariño, apoyo y la fé que siempre han tenido en mí.

**A MIS PROFESORES, AMIGOS Y COMPAÑEROS, EN ESPECIAL A LA ING. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA, CLAUDIA MERCEDEZ HENRIQUEZ Y AL SR. RODOLFO MENDOZA:**

Por su apoyo constante en esta larga lucha por coronar mi carrera

## RESUMEN

La finalidad principal de este trabajo, es la caracterización de los residuos de las cosechas de los cultivos de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) y Maíz (*Zea mays*), en El Salvador, con el objetivo de determinar el potencial energético que estos representan. Para tal propósito se diseñó una encuesta de propósitos múltiples la cual se aplicó a un total de 326 agricultores en todo el territorio (149 agricultores para maíz y 177 para la caña de azúcar). También se realizaron análisis físicos, químicos y fisicoquímicos de muestras de residuos de cosechas de los cultivos en estudio, completándose con información bibliográfica especializada e información de campo recabada por instituciones como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL), entre otras.

Se efectuaron pruebas calorimétricas de los residuos, contenido de fibra cruda, celulosa y lignina para evaluar el poder calorífico neto, y las pruebas de densificación para determinar el volumen que ocupan éstos residuos bajo condiciones controladas de presión.

Para la ejecución de la encuesta se aplicaron las técnicas estadísticas adecuadas, para poder determinar las principales variedades de caña de azúcar y maíz que se cultivan en El Salvador, áreas promedio que mayormente se destinan para la siembra de los cultivos, volúmenes de rastrojos generados por dichos cultivos, destinos que tradicionalmente se le da a los residuos, disponibilidad que los agricultores tengan para dar otros usos a los rastrojos para fines distintos a los tradicionales, así como la facilidad de acceso a las zonas de producción de éstos.

Para los análisis de los residuos de cosechas del cultivo de la caña de azúcar, se hizo una clasificación de acuerdo al tamaño del área cultivada, formándose tres Estratos para todo EL Salvador. El Estrato I comprendió áreas menores de 10 Mz. de tierra, el

estrato II, áreas mayores de 10 Mz. y menores de 50 Mz., el Estrato III, acapara las áreas mayores de 50 Mz. de tierra Cultivada.

Para el cultivo del maíz, se trabajo en las cuatro regiones departamentales en que se divide El Salvador, establecidas según la Dirección General de Economía Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG-DGEA, 1995).

La recolección de muestras de residuos de cosechas de caña de azúcar se realizó en 11 puntos diferentes del país, auxiliándose del mapa oficial de El Salvador y de un mapa de distribución de uso de suelos en El Salvador editado por la DGEA. Se visitaron lugares que gozan de la mayor concentración del cultivo de la caña de azúcar en todo el país, tomándose al azar 3 muestras de macolla de caña en diferentes puntos del cañal, procediéndose a cuantificar el peso neto de la caña y luego la hoja y cogollo juntos. Para la realización de los análisis se dividió el país en cuatro regiones por áreas de concentración del cultivo de la caña de azúcar, obteniéndose así un total de cuatro muestras, una por región, para someterlas a los análisis físicos, fisicoquímicos y químicos, resultando un poder calorífico neto que varia entre 3,632.13 y 3,771.23 Kcal/Kg. Los resultados de las pruebas de densificación variaron de 38 a 96 Kg/m<sup>3</sup> para densidad inicial (sin aplicarle presión) y de 88 a 211 Kg/m<sup>3</sup> para densidad después de aplicar compresión hasta volumen constante.

Para el cultivo del maíz, se visitaron 22 puntos representativos en todo El Salvador, que al igual que para la caña de azúcar, se utilizó el mapa oficial y el mapa de distribución de uso de suelos, asegurándose de esta manera que las muestras tomadas fueran de los lugares más representativos, para luego proceder a tomar muestras al azar de 5 a 10 matas en diferentes puntos de la milpa. Para la realización de los análisis, se homogenizaron las muestras tomadas en cada una de las cuatro regiones ( establecidas por la DGEA-MAG), formándose así una muestra para cada fracción por región (Tuza, Olote, Hoja/ Caña y la muestra de planta completa). Después de esta preparación las muestras de residuos de las

cosechas de maíz se sometieron a los análisis físicos, químicos y fisicoquímicos, con la finalidad de obtener el poder calorífico neto de estos residuos que vario entre 3,645.92 y 3,795.86 Kcal/Kg para la tuza, entre 3,783.30 y 3,920.53 Kcal/Kg para el olote, entre 3,640.22 y 3,914.55 Kcal/Kg para la hoja/caña, y entre 3,646.29 y 3,796.08 Kcal/Kg para las muestras de planta completa. Las pruebas de densificación por compresión hasta volumen constante variaron entre 79.2 y 127.6 Kg/m<sup>3</sup> para la tuza, entre 153.6 y 190 Kg/m<sup>3</sup> para el olote, entre 54.5 y 99.9 Kg/m<sup>3</sup> para la caña/hoja, y entre 118.9 y 137.3 Kg/m<sup>3</sup> para las muestras de planta completa.

Las cantidades de residuos generados para el cultivo de caña de azúcar variaron de 351,439.87 a 645,566.98 Ton y para el cultivo de maíz de 582,212.4 a 941.442.7 Ton; de los cuales se estimó que se tiene una disponibilidad del 29.41% y 27.498% respectivamente para su uso como fuente de energía primaria, lo que representa un potencial energético promedio por año de 1,252.63 Tcal en el periodo 1984/1995.

## ÍNDICE

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAG.</u>
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1.0 PANORAMA ENERGÉTICO DE EL SALVADOR Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES DE ENERGÍA EN EL SALVADOR .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Formas de Energía Primaria y su Uso en El Salvador .....</b>	<b>4</b>
1.1.1 Leña.....	4
1.1.2 Energía Geotérmica.....	5
1.1.3 Petróleo.....	6
1.1.4 Residuos Vegetales .....	6
1.1.5 Energía Hidráulica .....	7
<b>1.2 Potencial de las Energías Renovables en El Salvador .....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Biomasa .....	10
1.2.2 Sol .....	10
1.2.3 Viento .....	10
<b>1.3 Biomasa Natural como Recurso Energético .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Distribución de usos de Suelos y Generación de Residuos Vegetales         Agrícolas en El Salvador .....</b>	<b>14</b>
<b>2.0 PROCESOS Y TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Tipos de Procesos de Conversión de Biomasa .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Estado de Desarrollo de las Tecnologías de Conversión de la Biomasa .....</b>	<b>23</b>

3.0 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum officinarum</i> ).....	27
3.1 Generalidades del Cultivo de la Caña de Azúcar .....	27
3.2 Evaluación de Características del Cultivo de la Caña de Azúcar por Encuestas .....	37
3.2.1 Determinación del Número de Encuestas para el Cultivo de Caña de Azúcar .....	38
3.2.2 Selección de los Agricultores a Encuestar .....	43
3.2.3 Tabulación de Resultados Obtenidos de la Información Proporcionada por las Encuestas para el Cultivo de Caña de la Azúcar .....	44
3.2.4 Análisis de las Encuestas para el Cultivo de Caña de Azúcar .....	49
3.3 Análisis Físicos, Químicos y Fisicoquímicos de los Residuos del Cultivo de la Caña de Azúcar .....	62
3.3.1 Recolección de Muestras de Residuos de Cultivo de Caña de Azúcar para Análisis .....	63
3.3.2 Selección y Preparación de Muestras para Análisis .....	65
3.3.3 Aplicación de Intervalo de confianza en las Pruebas Físicas, Químicas y Fisicoquímicas.....	66
3.3.4 Análisis Físicos y Cálculo de Razones Peso de Residuos de Caña de Azúcar .....	67
3.3.5 Análisis Químicos .....	72
3.3.6 Análisis Fisicoquímicos .....	76

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAG.</u>
<b>4.0 RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ (<i>Zea Mays</i>) .....</b>	<b>79</b>
<b>4.1 Generalidades del Cultivo de Maíz .....</b>	<b>79</b>
<b>4.2 Evaluación de Características del Cultivo de Maíz por Encuestas .....</b>	<b>82</b>
<b>4.2.1 Determinación del Número de Encuestas para el             Cultivo de Maíz .....</b>	<b>83</b>
<b>4.2.2 Selección de los Agricultores a Encuestar .....</b>	<b>87</b>
<b>4.2.3 Tabulación de Resultados Obtenidos de la Información             Proporcionada por las Encuestas Ejecutadas en             Agricultores de Maíz en El Salvador .....</b>	<b>88</b>
<b>4.2.4 Análisis de las Encuestas para el Cultivo de Maíz .....</b>	<b>94</b>
<b>4.3 Análisis Físicos, Químicos y Fisicoquímicos de los Residuos del         Cultivo de Maíz.....</b>	<b>109</b>
<b>4.3.1 Recolección de Muestras de Residuos de Maíz             para Análisis .....</b>	<b>109</b>
<b>4.3.2 Selección, Preparación de Muestras y Número de Análisis             Realizados .....</b>	<b>111</b>
<b>4.3.3 Determinación del Intervalo de Confianza en los Resultados             de los Análisis Realizados en Muestras de Residuos de Maíz. ....</b>	<b>113</b>
<b>4.3.4 Resultados de Análisis Físicos Realizados en Muestras de             Residuos del Cultivo de Maíz.....</b>	<b>114</b>
<b>4.3.5 Resultados de Análisis Químicos Realizados en             Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz .....</b>	<b>119</b>
<b>4.3.6 Resultados de Pruebas Fisicoquímicas Realizadas en             Residuos del Cultivo del Maíz .....</b>	<b>128</b>

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAG.</u>
<b>5.0 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR Y MAÍZ.....</b>	<b>132</b>
<b>5.1 Determinación del Poder Calorífico Neto en Muestras de Residuos de Caña de Azúcar y Maíz.....</b>	<b>132</b>
<b>5.1.1 Determinación del Poder Calorífico de Mezcla para Residuos de Maíz .....</b>	<b>139</b>
<b>5.1.2 Comparación del Poder Calorífico de los Residuos Analizados con el Poder Calorífico de Otros Combustibles .....</b>	<b>142</b>
<b>5.2 Determinación de la Cantidad de Residuos Generados por los Cultivos de Caña de Azúcar y Maíz en El Salvador.....</b>	<b>143</b>
<b>5.2.1 Cantidad de Residuos Generados en el Cultivo de Caña de Azúcar.....</b>	<b>144</b>
<b>5.2.2 Cantidad de Residuos Generados del Cultivo de Maíz.....</b>	<b>146</b>
<b>5.3 Análisis General de las Encuestas en la Determinación de la Oferta Energética de Residuos de Caña de Azúcar.....</b>	<b>150</b>
<b>5.4 Determinación de la Oferta Energética de los Residuos del Cultivo de Caña de Azúcar y Maíz y su Comparación con Otros Combustibles de Uso Convencional.....</b>	<b>155</b>
<b>OBSERVACIONES.....</b>	<b>162</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>164</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>167</b>

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAG.</u>
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170
ANEXOS.....	176
Anexo I Mapa de Uso Actual del Suelo en El Salvador.....	177
Anexo II Técnicas de Muestreo Estadístico.....	179
Anexo III Encuesta de Propósitos Múltiples para los Cultivos de Caña de Azúcar y Maíz en El Salvador.....	183
Anexo IV Almacenamiento de Rastrojos de Maíz y Caña de Azúcar.....	200
Anexo V Marchas de Análisis Físicos, Químicos y Fisicoquímicos.....	204
Anexo VI Resultados de los Análisis Químicos y Fisicoquímicos en Muestras de Maíz y Caña de Azúcar.....	241

## INDICE DE CUADROS

No	TITULO DEL CUADRO	PAG.
1.1	Cantidad y Estructuras del Destino de las Formas de Energía Primaria en El Salvador que Entran a Procesos de Transformación, Expresadas en Tcal. Periodo 1988-1995 .....	8
1.2	Producción Nacional (origen) de Energía Primaria por Fuente Serie 1988-1995 (Tcal) .....	9
1.3	Centrales Hidroeléctricas de El Salvador .....	9
1.4	Potencial Energético de la Biomasa en El Salvador .....	11
1.5	Tecnologías y Areas de Aplicación de Fuentes Renovables de Energía .....	12
1.6	Superficie Cultivada y Usos de la Tierra a Nivel Nacional 1994/95.....	15
2.1	Datos Indicativos sobre Rendimiento Energético de Diversos Procesos de Conversión de la Biomasa (Energía Util/Energía Aportada en Biomasa).....	23
2.2	Procesos y Estados de la Tecnología para Conversión de Biomasa .....	25
3.1	Composición Química de la Caña de Azúcar .....	35
3.2	Composición Química de las Partes Principales de la Caña de Azúcar (%p/p).....	36
3.3	Composición del Bagazo de Caña Fresco (%p/p).....	36
3.3a	Composición Aproximada de la Fibra del Bagazo de Caña (%p/p).....	36
3.3b	Composición Química del Cogollo (Base Seca) de Caña de Azúcar (%p/p).....	37
3.3c	Subproductos Obtenidos por Cada Tonelada de Azúcar de Caña Producida (%p/p) .....	37
3.4	Estratos para Agricultores de Caña de Azúcar .....	38
3.5	Rendimientos (R) Obtenidos en la Producción de Caña de Azúcar .....	41
3.6	Productores de Caña de Azúcar por Estrato .....	41
3.7	Número de Encuestas Ejecutadas en Agricultores de Caña de Azúcar en El Salvador.....	42
3.8	Áreas Cultivadas de Caña de Azúcar .....	44

<u>No</u>	<u>TITULO DEL CUADRO</u>	<u>PAG.</u>
3.9	Principales Variedades Cultivadas de Caña de Azúcar .....	45
3.10	Número de Cortas Realizadas en los Cañales .....	45
3.11	Tiempo Tradicional de Recolección de la Caña de Azúcar .....	46
3.12	Épocas Aproximadas de Recolección de la Caña de Azúcar .....	46
3.13	Cantidad de Residuos Generados de Caña de Azúcar .....	46
3.14	Usos y Conocimientos de Utilidades de los Residuos de Caña de Azúcar .....	47
3.15	Ventajas, Desventajas, e Interés en Comercializar y Dificultad de Manejo de Residuos del Cultivo de la Caña de Azúcar .....	47
3.16	Combustibles Utilizados, Acceso a Electricidad, Medios de Transporte, Acceso a las Zonas de Producción y Principales Problemas en el Cultivo de Caña de Azúcar .....	48
3.17	% de Principales Variedades de Caña de Azúcar Cultivadas en El Salvador por Estrato según Número de Manzanas Cultivada. ....	49
3.18	Número de Cortes de Caña de Azúcar más Frecuentes en los Cañales Salvadoreños por Estrato Analizado .....	51
3.19	Periodo Tradicional en la Recolección de la Caña de Azúcar en El Salvador por Estrato Analizado (%).....	52
3.20	Porcentaje de Frecuencias de Epocas de Recolección (Zafra) de Caña de Azúcar en El Salvador (%).....	54
3.21	Diferentes Usos de Residuos de Caña de Azúcar .....	55
3.22	Agricultores con Residuos Sobrantes .....	56
3.22a	Uso de los Residuos Sobrantes.....	57
3.23	Desventajas Manifestadas por los Agricultores al Destinar los Residuos a Fines Distintos a los Tradicionales (%).....	58
3.24	Combustibles de Mayor Uso por los Agricultores de Caña de Azúcar (%).....	59
3.25	Problemas más Frecuentes que Afrontan los Cañeros en El Salvador (%).....	61

No	TITULO DEL CUADRO	PAG.
3.26	Municipios Visitados para la Recolección de Muestras de Cafía de Azúcar en El Salvador.....	64
3.27	División en Regiones en El Salvador para Análisis de Muestras del Cultivo de Cafía de Azúcar, de Acuerdo a Zonas de Mayor Concentración.....	66
3.28	Resultados de las Pruebas de Densificación en Muestras de Residuos de Cafía de Azúcar .....	68
3.29	Resultados de Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Densificación en Kg/m <sup>3</sup> .....	69
3.30	Resultados de los Análisis de Humedad en Muestras de Residuos de Cafía de Azúcar Aplicación (%p/p).....	70
3.31	Resultados de la Evaluación Razón peso de Cogollo y Hoja por Peso de Cafía de Azúcar .....	71
3.32	Distribución de Análisis para Muestras de Cafía de Azúcar .....	72
3.33	Resultados de Prueba para Determinación de Fibra Neutro Detergente, Fibra Ácido Detergente, Celulosa, Lignina y Hemicelulosa en Muestras de Cafía de Azúcar (%p/p al 11.2527% de Humedad).....	73
3.34	Resultados Obtenidos de los Análisis de Azufre en Residuos de Cafía de Azúcar (%p/p al 11.2527% de Humedad).....	74
3.35	Resultados de la Aplicación de Intervalo de Confianza a Pruebas de Fibra Neutro Detergente, Fibra Ácido Detergente, Celulosa, Lignina y Hemicelulosa %p/p).....	75
3.36	Resultado de las Pruebas Calorimétricas en Cogollo y Hoja de Cafía de Azúcar en cal/gr a 11.2527% de Humedad.....	78
3.39	Resultados de la Aplicación de Intervalo de Confianza a Pruebas Calorimétricas Realizadas en Muestras de Residuos del Cultivo de Cafía de Azúcar .....	78

No	TITULO DEL CUADRO	PAG.
4.1	Épocas de Siembra Recomendadas para el Cultivo de Maíz en las Diferentes Zonas de El Salvador .....	80
4.2	Distanciamiento, Densidad de Siembra y Población para las Variedades de Maíz Cultivadas en El Salvador .....	74
4.3	Composición Química de la Planta y Grano de Maíz (% en Base Húmeda).....	81
4.4	Regionalización por Departamento en El Salvador según el MAG- DGEA para la Recolección de Información por Encuestas .....	83
4.5	Estratos por Uso Intensivo de Tierras en El Salvador .....	85
4.6	Producción y Rendimientos para el Cultivo de Maíz en El Salvador .....	86
4.7	Número de Productores de Maíz en El Salvador Determinados por la División General de Estadísticas Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería.....	87
4.8	Número de Agricultores de Maíz a Encuestar en El Salvador .....	87
4.9	Topografía de Terrenos donde se Cultiva Maíz en El Salvador .....	89
4.10	Principales Variedades de Maíz Cultivadas en El Salvador .....	89
4.11	Número de Cosechas por Año Obtenidas del Cultivo de Maíz .....	89
4.12	Áreas de Maíz Cultivadas por Región .....	90
4.13	Período Tradicional de Recolección de la Cosecha de Maíz .....	90
4.14	Época Aproximada de Recolección de la Cosecha de Maíz .....	90
4.15	Agricultores con Existencia de Residuos Sobrantes de Maíz .....	91
4.16	Diferentes Manejos de Residuos Sobrantes de Maíz .....	91
4.17	Conocimiento de Usos Posibles de los Residuos de Maíz por los Agricultores Salvadoreños .....	91
4.18	Ventajas o Desventajas al Utilizar los Residuos de Maíz para otros Fines Diferente a los Actuales.....	92
4.19	Interés por Parte de los Agricultores en Comercializar los Residuos de Maíz .....	92

No	TITULO DEL CUADRO	PAG.
4.20	Dificultades Manifestadas por los Agricultores en el Manejo de los Residuos de Maíz .....	92
4.21	Principales Combustibles Utilizados por los Agricultores de Maíz .....	93
4.22	Acceso a Electricidad en los Lugares donde Viven los Agricultores de Maíz .....	93
4.23	Acceso a Vehículos en las Zonas de Producción de Maíz .....	93
4.24	Medios de Transporte Utilizados por los Agricultores de Maíz .....	93
4.25	Principales Problemas para el Cultivo de Maíz Afrontados por los Agricultores en El Salvador .....	94
4.26	Topografía de Terrenos donde se Cultiva Maíz en El Salvador (en %).....	95
4.27	Principales Variedades de Maíz Cultivadas en El Salvador (%).....	96
4.28	Época Tradicional de Recolección de la Cosecha del Cultivo de Maíz (Respuesta en %).....	97
4.29	Porcentaje de Agricultores de Maíz Con y Sin Residuos Sobrantes.....	99
4.29a	Usos de los Residuos Sobrantes del Cultivo de Maíz (Respuesta en %).....	99
4.30	Principales Destinos de Residuos del Cultivo de Maíz en El Salvador (%).....	100
4.31	Principales Usos que Conocen los Agricultores que se les Puede Dar a los Residuos de Cosechas de Maíz en El Salvador (Respuesta en %).....	101
4.32	Desventajas Manifestadas por los Agricultores al Destinar los Residuos de Maíz Para otros Usos Distintos a los Tradicionales .....	102
4.33	Interés de los Agricultores en Comercializar los Residuos de Maíz .....	104
4.34	Dificultades en el Manejo de los Residuos del Cultivo de Maíz en El Salvador .....	105
4.35	Principales Combustibles Utilizados por los Agricultores de Maíz en El Salvador .....	107
4.36	Problemas que los Agricultores de Maíz Afrontan en Mayor Porcentaje .....	108

<u>No</u>	<u>TTULO DEL CUADRO</u>	<u>PAG.</u>
4.37	Puntos de Muestreo para la Recolección de Muestras de Maíz en El Salvador .....	110
4.38	Distribución de Análisis para Muestras de Maíz .....	111
4.38a	Selección y Combinación de Muestras de Residuos del Cultivo del Maíz para Análisis .....	112
4.38b	Nomenclatura Utilizada y Equivalente en las Muestras Analizadas para Residuos del Cultivo del Maíz.....	113
4.39	Resultado de Pruebas de Densificación en Muestras de Residuos de Maíz en El Salvador (Kg/m <sup>3</sup> ).....	115
4.40	Resultado de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Densificación de Residuos del Cultivo de Maíz .....	116
4.41	Resultados de los Análisis de Humedad en Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz.....	117
4.42	Resultados de las Pruebas de Razones peso (Peso de Residuos/Peso de Maíz) .....	118
4.43	Resultados de Pruebas de Fibra Neutro Detergente en Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz (en %p/p a una Humedad de 12.33% para la Tuza, 9.56% para el Olote, 11.12% para Hoja/caña y 10.67% para Muestras de Planta Completa).....	119
4.44	Resultados de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Fibra Neutro Detergente del Cultivo de Maíz (%p/p).....	120
4.45	Resultado de las Pruebas de Determinación de Fibra Ácido Detergente en Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz (en %p/p a una Humedad de 12.33% para la Tuza, 9.56% para el Olote, 11.12% para Hoja/caña y 10.67% para Muestras de Planta Completa).....	121
4.46	Resultados de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Fibra Ácido Detergente en Residuos del Cultivo de Maíz.....	122

No	TITULO DEL CUADRO	PAG.
4.47	Resultado de los Análisis de Celulosa y Lignina en Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz (en %p/p a una Humedad de 12.33% para la Tuza, 9.56% para el Olote, 11.12% para Hoja/caña y 10.67% para Muestras de Planta Completa).....	123
4.48	Resultados de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Contenido de Celulosa en Residuos del Cultivo del Maíz (%p/p).....	124
4.49	Resultados de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Contenido de Lignina en Residuos del Cultivo de Maíz (%p/p).....	125
4.50	Resultados de las Evaluaciones para Determinación de Hemicelulosa en Residuos del Cultivo del Maíz (en %p/p a una Humedad de 12.33% para la Tuza, 9.56% para el Olote, 11.12% para Hoja/caña y 10.67% para Muestras de Planta Completa).....	126
4.51	Resultado de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Contenido de Hemicelulosa en Residuos del Cultivo de Maíz %p/p).....	127
4.52	Resultados de los Análisis de Contenido de Azufre en Muestras de Residuos del Cultivo del Maíz (en %p/p).....	128
4.53	Resultados de las Pruebas Calorimétricas en Residuos del Cultivo del Maíz en Cal/gr (Humedad de 12.33% para la Tuza, 9.56% para el Olote, 11.12% para Hoja/caña y 10.67% para Muestras de Planta Completa).....	129
4.54	Resultados de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas del Poder Calorífico en Residuos del Cultivo del Maíz (en Cal/gr).....	131
5.1	Resultados de la Evaluación del Poder Calorífico Neto (P.C.N) en Residuos del Cultivo de la Caña de Azúcar en El Salvador a 11.2527% de Humedad.....	135

<u>No</u>	<u>TITULO DEL CUADRO</u>	<u>PAG.</u>
5.2	Resultados de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas de Evaluación del Poder Calorífico Neto en Residuos del Cultivo de la Caña de Azúcar en El Salvador en Kcal/Kg.....	135
5.3	Resultados de las Evaluaciones del poder Calorífico Neto (P.C.N) en Muestras de Residuos del Cultivo del Maíz (Humedad de 12.33% para la Tuza, 9.56% para el Olote, 11.12% para Hoja/caña y 10.67% para Muestras de Planta Completa).....	136
5.4	Promedio Global del Poder Calorífico Neto de Residuos del Cultivo de Maíz en El Salvador (Humedad de 12.33% para la Tuza, 9.56% para el Olote, 11.12% para Hoja/caña y 10.67% para Muestras de Planta Completa).....	138
5.5	Resultados de la Aplicación de Intervalos de Confianza a Pruebas del Poder Calorífico Neto (P.C.N) a Residuos del Cultivo del Maíz en Kcal/Kg.....	138
5.6	Fracciones Peso de Olote, Tuza, Caña y Hoja en las Muestras Analizadas .....	140
5.7	Comparación del Poder Calorífico de la Planta Completa Determinado Experimentalmente y Calculado a partir de sus Constituyentes, para Residuos del Cultivo de Maíz en Kcal/Kg .....	141
5.8	Poder Calorífico de Algunos Combustibles de Uso Convencional en El Salvador.....	143
5.9	Retrospectiva, Superficie, Producción y Rendimiento de Producción para Caña de Azúcar 1984/85-1994/95.....	144
5.10	Cantidad de Residuos Generados Serie 1984/85-1994/95 para el Cultivo de Caña de Azúcar.....	145
5.11	Retrospectiva, Superficie, Producción y Rendimiento de Producción del Cultivo del Maíz en El Salvador 1984/85-1994/95.....	148

<u>No</u>	<u>TITULO DEL CUADRO</u>	<u>PAG.</u>
5.12	Cantidades de Residuos Generados para el Cultivo de Maíz en Toneladas.....	148
5.13	Resultados Generales Obtenidos de la Encuesta Realizada a los Productores de Caña de Azúcar.....	151
5.14	Resumen de Cantidades Totales de Residuos de Caña de Azúcar Generados y Cantidades que se Queman en el Campo para el Periodo 1988/89-1994/95.....	152
5.15	Resultados Generales Obtenidos de la Encuesta Realizada a los Productores de Maíz.....	154
5.16	Resumen de Cantidades Totales (en Toneladas) de Residuos de Maíz Generados y Cantidades que se Queman y Desperdician en el Campo para el Periodo 988/89-1994/95.....	154
5.17	Oferta, Demanda y Déficit de Energía Proveniente del Recurso Leña y Oferta de Residuos de Bagazo de Caña y Cascarilla de Café en El Salvador.....	158
5.18	Potencial Energético Evaluado en este Estudio para los Residuos Totales Generados y Disponibles de los Cultivos de Caña de Azúcar y Maíz en El Salvador (Tcal), Periodo 1989-1995 .....	158
5.19	Porcentaje del Potencial Energético que Podría Cubrirse del Déficit al Utilizar los Residuos del Cultivo de Caña de Azúcar y Maíz como Energético .....	161

## INDICE DE FIGURAS

No	TITULO DE FIGURA	PAG.
3.1	Principales Variedades de Caña de Azúcar Cultivadas en El Salvador .....	50
3.2	Porcentajes de Frecuencia de Número de Cortes Realizados en los Cultivos de Caña de El Salvador .....	51
3.3	Periodo Tradicional en el cual los Productores de Caña de Azúcar Recolectan sus Cosechas en El Salvador .....	53
3.4	Porcentaje de Frecuencias de Epocas de Recolección (zafra) de Caña de Azúcar en El Salvador .....	54
3.5	Principales Usos de Residuos de Caña de Azúcar en El Salvador .....	56
3.6	Porcentaje de Agricultores con Residuos Sobrantes de Caña de Azúcar .....	57
3.7	Desventajas Manifestadas por los Agricultores al Utilizar los Residuos de Caña de Azúcar para Fines Diferentes a los Actuales .....	58
3.8	Principales Combustibles Utilizados por los Agricultores de Caña de Azúcar en El Salvador .....	60
3.9	Problemas más Frecuentes para Cultivar Caña de Azúcar en El Salvador .....	61
3.10	Modelo de Gráfica de Temperatura Versus Tiempo para la Determinación del Poder Calorífico (Muestra mII).....	77
4.1	Topografía de Terrenos donde se Cultiva Maíz en El Salvador .....	95
4.2	Principales Variedades de Maíz Cultivadas en El Salvador .....	96
4.3	Época Tradicional de Recolección de la Cosecha del Cultivo de Maíz .....	91
4.4	Agricultores Con y Sin Residuos Sobrantes en El Salvador .....	99
4.5	Manejo Actual de los Residuos del Cultivo de Maíz .....	100
4.6	Principales Usos de Residuos de Maíz por Región en El Salvador .....	102
4.7	Desventaja Manifestada por los Agricultores al Utilizar los Residuos de Maíz para Fines Distintos a los Tradicionales .....	103

<u>No</u>	<u>TITULO DE FIGURA</u>	<u>PAG.</u>
4.8	Interés de los Agricultores por Comercializar los Residuos de Maíz en El Salvador .....	104
4.9	Principales Dificultades que tienen los Agricultores de Maíz en el Manejo de los Residuos .....	106
4.10	Principales Combustibles Utilizados por los Agricultores de Maíz .....	107
4.11	Problemas más Frecuentes que Afrontan los Agricultores de Maíz en El Salvador .....	108
5.1	Cantidades de Residuos Generados del Cultivo de Caña de Azúcar en el Período 1985-1995.....	146
5.2	Cantidades de Residuos Generados por Año para el Cultivo de Maíz en el Período 1985-1995.....	149
5.3	Demanda y Oferta de Energía Proveniente de Leña que se Consume en El Salvador .....	155
5.4	Comparación del Potencial Energético Total y Disponible de Residuos del Cultivo de Caña de Azúcar y Maíz con el Déficit de Potencial Energético por Demanda Exesiva de Leña y Oferta Energética de Residuos Agroindustriales (Bagazo de Caña y Cascarilla de Café) .....	160

## INTRODUCCIÓN

La transición a un sistema energético sostenible debe de ser un objetivo del mundo en general, El Salvador como cualquier país en vías de desarrollo tiene pocas posibilidades de lograr sus metas básicas de desarrollo si sigue el camino energético de las naciones desarrolladas, debido a que sus tecnologías son creadas de acuerdo a las características propias de sus recursos.

El Salvador, tiene un potencial sin explotar en el área de fuentes renovables de energía, para lo cual tiene que auxiliarse de las investigaciones científicas y técnicas que han hecho personas e instituciones independientes, y también realizar sus propias investigaciones para poder conocer cuales son los recursos que se pueden utilizar, y poder así establecer y determinar los alcances que estos tienen en cuanto a su potencial energético.

De la distribución de usos de suelos en el territorio salvadoreño, presentada en cuadro 1.6, se tiene que en el año 1996 un 14.97% (450,000 Mz), se utiliza para la siembra del cultivo de Maíz, y un 2.45% (75,000 Mz) para el cultivo de la caña de azúcar, generando estos cultivos grandes volúmenes de residuos en sus cosechas en todo el país y de potencial como energéticos a determinarse en este estudio.

Según el Balance Energético Nacional de CEL(1988 - 1995), para ese período en la producción nacional de energía de El Salvador, los residuos vegetales ocuparon entre un 10.5% a un 11.1% de la producción nacional de energía primaria por fuente. Los residuos vegetales así contabilizados, toman mucha importancia al sustituir a los derivados del petróleo para la generación de energía en la industria azucarera y en el beneficiado de café. Ocupándose en estos procesos bagazo de caña, cascarilla y pulpa de café, que son considerados residuos agroindustriales.

Los residuos de vegetales como los de maíz, estopa de coco, zacate de arroz y cogollo y hoja de caña de Azúcar que son utilizados como energéticos de uso directo, alimento de animales, para algunos usos domésticos y artesanales, no son considerados en los balances energéticos de CEL, lo que viene siendo el objeto de este estudio, orientado específicamente a los residuos de cosechas de caña de azúcar y maíz.

El uso de la leña en los hogares salvadoreños es una necesidad para las labores de cocina, por otra parte las agroindustrias de El Salvador no se encuentran totalmente tecnificadas y sus procesos son altamente ineficientes, por esta razón muchas de las agroindustrias de éste país ocupan grandes cantidades de leña para poder echar a andar sus procesos, tal como ocurre en el beneficiado de café que, lamentablemente, afecta negativamente al medio ambiente, por lo que se debe de buscar un punto de equilibrio que satisfaga las necesidades energéticas agroindustriales y hogareñas, sin que se de un deterioro ambiental. Según el Balance Energético Nacional de CEL, la leña representó para los años de 1988 a 1995 entre el 48.3% al 56.4% de la producción nacional de energía primaria, y para el año de 1995 alcanzó un consumo del 53.8% del total de las formas de energías primarias en El Salvador, con esto la leña alcanza el primer lugar en consumo de las formas de energía primaria (cuadro 1.1).

El objetivo de esta investigación es el caracterizar los residuos de los cultivos de caña de azúcar y maíz, para determinar el potencial energético que éstos representan como fuentes renovables de energía, esperando dar un aporte para la solución de la problemática energética nacional; en lo que concierne a la sustitución del uso de la leña principalmente, con los consecuentes beneficios en la problemática de la deforestación.

## **1.0 PANORAMA ENERGÉTICO DE EL SALVADOR Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES DE ENERGÍA EN EL SALVADOR**

El Salvador dispone de muchas formas para generar energía de uso final, existe la generación de electricidad a partir de centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, y geotérmicas; para la generación de energía calorífica se tiene leña, carbón vegetal, residuos o subproductos agroindustriales, residuos vegetales agrícolas y derivados de hidrocarburos en general.

Las fuentes convencionales de energía, tienen cada una sus propios inconvenientes. La generación hidroeléctrica depende de la existencia de suficiente agua en los embalses, lo cual lo hace depender de cierta forma, de aspectos climatológicos como la lluvia y de aspectos fisico-químicos como la evaporación de las aguas de los embalses y sedimentos acumulados en las presas. Por otra parte la obtención de energía proveniente de hidrocarburos, depende de la importación de éstos y además la quema de estos genera emisiones de gases y vapores contaminantes del medio ambiente.

### **1.1 Formas de Energía Primaria y su Uso en El Salvador**

Las energías primaria son las distintas formas de energías tal y como son obtenidas de la naturaleza, sin ningún proceso de transformación. En el cuadro 1.1, se presentan las cantidades que entran a procesos de transformación de las principales formas de energía primaria en El Salvador, para el periodo 1988 - 1995; en dicho cuadro se observa que las cantidades totales procesadas de leña y de residuos vegetales tienden a incrementar en porcentaje con respecto a las otras fuentes de energía; mientras que la Energía Hidráulica y el Petróleo presentan altas y bajas; observando que para la Energía Geotérmica se da una disminución y luego un apreciable incremento de 1994 a 1995, esto debido a la apertura de la Planta Geotérmica en Berlín. De estas cinco fuentes de energía primaria, La leña presenta el mayor porcentaje variando de 1988 a 1995 desde 10,187.2 a 16,029.8 Tcal

para un rango porcentual de consumo de 42.3 a 53.8% con respecto a las otras fuentes de Energía. De la sección 1.1.1 a la 1.1.5 se presenta un análisis de cada una de las formas de energía primaria para El Salvador.

### 1.1.1 Leña

La Leña es el principal fuente energética en los hogares salvadoreños, de tal manera que el 75% de todos los hogares de El Salvador y el 90% de los hogares del campo y de los barrios marginales urbanos cocinan con Leña, gastando un promedio de 3.1 Kg/persona; siendo una de sus causas la baja eficiencia de las cocinas tradicionales de fuego abierto, las cuales desperdician el 90% del calor (González Trabanino, 1995).

La enorme demanda de leña en los hogares salvadoreños la suple en un 40% la poda de cafetales y el resto, los bosques naturales y los árboles dentro de las fincas. Según los estudios de CEL (1995), para 1980, ya la demanda superaba la capacidad de abastecimiento de estas fuentes tradicionales.

La oferta y demanda de las fuentes primarias de energía deben ser magnitudes iguales para mantener un equilibrio energético (cuadro 1.1 Demanda y cuadro 1.2 Oferta), lo cual no sucede con la leña. El balance de esta fuente energética generó en 1995 un déficit de 4,265.0 Tcal; este déficit resultante es producto del consumo desmedido del recurso leña, principalmente en sector residencial, debido a que se está utilizando la oferta de años futuros sin que se permita la recuperación natural de dichos recursos, además, el crecimiento de las fronteras agrícolas y urbanas contribuyen también a la deforestación acelerada que vive el país (CEL, 1995).

La importancia que tiene el recurso leña en el que hacer energético y ecológico en el país, hace necesaria la realización de investigaciones y estudios de campo, que proporcionen datos actualizados sobre la problemática de este recurso, y las posibles

fuentes energéticas para su substitución; lo que es objeto de estudio de este proyecto, en lo que concierne al uso de residuos agrícolas de los cultivos de la caña de azúcar y maíz.

### 1.1.2 Energía Geotérmica.

Los campos geotérmicos de El Salvador, como los de la mayor parte del mundo, son de origen volcánico y la actividad mediante la cual se manifiestan en la superficie del terreno, en forma de ausoles, fuentes termales, fumarolas, etc., es conocida como actividad volcánica atenuada.

La energía geotérmica en El Salvador se viene utilizando para producir electricidad desde 1975, cuando en el campo geotérmico de Ahuachapán se instaló la primera unidad de 30 MW, luego una segunda unidad con la misma capacidad entró en operación comercial en 1977 y finalmente en el mismo campo se instaló en 1981 una tercera unidad de 35 MW. En 1992 se incorporaron dos unidades de 5 MW en el campo geotérmico de Berlín, Usulután; con lo cual se dispone a la fecha de una capacidad instalada total de 105 MW del recurso geotérmico.

En 1995, la extracción total de la energía geotérmica fue de 4,332.1 Tcal (cuadro 1.2), de la cual un 76.6% es del campo de Ahuachapán y un 23.4% del campo de Berlín, Usulután (CEL, 1995). Actualmente se están perforando 16 pozos geotérmicos en Berlín, Usulután con los que se pretende generar una cantidad de 55 MW, y 10 pozos en Chipilapa, Ahuachapán para alcanzar 45 MW de potencia, adicionales a los 45 MW con que cuenta la central geotérmica de Ahuachapán. En total se estarían generando 100 MW de potencia para finales de 1999 ó principios del año 2000 (Molina, 1997).

### 1.1.3 Petróleo

La oferta de petróleo en El Salvador es abastecida únicamente por importación, dado que no existen reservas probadas de hidrocarburos, el cual constituye la principal fuente comercial de energía para El Salvador.

Para el año 1995, la importación de petróleo fue de 5,568,403 barriles (7,771.8 Tcal), de los cuales 2,171,158 (39.0%) fueron importados de Venezuela, 1,453,451 barriles (26.1%) de Ecuador, 1,362,949 (24.5%) barriles de Bolivia, 385,484 barriles (6.9%) de Chile, y 195,361 barriles (3.5%) de Colombia.

De la importación de petróleo, se destinaron 5,372,164 barriles (7,497.9 Tcal) para ser transformados a derivados de petróleo en la refinería (RASA), 186,100 barriles (259.7 Tcal) fueron a inventarios y 10,140 barriles (14.2 Tcal) constituyeron las pérdidas en proceso y otros (CEL, 1995). El cuadro 1.1 presenta las importaciones de petróleo realizadas en los años de 1988 a 1995, siendo transformados en derivados del petróleo en Refinerías para ser utilizado en vehículos automotores y combustible en procesos industriales principalmente.

### 1.1.4 Residuos vegetales.

Los energéticos constituidos por residuos vegetales son parte de los bioenergéticos (biomásicos), y en El Salvador existe un potencial aún no explorado. Dentro de ellos se cuentan los residuos agroindustriales, residuos agrícolas, pecuarios, desechos urbanos, etc.

Actualmente estos residuos no se contabilizan en el Balance Energético Nacional, de CEL, por no disponer de investigaciones actualizadas de ellos, exceptuando los residuos provenientes de la producción de azúcar y café, los cuales son consumidos en gran parte por las misma agroindustria que los produce. La oferta energética proveniente de los

residuos de café (pulpa y cascarilla) y bagazo de caña de Azúcar es de 2,320.7 Tcal (cuadro 1.1) para el año de 1995; mientras la energía aprovechada como combustible para 1995 fue de 1,885.3 Tcal (cuadro 1.2), por lo que contrario al caso de la leña, existe un excedente de 435.4 Tcal y podría utilizarse en otros procesos que usan energía de uso directo o indirecto, como la misma leña.

### **1.1.5 Energía Hidráulica**

El principal recurso hidráulico del país lo constituye el río Lempa, en el cual existe actualmente una capacidad instalada de 388 MW, equivalente sólo al 27.7% de su potencia hidroeléctrica total (1,398.6 MW). La explotación energética actual del río está distribuida en cuatro plantas hidroeléctricas y se presentan en el cuadro 1.3, las cuales tienen 45, 35, 21 y 15 años de operación en su orden para el año 1997. Los mayores problemas de disminución de su eficiencia radican en el asolvamiento de las presas, consecuencia directa de la deforestación que a su vez tiene relación con el consumo de leña como fuente primaria de energía.

**CUADRO 1.1**  
**CANTIDAD Y ESTRUCTURAS DEL DESTINO DE LAS FORMAS DE ENERGÍA PRIMARIA**  
**EN EL SALVADOR QUE ENTRAN A PROCESOS DE TRANSFORMACION, EXPRESADAS EN**  
**TCAL. PERIODO 1988 - 1995**

<b>Año</b>	<b>Energía Hidráulica</b>	<b>Energía Geotérmica</b>	<b>Leña</b>	<b>Res. vegetales</b>	<b>Petróleo</b>
1988	-	-	-	-	-
1989	1600.8	2885.6	10340.0	1130.5	6817.0
1990	1842.8	2692.3	10187.2	1628.9	6832.0
1991	1407.9	2701.9	10353.5	1989.1	7774.4
1992	1542.9	2623.4	10666.4	2081.9	8276.4
1993	1737.2	2323.8	15006.3	1961.1	9275.9
1994	1607.9	2080.3	15677.6	1722.3	8447.1
1995	1618.9	2769.7	16029.8	1885.3	7497.9
<b>Composición Porcentual</b>					
<b>Año</b>	<b>Energía Hidráulica</b>	<b>Energía Geotérmica</b>	<b>Leña</b>	<b>Res. vegetales</b>	<b>Petróleo</b>
1988	6.3	12.2	45	6.7	30.5
1989	7.0	12.7	45.4	5.0	29.9
1990	8.0	11.6	43.9	7.0	29.5
1991	5.8	11.2	42.7	8.2	32.2
1992	6.1	10.4	42.3	8.3	32.9
1993	5.7	7.7	49.5	6.5	30.6
1994	5.5	7.0	53.1	5.8	28.6
1995	5.4	9.3	53.8	6.3	25.2

Balance Energético Nacional, CEL (1988 - 1995)

1 Tcal = 1 E 9 Kcal

**CUADRO 12**  
**PRODUCCIÓN NACIONAL (ORIGEN) DE ENERGÍA POR FUENTE SERIE 1988-1995 (TCAL)**

Año	Hidroenergía	Geoenergía	Lefia	Res. vegetales	Total
1988	2,621.6	4,163.3	7,941.0	1,730.7	16,456.6
1989	2,925.6	4,486.2	7,862.0	1,290.5	16,564.3
1990	2,653.4	4,131.6	7,747.0	1,928.5	16,460.5
1991	1,518.9	4,027.1	7,609.6	2,539.5	15,695.1
1992	2,120.7	4,308.4	7,689.7	2,567.8	16,686.6
1993	2,159.3	3,828.1	11,771.9	2,425.2	20,184.5
1994	1,592.1	3,689.0	11,787.2	2,187.2	19,255.5
1995	2,435.1	4,332.1	11,764.8	2,320.7	20,852.7
Composición Porcentual					
Año	Hidroenergía	Geoenergía	Lefia	Res. vegetales	Total
1988	15.9	25.3	48.3	10.5	100.0
1989	17.7	27.1	47.5	7.8	100.0
1990	16.1	25.1	47.1	11.7	100.0
1991	9.7	25.7	48.5	16.2	100.0
1992	12.7	25.8	46.1	15.4	100.0
1993	10.7	19.0	58.3	12.0	100.0
1994	8.3	19.2	61.2	11.4	100.0
1995	11.7	20.8	56.4	11.1	100.0

Balance Energético Nacional, CEL (1995)

**CUADRO 13**  
**CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE EL SALVADOR**

Nombre de la Planta	Potencia Instalada MW al 31/12/95	Año de Entrada en Operación
5 de Noviembre	81.4	1954
Guajoyo	15.0	1963
Cerrón Grande	135.0	1977
15 de Septiembre	156.6	1983
<b>Total de Potencia Instalada.....</b>	<b>388.0 MW</b>	

Balance Energético Nacional, CEL (1995)

## **1.2 Potencial de las Energías Renovables en El Salvador**

### **1.2.1 Biomasa**

De acuerdo a Chávez (1993), la biomasa tiene un gran potencial energético en El Salvador. En el cuadro 1.4 se presenta el potencial Energético que se puede generar a partir de residuos de cultivos tradicionales y animales domésticos en El Salvador. Es objeto de este estudio el determinar el potencial energético real y la facilidad del manejo de los residuos de cultivos de Caña de Azúcar y Matz, que son dos de las mayores fuentes alternas de acuerdo a la información del cuadro 1.4.

### **1.2.2 Sol**

Una revisión de los registros de radiación solar de las 23 estaciones meteorológicas de El Salvador indica que la energía solar es grande, en las tres cuartas partes del territorio nacional hay en promedio aproximadamente 7 horas de luz solar por día en el año. De acuerdo a esto, el potencial solar no solo es elevado y uniformemente distribuido, sino que las condiciones climáticas prevalecientes son favorables para su aprovechamiento en casi todo el año (Chávez, 1993). La energía solar es abundante y podría satisfacer gran parte de las necesidades actuales y futuras, además de ser limpia y no contaminante, si solo se utilizara el 0.64 % de eficiencia para la conversión de la energía solar a eléctrica se podría generar 15 veces la energía producida por la CEL en 1991.

### **1.2.3 Viento.**

El viento tiene un potencial limitado en El Salvador, aunque su aprovechamiento no debe descartarse en lugares como la costa del pacífico, la cordillera de Apaneca, la zona norte y algunos cerros (Chavéz, 1993).

Las fuentes renovables de energía (Viento, Sol, Biomasa) se pueden aprovechar con diversas tecnologías como: Molinos de Viento, Secador Solar, Estufas Mejoradas, Briquetas con el objetivo de minimizar el consumo de Lefia, que ya no es suficiente para cubrir la demanda debido al crecimiento poblacional de los últimos años. Con las tecnologías mencionadas se pueden utilizar en la conservación de alimentos, generación de electricidad, Higiene personal (Ver cuadro 1.5).

**CUADRO 1.4**  
**POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA EN EL SALVADOR**

<b>Biomasa</b>	<b>Potencial (TPE)</b>
Desechos de caña	171,185.00
Desechos de bovino	93,332.00
Residuos de maíz	59,470.00
Aguas residuales del café	35,265.00
Residuos del maicillo	17,231.00
Cascarilla de café	14,159.00
Pulpa de café	11,704.00
Granza de arroz	8,103.00
Jugo de pulpa de café	3,427.00
Desechos de porcinos	2,363.00
Jacinto acuático	40.00
<b>Total</b>	<b>417,279.00</b>

TPE: Toneladas de petróleo equivalente

Chávez (1993)

**CUADRO 1.5**  
**TECNOLOGÍAS Y AREAS DE APLICACION DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA**

Fuente	Tecnología	Materia Prima	Productos Finales	Área de Aplicación
Viento	Molino			Generación de electricidad, Accionado de motores, molinos, usos varios
Sol	Celdas fotovoltaicas	Energía solar	Electricidad	Iluminación, Bombeo de agua, Preservación de vacunas
	Secador Solar	Cosechas húmedas	Cosechas secas	Conservación de alimentos
	Destilador solar	Agua contaminada	Agua estéril	Medicina, Higiene
	Calentador Solar	Agua fría	Agua caliente	Cocción de alimentos Potabilización, Lavado, Aseo personal
	Concentrador Solar	Energía solar	Electricidad, Vapor	Industrias, Comunidades
Biomasa	Bosques Energéticos		Leña	Control de erosión, Recuperación ambiental, Cocción de alimentos
	Estufas mejoradas	Leña, Desechos agrícolas		Cocción de alimentos
	Digestores Anaerobios	Estiércol, Aguas residuales	Biogás, Bioabono	Cocción de alimentos, Iluminación, Generación eléctrica, Transporte
	Briqueta	Desechos vegetales, Plantas acuáticas	Briqueta (sustituto de leña)	Cocción de alimentos, Industrias
	Gasificador	Desechos vegetales	Gas pobre	Cocción de alimentos, Motores, Industrias
	Convertidor Catalítico	Leña, Desechos vegetales	Carbón	Cocción de alimentos

Lardé y Salinas (1993)

### **1.3 Biomasa Natural Como Recurso Energético.**

Se le denomina también biomasa primaria y es la que se produce en la naturaleza sin la intervención del hombre; su utilización debe ser cuidadosamente controlada, ya que explotación masiva ha provocado la rápida degradación del ecosistema. Son ejemplos de biomasa natural los bosques, matorrales, herbazales, etc. Un correcto programa de explotación conlleva a la mejora del sistema e incluye el aprovechamiento de los residuos procedentes de las podas y claros que deban llevarse a cabo, además de las partes muertas de los vegetales (Chávez, 1993)

La leña y los residuos agrícolas constituyen aún la fuente principal de energía utilizada por la humanidad. El crecimiento de la población ha llevado a una demanda que supera la capacidad de regeneración de este tipo de biomasa, siendo una de las causas que ha dado lugar a la acelerada deforestación, que en El Salvador ha alcanzado niveles alarmantes, con la consecuente erosión de las tierras y, un aumento del efecto "invernadero", pues no solo se produce CO<sub>2</sub> durante la combustión de dicha biomasa, si no que además se disminuye la capacidad de fijarlo por medio de la fotosíntesis de las plantas mismas (Chávez, 1993)

Para resolver el problema de suministro de biomasa para la combustión se ha sugerido soluciones tendientes a un aumento en la productividad de los cultivos agrícolas tradicionales de granos básicos y caña de azúcar, ya que estos son generadores de desechos que vendrían a solucionar un poco el problema al aprovechar el potencial energético que estos representan, objeto de estudio de esta investigación.

#### **1.4 Distribución de Usos de Suelos y Generación de Residuos Vegetales Agrícolas en El Salvador**

El Salvador por ser un país agrícola (Ver anexo I el mapa de Distribución de uso de suelos), genera gran cantidad de residuos que no se aprovechan en su totalidad, por lo que es de suma importancia el objeto de este estudio, enfocado a los residuos generados por los cultivos de maíz y caña de azúcar, para utilizarlos como fuente de energía de uso directo o indirecto como posibles sustitutos de la leña. La crisis energética que atraviesa El Salvador, conlleva al uso desproporcionado de la leña tal como se planteó en la sección 1.1.

En el cuadro 1.6, se presentan los cultivos más importantes que realizan en El Salvador con sus respectivas áreas cultivadas en manzanas (Mz.), todas las cosechas de estos cultivos generan residuos que en la actualidad no son aprovechados en su totalidad.

Los cultivo de caña de Azúcar y Maíz, son los que se cultivan en mayor cantidad en sus respectivos grupos, semipermanentes y Granos Básicos con áreas de 75,000 y 450,400 Manzanas y porcentajes de 2.495 y 14.97% del total de manzanas que se destinan a los cultivos en El Salvador (cuadro 1.6). El anexo I presenta las áreas disponibles y que son aptas para los diferentes cultivos en El Salvador, encontrándose que la mayor parte de áreas (62.18%) son aptas para el cultivo de maíz. Otro tipo de cultivos reportados en el cuadro 1.6 y en el mapa del anexo I, y que generan rastrojos son arroz, coco, sorgo (maicillo), frijol; los cuales serían objeto de estudio para su caracterización como fuente potencial de energía, en una segunda parte de este proyecto.

**CUADRO 1.6**  
**SUPERFICIE CULTIVADA Y USOS DE LA TIERRA A NIVEL NACIONAL 1994/95**

Cultivo	Superficie	
	Manzanas	Porcentaje de Tierra cultivada
<b>Agricultura</b>	<b>1,067,750</b>	<b>35.530</b>
<b>Cultivos Anuales</b>	<b>708,550</b>	<b>23.570</b>
<b>Granos Básicos</b>	<b>665,500</b>	<b>22.140</b>
Maíz	450,400	14.970
Maicillo	97,300	3.240
Frijol	96,500	3.210
Arroz	21,300	0.710
<b>Cultivos Agroindustriales</b>	<b>25,175</b>	<b>0.840</b>
Algodón	2,575	0.086
Ajonjolí	18,000	0.599
Tabaco	1,100	0.037
Kenaf	1,000	0.033
Otros	2,500	0.083
<b>Cultivos Hortícolas</b>	<b>17,875</b>	<b>0.595</b>
Tomate	3,975	0.132
Sandía	6,200	0.206
Yuca	4,200	0.140
Melón	2,500	0.832
Otros	1,000	0.033
<b>Cultivos Semi-Permanentes</b>	<b>92,200</b>	<b>2.495</b>
Cafía de Azúcar	75,000	2.495
Cafía Panela	3,000	0.100
Piña	1,000	0.033
Musáceas	9,200	0.306
Otros	4,000	0.133
<b>Cultivos Permanentes</b>	<b>267,000</b>	<b>8.882</b>
Café	233,000	7.751
Henequen	12,000	0.399
Naranja	8,000	0.266
Coco	8,000	0.266
Marañón	6,000	0.200
<b>Ganadería</b>	<b>876,000</b>	<b>29.150</b>
Pasto natural	800,000	26.614
Pasto Cultivado	76,000	2.528
<b>Forestal</b>	<b>260,000</b>	<b>8.650</b>
Sin uso Agrícola	117,268	3.900
Sin posibilidad de Uso Agrícola	684,439	22.77
<b>Total</b>	<b>3,005,457 Mz</b>	<b>100.00</b>

MAG-DGEA (1995):

Nota: El cuadro 1.6 es una estimación preliminar sujeto a revisión.

## 2.0 PROCESOS Y TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

Del conjunto de materiales que componen la biomasa puede obtenerse una gran variedad de productos, comparable en cantidad y número a los derivados del carbón y del petróleo, de interés para su uso energético, agrícola e industrial. Dada la importancia que representan los rastrojos de caña de azúcar y maíz como biomasa con un gran potencial energético en diversas formas de su conversión, se presenta en esta sección un resumen general de las diferentes rutas de conversión de la biomasa en energía útil, según estudio realizados por Carrasco (s.f.p), en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España; a menos que se indique otro autor en forma específica; lo que servirá de base al estudio posterior que se efectúe sobre como utilizar en su mejor forma los residuos mencionados como potencial fuente energética.

Carrasco, sostiene que a pesar del enorme potencial que presentan las rutas de conversión de la biomasa, tan solo un número relativamente reducido de éstas (biomasas), tiene en la actualidad una aplicación comercial. Este hecho es debido en muchas ocasiones a la falta de viabilidad de las mismas asociada, fundamentalmente, al alto costo de las materias primas, pero otras veces motivado por una falta de desarrollo de los procesos y tecnologías precisos para verificar las transformaciones necesarias.

En el sentido expuesto, la investigación y desarrollo tecnológico de nuevos procesos para la utilización de la biomasa así como el de las ya existentes, la investigación de nuevas aplicaciones y productos, junto con la consecución de materias primas de menor costo a las actuales, constituyen los pilares básicos sobre los que en estos momentos se sustenta la viabilidad futura de estos recursos, Castillo Machuca (1996).

En muchos casos la investigación y desarrollo mencionados van parejos a los que se están llevando a cabo en otras áreas que dan lugar a productos o aplicaciones

(s.f.p) = Sin fecha de publicación

semejantes. Así ocurre, por ejemplo, con la fermentación y combustión de la biomasa, donde se están asimilando las nuevas tecnologías incorporadas por la industria agroalimentaria y del sector térmico del carbón, respectivamente.

Sin embargo, las características específicas de los materiales biomásicos hace que no siempre las conclusiones sobre la viabilidad de estos procesos y tecnologías sean aplicables de la misma forma al recurso renovable y, en todo caso, suele ser precisa una adaptación notable de unos y otras a las realidades y nuevos usos de las materias primas biomásicas.

## **2.1 Tipos de Procesos de Conversión de Biomasa**

Atendiendo a la naturaleza del agente principal que produce la transformación pueden distinguirse cuatro tipos de procesos de conversión de la biomasa: físicos, químicos, biológicos y termoquímicos.

### **a. Procesos Físicos**

como su nombre indica, son procesos basados en la actuación de diferentes agentes físicos sobre la biomasa. En general, están asociados a fases primarias de transformación, dentro de lo que suele denominarse fase de acondicionamiento o preparación de la biomasa.

A diferencia de los otros métodos, no producen cambios substanciales en la composición química de las biomosas tratadas, si bien, en ocasiones producen una separación de las distintas fracciones de la biomasa. Su finalidad principal es la de dar lugar a productos que presenten características más favorables que la biomasa original, de acuerdo a los requisitos de las etapas posteriores del proceso de transformación.

En este grupo pueden incluirse el fraccionamiento mecánico, en sus diversas facetas de picado o cortado, astillado, molienda, etc.; la extracción de componentes biomásicos por difusión utilizando agua u otros agentes químicos como extragentes; la filtración por prensado o centrifugación y la compactación por acción mecánica para la producción de pelets y briquetas. A si mismo se incluye como operación muy importante en diferentes procesos, el secado de la biomasa, tanto de tipo natural, basado en el oreo al aire de los materiales o en los procesos termogénicos que ocurren en el interior de los montones de biomasa, o el secado forzado que se produce al poner en contacto la biomasa con aire seco y caliente producido artificialmente.

En los procesos de acondicionamiento de la biomasa se suelen emplear dos o más de estos métodos combinadamente a fin de optimizar dicha preparación y lograr un producto de características precisas.

#### b. Procesos Químicos

Estos procesos están relacionados, por una parte, con reacciones de degradación o digestión química, generalmente mediante hidrólisis, de los componentes de la biomasa: poliazúcares (almidón, celulosa, hemicelulosa) y lignina, para dar lugar a compuestos más simples como lo son los monosacáridos en el caso de los primeros, de gran interés en la obtención de productos energéticos (bioetanol) y derivados fenólicos de la lignina, muy apreciados por la industria química para la fabricación de plásticos, resinas, etc. Dentro de este grupo se incluye asimismo la digestión química de los materiales lignocelulósicos utilizados en la fabricación de la pasta del papel y del papel.

Otro ejemplo químico típico de conversión de la biomasa es la denominada transesterificación de aceites vegetales, consistente en una reacción de estos productos con alcoholes como el metanol y etanol, para dar lugar a ésteres, denominados

genéricamente biogases o biodiesel, debido a que se pueden utilizar en motores diesel en sustitución del gasóleo.

### c. Procesos Biológicos.

Son llevados a cabo por la acción directa sobre la biomasa de microorganismos o de sus enzimas que, generalmente, tiene también un origen microbiano. En el primer caso estos procesos reciben el nombre genérico de fermentaciones.

Dada la enorme diversidad de rutas biológicas microbianas, este tipo de procesos presentan un gran número de posibilidades estando relacionados tanto como la producción de biocombustibles (bioetanol) y de productos químicos (ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas y polímeros de diferente naturaleza) como en el tratamiento de residuos orgánicos. Ejemplos más significativos de este último caso son la llamada digestión o fermentación anaerobia de residuos urbanos, agroindustriales y ganaderos para dar lugar a un gas (denominado biogás) compuesto, principalmente, por metano y  $\text{CO}_2$  y que puede, a su vez, utilizarse como combustible. También se incluye en este grupo el compostaje, o fermentación aerobia termófila que, aplicada a residuos agrícolas, forestales, ganaderos y urbanos, da lugar al compost, producto que puede emplearse como mejorante y fertilizantes de suelos.

Los procesos biológicos de conversión de la biomasa presentan la ventaja de desarrollarse siempre en condiciones suave de temperatura, presión, pH, ect., por lo que las tecnologías asociadas a los mismos pueden, en general, considerarse como blandas, es decir de bajos costos de inversión y poco intensivas bajo un punto de vista energético. El resultado es que son tecnologías que producen un escaso o, como mucho, moderado impacto ambiental.

Sin embargo, y dada la elevada especificidad de la acción enzimática sobre tan solo determinadas fracciones de la biomasa, el rendimiento energético de estos procesos, en relación al valor energético de las biomásas utilizadas como materias primas, es bajo (ver cuadro 2.1), por lo que, en general, suelen presentar una viabilidad económica inferior a la de otro tipo de transformaciones, como los termoquímicos que se describen en el literal d.

#### d. Procesos Termoquímicos

Están basados en la transformación química de la biomasa que se produce al someter la misma a altas temperaturas (300° - 1500° C). Dan lugar a calor o a biocombustibles cuya principal utilización actual es la producción de calor y electricidad, Castillo M, N. (1996)

Cuando un material biomásico se calienta en un recinto cerrado, se produce inicialmente un proceso de secado por evaporación del agua contenida en el mismo, y de la liberación de sus componentes volátiles. Posteriormente, y a medida que se eleva la temperatura del medio, empieza a ocurrir reacciones de craqueo o descomposición de sus moléculas en otras más simples que son, a su vez, seguidas por reacciones en las que los productos resultantes de la primera fase reaccionan entre sí y con los componentes de la atmósfera en la que tenga lugar la reacción, para dar lugar a los productos finales.

Mediante un control de las condiciones de proceso y, principalmente de la temperatura y de la composición de la atmósfera de reacción, es posible dirigir la misma hacia la obtención de productos diferentes, lo que da lugar a los tres procesos principales de conversión termoquímica de la biomasa: combustión, gasificación y pirólisis.

### d.1 Combustión

El primero de estos procesos se produce en atmósfera oxidante, de aire u oxígeno, para dar lugar, cuando es completa, a dióxido de carbono, agua y sales minerales (cenizas) como únicos productos, desprendiéndose calor en forma de gases calientes que es aprovechado como energía.

La combustión directa de la biomasa es el proceso hoy en día más desarrollado y difundido para su utilización energética.

### d.2 Gasificación

Es en realidad una combustión de la biomasa que se origina al someter la misma a una temperatura entre 600° a 1500°C en una atmósfera pobre en oxígeno, en la que la cantidad disponible de este compuesto está por debajo del punto estequiométrico, es decir del mínimo necesario para que se produzca la reacción de combustión descrita en el punto anterior.

En este caso se origina como producto principal un gas combustible formado por monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno y metano como componentes principales, y de bajo poder calorífico, en torno a 4000 Kj/Nm<sup>3</sup>, cuando se utiliza aire como agente gasificante.

El gas resultante de la gasificación de la biomasa puede quemarse en una caldera para generar calor o bien, utilizarse como combustible de motores y turbinas para producir trabajo mecánico y electricidad.

### d.3 Pirólisis

Se denomina de una forma genérica y quizá inadecuada al proceso consistente en una descomposición térmica de la biomasa en ausencia total de oxígeno.

En procesos lentos y temperaturas de 300° a 500°C el producto principal es carbón vegetal, mientras que los procesos rápidos ( a veces menos de un segundo) y a temperaturas elevadas (800° - 1200°C) rinden productos compuestos por una mezcla de productos orgánicos (hidrocarburos, aldehidos, alcoholes, cetonas, ácidos orgánicos, etc.), a veces de aspecto aceitoso y siempre de bajo pH y elevada viscosidad, que se denominan genéricamente líquidos o aceites de pirólisis.

Al contrario de lo que ocurre en los procesos biológicos en los que la acción microbiana o enzimática se lleva a cabo siempre en un medio acuoso, en los termoquímicos se utilizan biomásas "secas", es decir con un bajo contenido de energía que afecta muy negativamente a su balance energético.

Una ventaja muy importante sobre los métodos biológicos lo constituye el hecho de que estos procesos actúan sobre la totalidad de los componentes de la biomasa produciendo así altos rendimientos energéticos y de productos finales (ver cuadro 2.1) cuando se emplean tecnologías adecuadas. Además son muy inespecíficos, es decir aplicables con unos resultados similares a una gran variedad de materiales.

Estas circunstancias hacen que sean en la actualidad, y particularmente la combustión, los más utilizados por su mayor viabilidad económica.

**CUADRO 2.1**  
**DATOS INDICATIVOS SOBRE RENDIMIENTO ENERGÉTICO (ENERGÍA ÚTIL/ENERGÍA**  
**APORTADA EN BIOMASA) DE DIVERSOS PROCESOS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA.**

PROCESO	Contenido energético respecto al de la biomasa de partida (%)		
	Combustible intermedio	Calor	Electricidad o trabajo mecánico
Combustión	-	65 - 95	20 - 35
Pirólisis (aceites)	70 - 80	60 - 70	22 - 30*
Gasificación	65 - 80	60 - 75	22 - 38**
Digestión anaerobia	20 - 35	18 - 30	7 - 12
Fermentación Alcohólica	20 - 30	15 - 25	5 - 10

\* Los aceites utilizados en térmica convencional. El rendimiento sería muy superior de poder ser utilizados en motores u turbinas.

\*\* En instalaciones pequeñas con motogeneradores. El rendimiento sería muy superior en grandes instalaciones con ciclos de generación avanzados.

Ref: CARRASCO, (s.l.p.)

## 2.2 Estado de Desarrollo de las Tecnologías de Conversión de la Biomasa

En la cuadro 2.2 se indica el desarrollo tecnológico actual de los principales tipos de procesos de conversión de la biomasa. Se entiende por desarrollo industrial la disponibilidad de tecnología suficiente para la creación de plantas industriales, independientes del factor de rentabilidad económica, que dependerá de circunstancias locales como el precio y cantidad de biomasa disponible.

Como puede observarse, son diferentes los procesos que cuentan con una tecnología que puede a un nivel industrial.

En el campo energético, aparte de los procesos de tipo fisicoquímico que, en realidad, como ya se ha mencionado, no suelen ser sino operaciones dentro de procesos más complejos, son la combustión directa y la fermentación de la biomasa, procesos ya

desarrollados a nivel comercial, los que poseen un mayor desarrollo tecnológico, si bien la implantación de opiniones más limpias y eficientes y el desarrollo de nuevas aplicaciones deberán dotarles de una mayor competitividad en un futuro.

Del resto de los procesos termoquímicos, la gasificación, que en un futuro puede ser la tecnología alternativa a la combustión para la generación eléctrica de biomasa, ha alcanzado ya un desarrollo tecnológico industrial en usos térmicos, con alguna aplicación eléctrica a nivel comercial para pequeños gasificadores de lecho fijo y de corriente paralelas (capacidad  $\leq 500$  kW). Sin embargo, y salvo la excepción mencionada, la gasificación en su campo más prometedor, como son las aplicaciones para producción de electricidad con sistemas de alta eficacia en instalaciones de tamaño superior a 10 MW y utilizando ciclos avanzados, está aún en una fase previa a la de demostración. En este campo se está tratando de desarrollar la tecnología de generación eléctrica utilizando el gas pobre obtenido, incluida la limpieza adecuada del mismo.

Como línea de desarrollo, la gasificación catalítica para la producción de gas de poder calorífico medio ( $15 - 17,000$  MJ/Nm<sup>3</sup>) apto para la síntesis de metanol y amoníaco está en una fase muy activa de investigación y desarrollo.

Por su parte, la pirólisis posee una tecnología ampliamente desarrollada a nivel comercial en su aplicación de carbón vegetal, si bien en su faceta de producción de aceites para su uso como combustibles se halla en fase de planta piloto de gran tamaño, de las cuales existen varias en países como Canadá y Estados Unidos. Por último, tan sólo se encuentra en fase de Investigación y Desarrollo (I + D) el proceso de hidrogenación de estos productos para producción de gasolina sintética para uso en vehículos.

**CUADRO 2.2**  
**PROCESOS Y ESTADOS DE LA TECNOLOGÍA PARA CONVERSIÓN DE BIOMASA**

Procesos		Estado de la tecnología
Físico		Industrial
Químicos	Hidrólisis poliazúcares (ácido o base)	Demostración Industrial I + D sobre procesos
	Hidrólisis lignina	Industrial (producción de Vainillina) I+D Sobre nuevos y aplicaciones
	Fabricación de Pasta de Papel	Industrial I+D sobre nuevos procesos más limpios
	Esterificación de Aceites vegetales	Preindustrial
Termoquímicos	Combustión	Industrial. Desarrollo tecnologías Limpias
	Pirólisis	Industrial (producción de carbón vegetal)
		Piloto demostración (Aceites pirólisis)
		I+D hidrogenación aceites
Gasificación	Industrial en aplicaciones térmicas	
	Predemostración en aplicaciones eléctricas	
	I+ D sobre procesos catalíticos	
Biológicos	Microbiológicos (fermentación)	Industrial
		I+D sobre nuevos Procesos y nuevos microorganismos
	Enzimáticos	Industrial I+D sobre nuevas encimas

CARRASCO, (s.f.p)

Relacionada también con el aprovechamiento energético de la biomasa está la transesterificación de aceites vegetales, que actualmente cuenta con un desarrollo en fase preindustrial avanzada con diferentes plantas de demostración comercial en Europa y Estados Unidos. El proceso precisa aún una cierta definición en sus operaciones al objeto de lograr su optimización.

Por último, de los procesos de degradación química de los polímeros de la biomasa tan solo la digestión para producción de papel y algún otro como la hidrólisis con bases de la lignina para producir vainilla o la hidrólisis ácida del almidón, hoy ya sustituida por procesos enzimáticos, han logrado conseguir un desarrollo comercial.

En la actualidad, y a nivel de laboratorio, se está trabajando en torno a pretratamientos de tipo físico-químico y químico al objeto de lograr un fraccionamiento y degradación selectiva de los polímeros de la lignocelulosa, que rinda productos de calidad y pureza adecuada a las numerosas aplicaciones donde estos productos podrían encontrar un mercado importante en la industria química de síntesis (plásticos, resinas), de fabricación de muebles (aglomerados), e incluso en la industria del automóvil donde la lignina de determinadas características podría ser un excelente componente en la fabricación de baterías para absorber la solución de ácido sulfúrico.

### **3.0 RECOLECCION DE DATOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGETICO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)**

La caña de azúcar es uno de los cultivos agroindustriales de mayor importancia de El Salvador, generando muchos empleos en el área agrícola, transporte y procesamiento del azúcar, pero a pesar de los beneficios que se obtienen de éste cultivo todavía hay un gran potencial que la caña de azúcar puede ofrecer en el área energética, si se utilizan los residuos de éste cultivo como lo es el cogollo y la hoja. Debido a que no hay ningún estudio previo que indique el potencial energético real que los residuos del cultivo de la caña de azúcar ofrecen, se realiza este trabajo de investigación para poder caracterizar éstos residuos y saber de una forma cuantitativa la oferta energética máxima que se puede obtener al utilizar los residuos del cultivo de la caña de azúcar como energéticos de uso primario o secundario.

#### **3.1 Generalidades del Cultivo de la Caña de Azúcar**

Debido a la importancia que representa el cultivo de la caña de azúcar para la economía, aspectos sociales y energéticos (Franconnier, 1975), realizó una serie de estudios, presentados en esta sección, a menos que se indique otro autor en forma específica, sobre las generalidades de mayor importancia sobre el cultivo y técnicas de manejo de la caña de azúcar, las cuales son fundamentales para la caracterización de este cultivo en esta investigación.

##### **a) Historia y Distribución Geográfica**

La caña de azúcar fue utilizada y cultivada desde los tiempos más remotos, lo cual motivó su difusión y los cruces que hacen muy difícil el estudio de sus orígenes. La

teoría actual más comúnmente admitida señala el *Saccharum robustum* como la especie botánica de arranque, y a Nueva Guinea y sus islas vecinas como el lugar de origen.

Desde allí los horticultores neolíticos habrán llevado los tipos más importantes primero al este (Nuevas Hébridas, Nueva Caledonia, islas Fiji), Después al oeste (Célebes, Filipinas, Borneo, Sumatra, Malasia, India ) y al noreste ( Filipinas, Indochina, China).

La existencia de la caña de azúcar en la China y en la India puede situarse unos 6000 años antes de J.C. Su empleo para la alimentación humana, se remonta a unos 3000 años antes de J.C. en la India, de donde los soldados de Alejandro Magno trajeron azúcar 325 años antes de nuestra era.

Los romanos conocían este artículo, pero fueron los árabes quienes difundieron estacas de caña de azúcar primero en palestina y después en Egipto (700 años después de J.C.), en Sicilia, en España y en Marruecos.

Cristóbal Colón, en su segundo viaje, llevó esquejes de caña de las islas Canarias a la isla llamada actualmente República Dominicana. Este cultivo se desarrolló entre los años 1500 y 1600 D.C., en la mayoría de los países tropicales de América (Antillas, México, Brasil, Perú) y durante mucho tiempo ha sido su principal riqueza agrícola.

La mayor parte de las regiones tropicales y numerosas zonas subtropicales son aptas para el cultivo de la caña de azúcar, ya que aquel solo se ve limitado por la altura y el frío.

Actualmente, los principales productores son la India, Cuba y Brasil, siguiendo después México, China, Filipinas, Australia, África del Sur y, por último, las islas Hawai, la República Dominicana y Formosa.

## b) Aspectos Botánicos

La caña de azúcar se reproduce normalmente por estacas. Esta multiplicación vegetativa fue la única practicada por el hombre hasta el momento en que se descubrió que las semillas de la caña podían ser fértiles, lo que permitió en 1888 iniciar en Java y en Barbados las primeras multiplicaciones sexuales.

La utilización de estacas sigue siendo el único método de multiplicación de la caña en orden a su cultivo. Las estacas son partes más o menos largas del tallo de caña que contienen un número variable y en general limitado de yemas laterales.

El ciclo de la caña de azúcar inicia con su plantación, donde las estaca de caña son plantadas bajo un poco de tierra húmeda, de ahí surgen las yemas que de estas brotan los tallos primarios (germinación y ahijamiento), que crecen, se desarrollan, envejecen y se secan, siendo reemplazadas por hojas jóvenes y mientras se ramifican y aumentan en longitud (crecimiento). La madurez y recolección procede siempre a la floración (la yema apical se transforma en yema floral), donde la madurez corresponde a una acumulación de sacarosa en el tallo y a una correlativa disminución del contenido de agua, acidez y glucosa. Después de cortarse a ras de suelo la caña, aparecen jóvenes brotes (retoños), para continuar el ciclo nuevamente hasta la floración, madurez y corte, esto continúa hasta que el rendimiento agrícola sea favorable. En El Salvador la plantación se realiza de Diciembre a Enero y la recolección de Noviembre a Abril (MAG-DGEA, 1990-1991).

Entre los Principales Órganos de la caña de azúcar se encuentra el tallo, que es la parte útil en la industria azucarera, las hojas que están situados en el tallo a nivel de los nudos y la inflorescencia (o flecha) que es una panoja muy ramificada cuya forma y tamaño son característica de cada especie.

El desarrollo de la inflorescencia o la falta de él es importante para el agrónomo y para el genetista. El genetista, para crear nuevas variedades y para el agrónomo preferiría cañas que no floreciesen, ya que en una misma variedad, las que no florecen son, en general más pesadas y ricas en sacarosa.

En cuanto a la fisiología, la asimilación clorofila, máxima en la base de las hojas jóvenes durante las mañanas, utiliza la energía solar para sintetizar a la luz azúcares en  $C^6$  (glucosa y fructuosa) a partir de gas carbónico y agua. El proceso puede proseguir después sin luz ni clorofila para llegar a la formación de azúcares en  $C^{12}$  (sacarosa) o polisacáridos (almidón y celulosa). La caña de azúcar figura entre las plantas que son capaces de almacenar el máximo de energía solar por hectárea y por mes.

### c) Principales *SACCHARUM*

En la práctica se distinguen dos categorías de caña:

- c.1. Las azucareras, plantas tropicales y subtropicales, bastantes gruesas, que en todo tiempo han despertado el interés y los asiduos cuidados del hombre.
- c.2. Las no azucareras, que pueden ser asimiladas a hierbas, endebles, rústicas, invasoras. Esta clase de cañas, en los trópicos, crecen espontáneamente en todas partes.

Esta distinción de orden práctico, resumidas de forma sumaria, tienen un gran interés ya que evoca y traduce las preocupaciones de la economía agrícola. Pero los límites de su definición fluctúan a medida que avanzan las técnicas y, aún conservando el criterio químico, conduciría éste a la paradoja de tener que colocar entre las sacáridas el *Saccharum officinarum* más cercana al *Sorghum s.p.* que al *Saccharum spontaneum*.

*Saccharum officinarum* ( $2n = 80$  cromosomas), esta especie es por excelencia la caña de azúcar. Hojas muy anchas, curvadas hacia abajo por su peso, se separan fácilmente de la caña. Ahijamiento débil, ocho a diez tallos muy gruesos (6 a 8 cm), de 4 a 5 metros de longitud, vivamente coloreados. Frecuentemente con franjas longitudinales bicolors. Blancos amarillos verdes, púrpura, muy ricos en jugo azucarado; la parte fibrosa no representa más que el 10 al 13 % del peso de las cañas.

#### d) Nomenclatura y Reconocimiento de las Variedades.

La multiplicidad de cañas obliga a inventariarlas antes de su vulgarización en cultivo intensivo. Se las designa por un número de orden precedido de las iniciales correspondientes a su origen: H = Hawai, B = Barbados, D = Demenera, M = isla Mauricio, Co = Coimbatore (India). A veces la denominación va acompañada de una anotación cifrada; M-134/32 es el clon n° 134 del año 1932. de esta forma se conoce su antigüedad. África del Sur y la estación privada de mejora de la *colonial Sugar Refining Company de Australia* emplean otra nomenclatura diferente, es decir, los nombres: Sabre, Saccharina, Eros, Pindar, Vesta, desprovistos de toda otra adición. Las variedades cultivadas en El Salvador son importadas por lo que las variedades mantienen sus nombres originales. El reconocimiento de una variedad se apoya, en la práctica, en la morfología de los tallos y de las hojas.

#### e) Preparación del Terreno, Recolección y Zafra.

Los terrenos que se reservan para el cultivo de la caña no siempre pueden ser utilizados tal como se encuentran. Se trata frecuentemente de nuevos terrenos que hay que poner en producción. Además, la caña es un cultivo rico que en general se realiza de forma intensiva. Puede hacer rentable las mejoras efectuadas a la explotación aunque éstas sean importantes, mientras que los cultivos extensivos que se realizaban anteriormente sobre los terrenos disponibles no lo permitían.

Los trabajos de preparación tienen como finalidad la supresión de los obstáculos que se presentaban para el cultivo, la obtención de mejores rendimientos agrícolas, facilidad para el empleo de máquina para realizar un cultivo más mecanizado, protección del suelo

La recolección (o zafra) es la fase principal de todo el cultivo de caña por su duración, por los medios humanos y materiales movilizados y por su necesaria organización. La importancia de la recolección es encaminar de forma económica y regular hacia la fábrica la cantidad máxima de azúcar que se puede obtener en los campos. La zafra puede descomponerse en i) corte de la caña por la parte inferior del tallo, ii) corte de la parte superior y iii) Deshoje

#### **e1. Ventajas de la Quema Antes de la Zafra**

La eliminación de las hojas secas o paja suprime el deshoje manual y, por consiguiente, disminuye la cantidad y el coste de la mano de obra de la recolección.

En el caso de recogida mecánica, la quema es prácticamente indispensable por que reduce la proporción de las hojas y paja recogida a la vez que la de las cañas, de donde se sigue una disminución de las pérdidas de fabricación provocadas por las hojas y paja y por la tierra que llevan consigo.

La eliminación de la paja facilita el riego por gravedad, la expansión de los abonos y de los trabajos de cultivo de los retoños.

La supresión de la cobertura de paja facilita al crecimiento de los retoños en las regiones frías.

**CUADRO 3.1**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Componentes y % p/p		% p/p	
Agua	74.50%	74.50 %	
Cenizas	0.50 %	Silice, SiO	0.25 %
		Potasa, K <sub>2</sub> O	0.12 %
		Sosa, Na <sub>2</sub> O	0.01 %
		Cal, CaO	0.02 %
		Magnesio, MgO	0.02 %
		Hierro, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	trazas
		Ácido fosfórico, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07 %
		Ácido Sulfúrico, SO <sub>3</sub>	0.02 %
		Cloro, Cl	Trazas
Fibra	10.00%	Pentosanas, Xilianas	2.00 %
		Celulosas	5.50 %
		Gomas (Arabanos)	0.50 %
		Ligninas	2.00 %
Azúcares	14.00%	Almidón, Sacarosa	12.50 %
		Dextrosas	0.90 %
		Levulosas	0.60 %
Compuestos Nitrogenados	0.04%	Albuminoides	0.12 %
		Aminos (cano asparagina)	0.07 %
		Amino-ácidos (aspártico)	0.20 %
		Ácido Nítrico	0.01 %
		Amoníaco	Trazas
		Cuerpos Xánticos	Trazas
Grasas y ceras	0.20 %	-	-
Pectinas, Gomas	0.20 %	-	-
Acidos Libres	0.08 %	Malico, Succinico, etc.	0.08 %
Acidos Combinados	0.12 %	( Malico, Succinico)	0.12 %
<b>Total</b>	<b>100.00 %</b>		<b>100.00 %</b>

Gómez Alvarez (1975)

**CUADRO 3.2**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PARTES PRINCIPALES DE LA CAÑA DE AZÚCAR (% p/p)**

Componente	Hojas	Tallos	Rafces
Agua	74.38	74.96	68.79
Cenizas	2.23	0.64	1.87
Grasas y ceras	0.69	0.38	0.54
Sustancias nitrogenadas	1.70	0.58	1.59
Azúcares	2.20	13.40	6.34
Fibra	18.79	10.04	20.87
Celulosa Cruda	9.18	4.86	9.58
Fibras pentosanos	5.48	3.04	7.04
Ligninas	4.13	2.14	4.25

Gómez Alvarez (1975)

**CUADRO 3.3**  
**COMPOSICIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA FRESCO (% p/p)**

Componente	% Base Húmeda	% Base Seca
Humedad	47 - 50	0
Sólidos Totales	50 - 53	100
Sacarosa	2 - 3.5	4 - 7
Fibra	41.0 - 46.0	82 - 87
Pentosanos	10.5 - 12.5	21 - 24
Cenizas	0.7 - 1.3	1.5 - 2.5

Serrano (1983)

**CUADRO 3.3a**  
**COMPOSICIÓN APROXIMADA DE LA FIBRA DEL BAGAZO DE CAÑA (% p/p)**

Componente	% Base Húmeda	% Base Seca
Fibra	41 - 46	65 - 68
Haloceulosa	32.5 - 36	65 - 68
Celulosa	18 - 20.6	36 - 39
Hemicelulosa	14.5 - 15.5	29 - 29
Lignina	8.5 - 10	17 - 19

Serrano (1983)

**CUADRO 3.3b**  
**COMPOSICION QUIMICA DEL COGOLLO (BASE SECA) DE CAÑA DE AZUCAR (%p/p)**

Componente	% p/p
Materia Seca	20 - 25
Proteína Cruda	5.4
Fibra Cruda	34.5
Cera	1.0
Cenizas	5.5
Carbohidratos	53.2

Serrano (1983)

**CUADRO 3.3c**  
**SUBPRODUCTOS OBTENIDOS POR CADA TONELADA DE AZUCAR**  
**DE CAÑA PRODUCIDA (%p/p)**

Subproducto	Toneladas
Cogollo	1.47 *
Hojas y Paja	3.33 *
Melazas	0.27 - 0.3
Cachaza (77% de Humedad)	0.24 - 0.3
Bagazo (50% de Humedad)	2.2

Serrano (1983)

\*Base Húmeda

### 3.2 Evaluación de Características del Cultivo de la Caña de Azúcar por Encuestas

Para lograr este propósito se ejecutó una encuesta de propósitos múltiples (Ver modelo de encuesta en anexo II), en todo El Salvador, con el objeto de lograr un estimado de los volúmenes de residuos generados, áreas cultivadas, rendimientos por área cultivadas, localización de las zonas donde estos cultivos se encuentran en mayor concentración y disposición de los agricultores a querer usar los rastrojos como energéticos de uso directo. Por otra parte se realizó una serie de análisis físicos, químicos y fisicoquímicos para poder determinar la oferta energética de estos residuos, lo que se evalúa en la sección 5.0.

### 3.2.1 Determinación del Número de Encuestas para el Cultivo de Caña de Azúcar

En todo trabajo de investigación resulta difícil e impráctico medir a todos los elementos que constituyen a la población. Son éstas algunas de las razones que justifican la importancia del uso adecuado de las metodologías estadísticas; y dentro de estas la que mejor se ajusto al problema y objetivos planteados en nuestra investigación fue la técnica del muestreo; la cual nos permitió determinar el tamaño de muestra mas adecuado para la aplicación de la encuesta y toma de muestras sin olvidar en ningún momento las consideraciones previas que deben realizarse para el cálculo de todo tamaño de muestra, como son:

- a. Variabilidad de los elementos que constituyen la población
- b. El grado de precisión que se exigió para la investigación
- c. El error permisible que se acepto para la investigación

Para determinar el número de encuestas, se dividieron a los productores en estratos según el área que se cultiva (ver cuadro 3.4), esta división de estratos se hace con el objetivo de clasificar el cultivo de la caña de azúcar en pequeñas, medianas y grandes plantaciones y así tomar la opinión de toda la población de productores de caña de azúcar.

**CUADRO 3.4**  
**ESTRATOS PARA AGRICULTORES DE CAÑA DE AZÚCAR**

ESTRATO	ÁREA CULTIVADA (X) EN Mz
1	$X < 10$
2	$10 \leq X < 50$
3	$50 \leq X$

A los estratos así divididos, se les aplica la ecuación Ec-1 (Bermúdez, 1996), para determinar la cantidad de encuestas a realizar.

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{N * E^2 + Z^2 * \sigma^2} \quad \text{Ec-1}$$

Donde:

n = Número de encuestas a ejecutarse en El Salvador

N = Número de productores de caña por estrato

$\sigma$  = Desviación estándar, es una medida de dispersión o variaciones de valores que se analizan con respecto a la media aritmética de un conjunto de datos ( Se cálculo a partir de los datos proporcionados para la variable rendimiento).

Z= Factor de probabilidad, y se obtiene al utilizar tablas de distribución normal estadística. Se estableció en base a la variación presentada por los estratos y su valor se obtiene a través de tablas ( anexo III, cuadro III.3)

E = Error permisible, representa el máximo valor en un conjunto de datos que se desvían del total ( Se estableció en base a la variación presentada por los estratos)

Var =  $\sigma^2$  = Varianza

Los parámetros acá indicados se calculan en base a:

#### a) Varianza

Se determina utilizando los rendimientos "Ton/Mz." de cada estrato, mediante la Ec-2. Se partió por datos recabados por la MAG-DGEA (1995) y mostrados en el cuadro 3.5, tomando un valor de N = 1,741 (Cuadro 3.6)

$$Var = \frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{N - 1}$$

Ec-2

- b) E , se tomó un valor de E = 2 para el Estrato I y II y E = 4 en el Estrato III, de forma que el número de encuestas a realizar resulto muy cerca a un 10% de la población total de productores de cada zona, y de esta manera sea estadísticamente aceptable. Lo que condiciona a trabajar con un valor 'n' mínimo del 10% de 729, 682 y 330 para los estratos I, II y III respectivamente (cuadro 3.7).
- c) El valor de Z, debe ser mayor del 90% y el valor a utilizar para este análisis queda condicionado también por los valores de n (número de encuestas) que se han estimado en la sección b). Para los estratos I y III se obtienen trabajando con una probabilidad del 91.37% (0.0863 de error), lo que indica un valor de Z = 1.75 (Anexo III, cuadro III.3) y para el estrato II se trabajo con una probabilidad del 97.76% (0.024 de error), dando un valor de Z = 2.41.

CUADRO 3.5  
RENDIMIENTOS (R) OBTENIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

No	Estrato I		Estrato II		Estrato III	
	Mz	R(Ton/Mz)	Mz	R(Ton/Mz)	Mz	R(Ton/Mz)
1	5	60	40	50	150	80
2	3	90	11.5	80	58.8	50
3	8	70	35	60	79	50
4	9	69	40	70	129.25	64
5	2	80	10	70	134	64
6	8	65	49	60	143	64.88
7	4	90	17	80	110	70
8	1	63.5	30	80	169.5	80
9	6.5	80	42	65	96	70
10	7	60	22	90	59.5	70
11	6	70	14	60	95.84	60
12	3	65	10	70	142.86	70
13	1	70	25	80	150	70
14	5	78	17	60	90	80
15	1	95	10	70	117	75
16	6	80	10	80	100	67
17	3	70	10	60	131	67
18	7	60	10	100	84	64.88
19	3.58	95	20	70	50	66
20	5	65	10	85	110	70
21	8	100	12	60	216	80
22	3.5	90	37.23	90	149	75
23	5	70	30	55	117	70
24	8	75	25	60	66	60
DESVIACIÓN		10.61		7.07		14.14

MAG-DGEA (1995)

CUADRO 3.6  
PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR POR ESTRATO

Estrato	No de productores
I	729
II	682
III	330
Total	1741

MAG-DGEA (1995)

#### d) Cálculo del Número de Encuestas por Estrato

Con los datos calculados en a), b), c) y valores tabulados en el cuadro 3.6 se determina el número de encuestas a pasar en cada estrato (n) y se presentan en el cuadro No 3.7.

Utilizando la Ec1

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{N * E^2 + Z^2 * \sigma^2}$$

Donde:

n = Número de encuestas a realizar en cada estrato

N= Número de productores por estrato

$\sigma$  = Desviación estándar

Z = Factor de probabilidad

E = Error permisible

Var =  $\sigma^2$ , Varianza

**CUADRO 3.7**  
**NUMERO DE ENCUESTAS EJECUTADAS POR ESTRATO EN CULTIVOS DE**  
**CAÑA DE AZÚCAR EN EL SALVADOR**

Estrato	N	$\sigma$	E	Z	n
Estrato I	729	10.61	2	1.75	77
Estrato II	682	7.07	2	2.41	66
Estrato III	330	14.14	4	1.75	34
<b>Total</b>					<b>177</b>

### 3.2.2 Selección de los Agricultores a Encuestar

Para la selección de productores a encuestar se hizo uso de muestreo aleatorio probabilístico y no probabilístico, los cuales se explican con la teoría estadística que se muestra en el anexo III.

Con la caña de azúcar se usó el muestreo aleatorio estratificado, el cual consistió en dividir a los productores de caña en 3 estratos; tomando como base el área cultivada por los agricultores. En ocasiones se utilizó muestreo no aleatorio cuando no se consideró algún productor que siembra áreas representativas respecto a la región donde pertenece. Finalmente se procedió a ejecutar la encuesta, utilizando para eso el muestreo deliberado (no probabilístico), considerando dentro de cada estrato aquellos productores de mayor representatividad. Las técnicas de muestreo se describen de a) hasta c).

- a. **muestreo probabilístico.** Es el primer paso para la toma de la muestra en el cual todos los elementos comparten el rasgo común de que la unidades de muestra a seleccionar se realizan con procedimientos al azar y con probabilidades conocidas.
- b. **Muestreo Estratificado.** Esta técnica fue utilizada para el sector cañero, el cual se divide en estratos dependiendo de el área que cultivan
- c. **Muestreo Deliberado.** La encuesta se termina ejecutando por su cómoda accesibilidad en puntos representativos de todo el país para los cultivos de caña.

### 3.2.3 Tabulación de Resultados Obtenidos de la Información Proporcionada por las Encuestas para el Cultivo de la Caña de Azúcar

Los resultados se muestran en tres secciones:

**Sección I: de generalidades sobre el cultivo de la caña de azúcar.** Presenta la información sobre las variedades de caña de azúcar cultivadas, cortas realizadas, período y fecha de recolección de las cosechas (Cuadros 3.8 a 3.12).

**Sección II: Información referente a residuos de caña de azúcar.** Se presenta los usos que actualmente se le da a los residuos, existencia o no de residuos sobrantes, interés por comercializar los residuos etc. (Cuadros 3.13 a 3.15).

**Sección III: Aspectos varios.** Se presenta información referente a los medios de transporte utilizados en la zona de producción, tipo de combustible utilizado por los productores, existencia de carreteras en las zonas de producción (Cuadro 3.16).

#### Sección I : Datos Recolectados por la Encuesta Sobre Generalidades del Cultivo de la Caña de Azúcar en El Salvador

CUADRO 3.8  
ÁREAS CULTIVADAS DE CAÑA DE AZÚCAR

Área Cultivada	Número de respuestas por Estrato		
	Estrato I	Estrato II	Estrato III
Mz	267.5	1,353.5	4,463
Mz/persona	4	46.67	165.3

**CUADRO 3.9**  
**PRINCIPALES VARIEDADES CULTIVADAS DE CAÑA DE AZÚCAR**

Variedad de Caña de Azúcar	Número de respuestas por estrato			
	Estrato I	Estrato II	Estrato III	Total
Barbados	8	9	5	22
Canal Point	14	20	8	42
Puerto Rico	27	26	10	63
Pindar	16	13	8	37
Hawaiana	1	1	0	2
Jaranú	2	2	1	5
Norte Argentina	1	2	0	3
Cubana	1	1	3	3
Mayagüez	1	1	1	2
Cristalina	0	0	1	2

**CUADRO 3.10**  
**NUMERO DE CORTAS REALIZADAS EN LOS CAÑALES**

Número de Cortas	Número de respuestas por estrato			
	Estrato I	Estrato II	Estrato III	Total
Primera	6	4	4	14
Segunda	17	16	4	37
Tercera	19	21	8	48
Cuarta	14	16	6	36
Quinta	8	7	4	19
Sexta	0	7	3	10
Séptima	1	1	2	4
Octava	1	0	0	1

**CUADRO 3.11**  
**TIEMPO TRADICIONAL DE RECOLECCIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Tiempo de Recolección	Número de respuestas por estrato			
	Estrato I	Estrato II	Estrato III	Total
½ mes	26	8	0	34
1 mes	12	21	0	33
2 mese	5	13	12	30
3 meses	3	2	5	10
4 meses	1	4	4	9
5 meses	11	8	3	22

**CUADRO 3.12**  
**FECHAS APROXIMADAS DE RECOLECCIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Fechas de Recolección	Número de respuestas por estrato			
	Estrato I	Estrato II	Estrato III	Total
Noviembre	13	7	10	30
Diciembre	24	32	24	80
Enero	19	33	26	78
Febrero	10	18	17	45
Marzo	4	7	7	18

**Sección II: Datos Recolectados por las Encuestas Referente a Residuos de Caña de Azúcar en El Salvador**

**CUADRO 3.13**  
**CANTIDADES DE RESIDUOS GENERADOS DE CAÑA DE AZÚCAR**

Medida	Estrato I	Estrato II	Estrato III
Tonelada	2,009	16,737	62,893
Carretada	471	460	6,448
Carrionada	66	155	70

**CUADRO 3.14**  
**USOS Y CONOCIMIENTOS DE UTILIDADES DE LOS RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR**

Aspectos		Número de respuestas por estrato			
		Estrato I	Estrato II	Estrato III	Total
Uso que se le da a los residuos	Alimento de Ganado	37	33	15	85
	Venta	0	5	6	11
	Incorpora al suelo	20	30	10	60
	Quema	29	24	12	65
Tiene residuos	Si	30	29	13	72
	No	32	36	16	84
Destino de residuos sobrantes	Quema	24	14	7	45
	Los deja en el terreno	4	15	6	25
Posibles usos de los residuos de Caña de Azúcar	Alimento de Ganado	20	24	11	55
	Material de relleno	2	3	2	7
	Incorporación al suelo	4	10	4	18
	Generación de Electricidad	1	7	0	8
	No sabe	20	13	8	41

**CUADRO 3.15**  
**VENTAJAS, DESVENTAJAS, E INTERÉS EN COMERCIALIZAR Y DIFICULTAD DE MANEJO DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Aspectos		Número de respuestas por estrato			
		Estrato I	Estrato II	Estrato III	Total
Desventaja al utilizar los residuos para fines diferentes a los actuales	Ninguna	22	28	11	61
	Mayor costo fertilización	6	12	3	21
	Mayor costo alimentación animal	16	20	8	44
	Pérdida de suelos y humedad de estos	21	17	12	50
Comercializa sus residuos	Si	44	50	23	117
	No	19	5	4	38
Dificultades en el manejo de residuos	Ninguno	29	41	18	88
	Almacenamiento	3	4	4	11
	Transporte	5	5	1	11
	Mayor costo económico	18	11	3	32

**Sección III: Datos Sobre Aspectos Varios Referentes a los Agricultores de Caña de Azúcar en El Salvador obtenidos del Tiraje de Encuestas.**

**CUADRO 3.16  
COMBUSTIBLES UTILIZADOS, ACCESO A ELECTRICIDAD, MEDIOS DE TRANSPORTE, ACCESO A LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN Y PRINCIPALES PROBLEMAS EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Aspecto		Número de respuestas por estrato			
		Estrato I	Estrato II	Estrato III	Total
Principal combustible utilizado	Leña	57	32	15	104
	Gas propano	37	53	17	107
	Kerosene	6	4	3	13
	Carbón de leña	0	3	1	4
	Electricidad	10	11	6	27
Acceso a Electricidad	Si	62	55	26	143
	No	7	8	0	15
Acceso de vehículos a zonas de producción	Si	68	63	26	157
	No	1	0	0	1
Medios de Transporte utilizados en la comunidad	Buses	41	41	19	101
	Pick-up	68	62	24	154
	Camiones	65	56	22	143
	Bicicletas	47	49	19	115
	Carretas	24	14	6	44
	Caballos	8	6	2	16
Problemas para cultivar caña de azúcar	Falta de Insumos	6	6	5	17
	Falta de financiamiento	35	28	9	72
	Costo de mano de obra	36	30	7	73
	Insumos muy altos	14	11	3	28
	Escasa mano de obra	10	13	4	27
	Delincuencia	6	3	0	9
	Bajo precio del producto	4	2	4	10
	Ninguno	0	3	8	11
	Falta de tierras	2	3	1	6
	Intereses muy altos	0	3	0	3

### 3.2.4 Análisis de las Encuestas para el Cultivo de Caña de Azúcar

En las secciones I a III se analiza la encuesta realizada a los productores de caña de azúcar en El Salvador, donde las respuestas proporcionada por los encuestados se presenta en porcentajes (cuadros y gráficos) para cada estrato y en forma global.

#### Sección I: Aspectos Generales

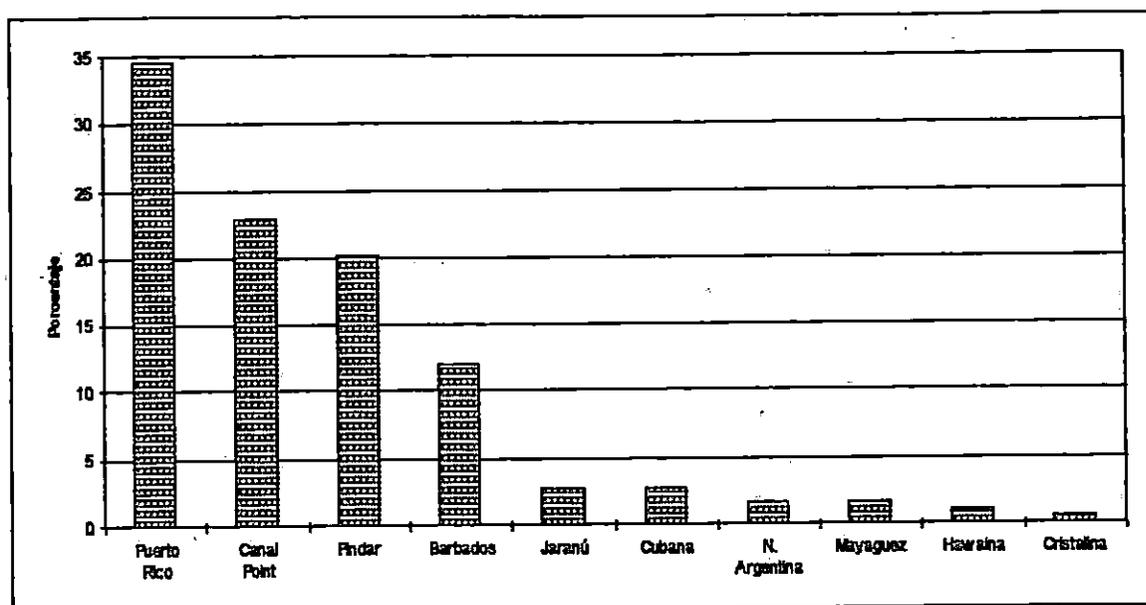
##### a. Variedades cultivadas

El cuadro 3.17 muestra la tabulación de % de variedades de caña cultivada por Estrato, en donde, de acuerdo a los datos recolectados la variedad Puerto Rico predomina en los Estrato I y II con porcentajes de 37.5% y 34.67% respectivamente; mientras que en el Estrato III predomina la variedad Pindar con un 29.63%.

Se encontró que las cuatro variedades que más se cultivan son Puerto Rico, Canal Point, Pindar y Barbados con porcentajes globales de 34.81, 23.2, 20.44 y 12.15% respectivamente como lo muestra la figura 3.1. Otras variedades que se cultivan mostradas también en la figura 3.1, y son: Jaranú, Mayagüez, Norte Argentina, Hawaiana, Cubana y Cristalina con porcentajes entre 1.10 y 2.76%.

CUADRO 3.17  
% DE PRINCIPALES VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR CULTIVADAS EN  
EL SALVADOR POR ESTRATO SEGUN NUMERO DE MANZANAS CULTIVADA

Estrato	% Puerto Rico	% Pindar	% Canal Point	% Barbados	% del total
Estrato I	37.5	22.22	19.44	11.11	90.32
Estrato II	34.67	17.33	26.67	12.00	90.67
Estrato III	27.03	29.63	21.62	13.51	91.79
Total	34.81	20.44	23.20	12.15	90.60



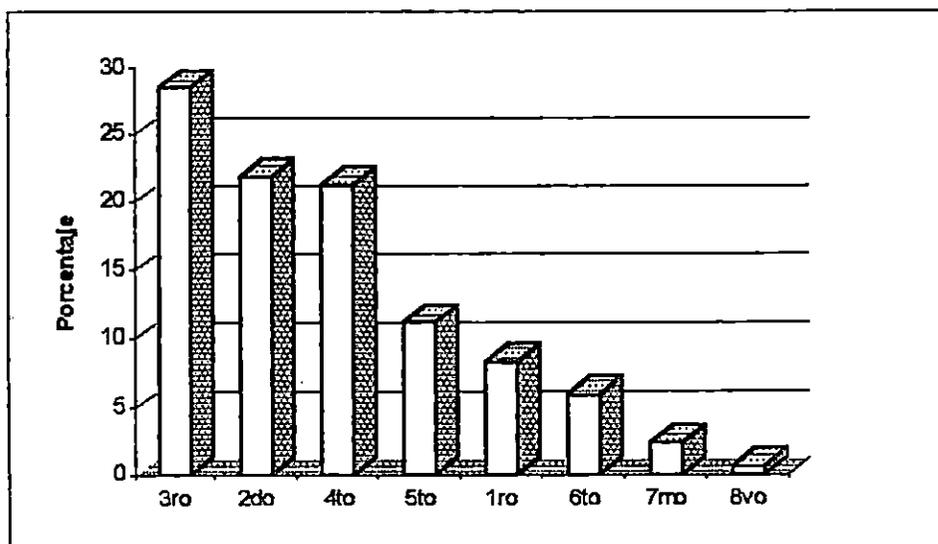
**FIGURA 3.1 PRINCIPALES VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR CULTIVADAS EN EL SALVADOR**

#### b. Cortes de Caña

Los datos de las encuestas reflejan que las cortes realizadas varían entre 1 y 8 (cuadro 3.18) predominando en su orden el tercero, segundo, cuarto, quinto y primer cortes con frecuencias de 28.40, 21.89, 21.3, 11.2 y 8.28% respectivamente (figura 3.2). La misma variación presentan las cortes por Estratos analizados (Cuadro 3.18). El sexto, séptimo y octavo cortes presentan porcentajes menores, entre 0.06 y 5.92% respectivamente.

**CUADRO 3.18**  
**NUMERO DE CORTES DE CAÑA DE AZÚCAR MÁS FRECUENTES**  
**EN LOS CAÑALES SALVADOREÑOS POR ESTRATO ANALIZADO**

Estrato	% Primero	% Segundo	% Tercero	% Cuarto	% Quinto	% del total
Estrato I	9.09	25.76	28.78	21.21	12.10	96.94
Estrato II	5.55	22.22	29.17	22.22	9.72	88.88
Estrato III	12.9	12.90	25.80	19.35	12.90	83.85
Total	8.28	21.89	28.40	21.30	11.20	91.07



**FIGURA 3.2 PORCENTAJES DE FRECUENCIA DE NÚMERO DE CORTES REALIZADOS**  
**EN LOS CULTIVOS DE CAÑA DE EL SALVADOR.**

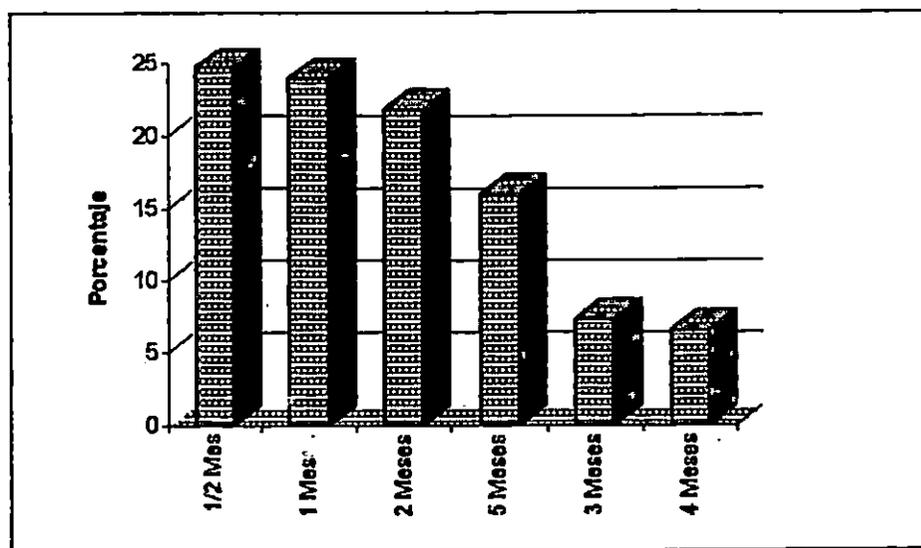
### c. Periodo de recolección

El cuadro 3.19 y la figura 3.3, muestran el periodo (por estrato analizado y total respectivamente) de recolección en las cosechas del cultivo de la caña de azúcar en El Salvador, donde se observa para el estrato I que los periodos de recolección son de ½ mes, 1 mes, 5 meses y 2 meses, en porcentajes de 44.83, 20.69, 18.97 y 8.62% respectivamente. El estrato II, recolecta sus cosechas en periodos de 1 mes, 2 meses, 5 meses y ½ mes con frecuencias de 37.5, 23.5, 14.28 % en su orden respectivo. Los productores de caña del estrato III, la realizan en periodos de 2, 3, 4 y 5 meses y en su mayoría en 2 meses para una frecuencia del 50%. Observándose así marcadas diferencias en periodos de recolección entre las diferentes extensiones de cultivo definidas por estratos de estudio (cuadro 3.19).

Los resultados generales presentan periodos de recolección de ½ mes, 1 mes, 2 meses, 5 meses, 3 meses y 4 meses en frecuencias de 24.64, 23.91, 21.74, 15.94, 7.25 y 6.25 % respectivamente (figura 3.3).

**CUADRO 3.19**  
**PERIODO TRADICIONAL EN LA RECOLECCIÓN DE LA CAÑA**  
**DE AZÚCAR EN EL SALVADOR POR ESTRATO ANALIZADO (%)**

Estrato	½ Mes	1 Mes	2 Meses	3 Meses	4 Meses	5 Meses
Estrato I	44.83	20.69	8.62	5.17	1.72	18.97
Estrato II	14.28	37.50	23.22	3.58	7.14	14.28
Estrato III	0.00	0.00	50.00	20.83	16.67	12.50
Total	24.64	23.91	21.74	7.25	6.52	15.94



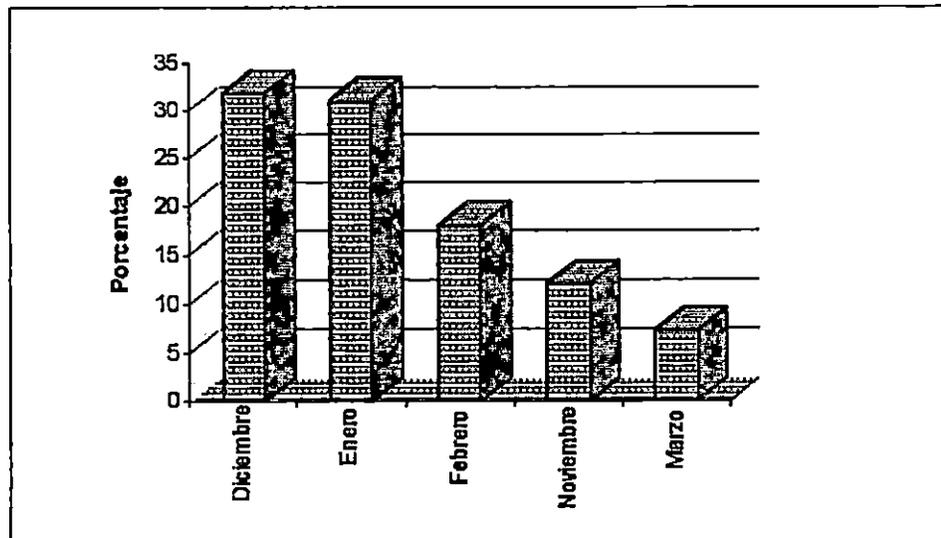
**FIGURA 3.3 PERIODO TRADICIONAL EN EL CUAL LOS PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR RECOLECTAN SUS COSECHAS EN EL SALVADOR**

#### d. Época de recolección

Según las encuestas, la época aproximada de recolección de la cosecha de caña de azúcar varía de noviembre a marzo, con frecuencias entre 7.17 y 31.87% ( cuadro 3.20), observándose la mayor intensidad en los meses de Diciembre y Enero con porcentajes de 31.07 y 31.07% respectivamente (figura 3.4 y cuadro 3.20), con comportamiento similar en los tres estratos analizados. Se sabe que la zafra en El Salvador termina en el mes de abril y en algunas ocasiones se prolonga a la primer semana de mayo; pero no se reportan datos según la encuesta realizada de recolección para estos dos últimos meses.

**CUADRO 3.20**  
**PORCENTAJE DE FRECUENCIAS DE EPOCAS DE RECOLECCION (ZAFRA) DE CAÑA DE**  
**AZUCAR EN EL SALVADOR (%)**

Estrato \ Mes	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
Estrato I	18.57	34.28	31.66	14.28	5.71	100
Estrato II	7.22	32.99	34.02	18.56	7.22	100
Estrato III	11.90	28.57	30.95	20.24	8.33	100
Total	11.95	31.87	31.07	17.93	7.17	100



**FIGURA 3.4 PORCENTAJE DE FRECUENCIAS DE EPOCAS DE RECOLECCION (ZAFRA) DE**  
**CAÑA DE AZUCAR EN EL SALVADOR**

## Sección II: Aspectos Referentes a los Residuos de Caña de Azúcar

### a. Usos de los residuos

En los tres estratos encuestados se tiene que la mayor parte de los residuos lo destinan para uso en alimento para ganado variando entre 43.02, 35.84 y 34.88% para los tres estratos I, II y III respectivamente (cuadro 3.21).

Otros destinos que se le da a los rastrojos son abono, venta y quema, Siendo apreciables los porcentajes que se utilizan para abono y quema con porcentajes promedio de 27.15 y 29.41% respectivamente (figura 3.5)

El cuadro 3.21, muestra también que el estrato I utiliza la mayor cantidad de estos residuos para forraje (43.02%) y no practica la venta, mientras que en el estrato III, el 13.95% de sus productores practica la venta de sus residuos, el 29.41% quema parte de sus residuos generados.

**CUADRO 3.21**  
**DIFERENTES USOS DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR**

Nº de Estrato	% Forraje	% Venta	% Abono	% Quema
Estrato I	43.02	0	23.25	33.72
Estrato II	35.87	5.43	36.61	26.09
Estrato III	34.88	13.95	23.25	27.91
Total	38.46	4.98	27.15	29.41

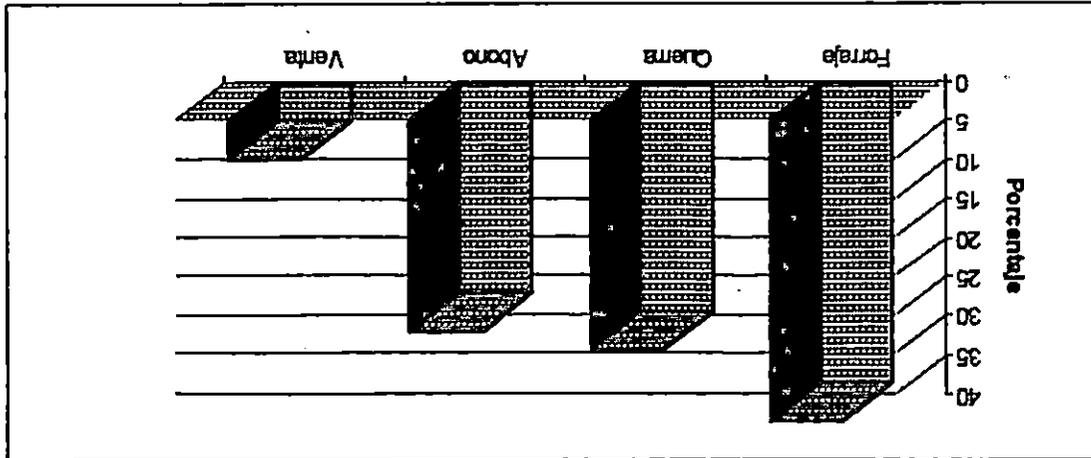
Nº de Estrato	SI (%)	No (%)
Estrato I	48.39	51.61
Estrato II	44.61	55.39
Estrato III	44.83	55.17
Total	46.15	53.85

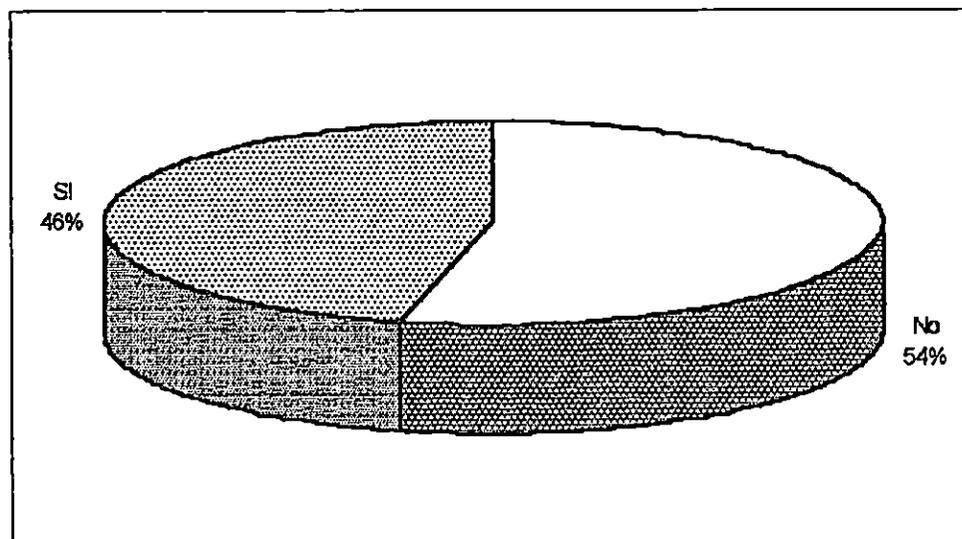
CUADRO 3.22  
AGRICULTORES CON RESIDUOS SOBANTES

El cuadro 3.22 y figura 3.6, muestra que el 46.15% de los productores de caña de azúcar tienen residuos sobrantes, los cuales se pierden en el campo de producción o simplemente son quemados (cuadro 3.22a). El estrato I posee mayor cantidad de residuos sobrantes (48.39%), mientras que los Estratos II y III el porcentaje de agricultores con residuos sobrantes son casi similares, 44.61% y 44.83% respectivamente.

b. Residuos sobrantes

FIGURA 3.5. PRINCIPALES USOS DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL SALVADOR





**FIGURA 3.6 PORCENTAJE DE AGRICULTORES CON RESIDUOS SOBANTES  
DE CAÑA DE AZÚCAR**

**CUADRO 3.22a  
USO DE LOS RESIDUOS SOBANTES**

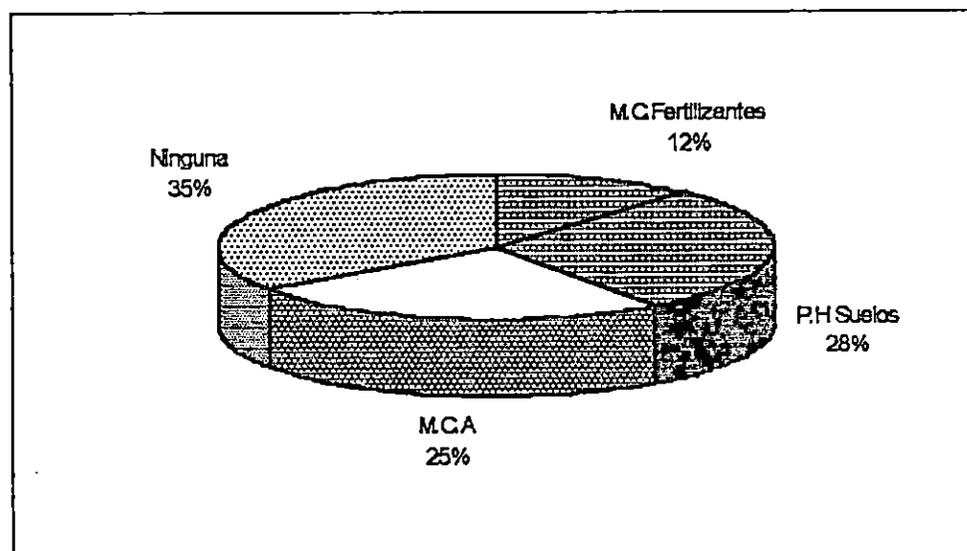
N° de Estrato	Quema (%)	Desperdicio (%)
Estrato I	85.71	12.29
Estrato II	48.28	51.72
Estrato III	53.85	46.14
<b>Total</b>	<b>64.28</b>	<b>35.72</b>

**c. Desventajas al utilizar los residuos para otros fines**

El cuadro 3.23, muestra que para los estratos I y II en su mayoría no tendrían problemas al utilizar los residuos a fines diferentes a los actuales con porcentajes de 33.85 y 36.36% respectivamente; mientras que los productores del Estrato III manifestaron tener pérdidas de humedad en los suelos donde cultivan en un 35.29% y un 32.35% no tiene problemas en forma alguna si los residuos se destinaran para otros usos diferente a los actuales. Los resultados de una forma global se muestran en la figura 3.7, y presentan que el 34.08% de los productores no tienen ningún problemas si sus residuos se utilizaran en forma diferentes a los actuales.

**CUADRO 3.23**  
**DESVENTAJAS MANIFESTADAS POR LOS AGRICULTORES AL DESTINAR LOS**  
**RESIDUOS A FINES DISTINTOS A LOS TRADICIONALES (%)**

N° de Estrato	Mayor Costo de Fertilizantes	Mayor Costo en Alimentación Animal	Perdida de Humedad en Suelos	Ninguna
Estrato I	9.23	24.61	32.31	33.85
Estrato II	15.58	25.97	22.08	36.36
Estrato III	8.82	23.53	35.29	32.35
<b>Total</b>	<b>11.73</b>	<b>24.58</b>	<b>27.93</b>	<b>34.08</b>



**FIGURA 3.7 DESVENTAJAS MANIFESTADAS POR LOS AGRICULTORES AL UTILIZAR LOS**  
**RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR PARA FINES DIFERENTES A LOS ACTUALES**

**P.H Suelo:** Perdida de Humedad en Suelos

**Ninguna:** Ningún Problema

**M.C.A:** Mayor costo en Alimentación de Ganado

**M.C. Fertilizantes:** Mayores Costos en Fertilizantes

### Sección III: Aspectos Varios

#### a. Principales combustibles

El cuadro 3.24 muestra los principales combustibles utilizados por los agricultores de caña de azúcar por estrato, donde de acuerdo a los resultados la leña predomina como principal combustible utilizado. El estrato I utiliza leña en su mayoría (51.82%), mientras que el estrato II y III utiliza gas propano con porcentajes de 51.84 y 40.48% respectivamente, seguido de leña con porcentajes de 31.07 y 35.71% respectivamente.

La figura 3.8 muestra los resultados globales a nivel de todo El Salvador y se observa que los combustibles utilizados por los agricultores de caña de azúcar en menor proporción es Energía Eléctrica, Keroseno y Carbón de leña con porcentajes de 10.52, 5.10 y 1.57% respectivamente.

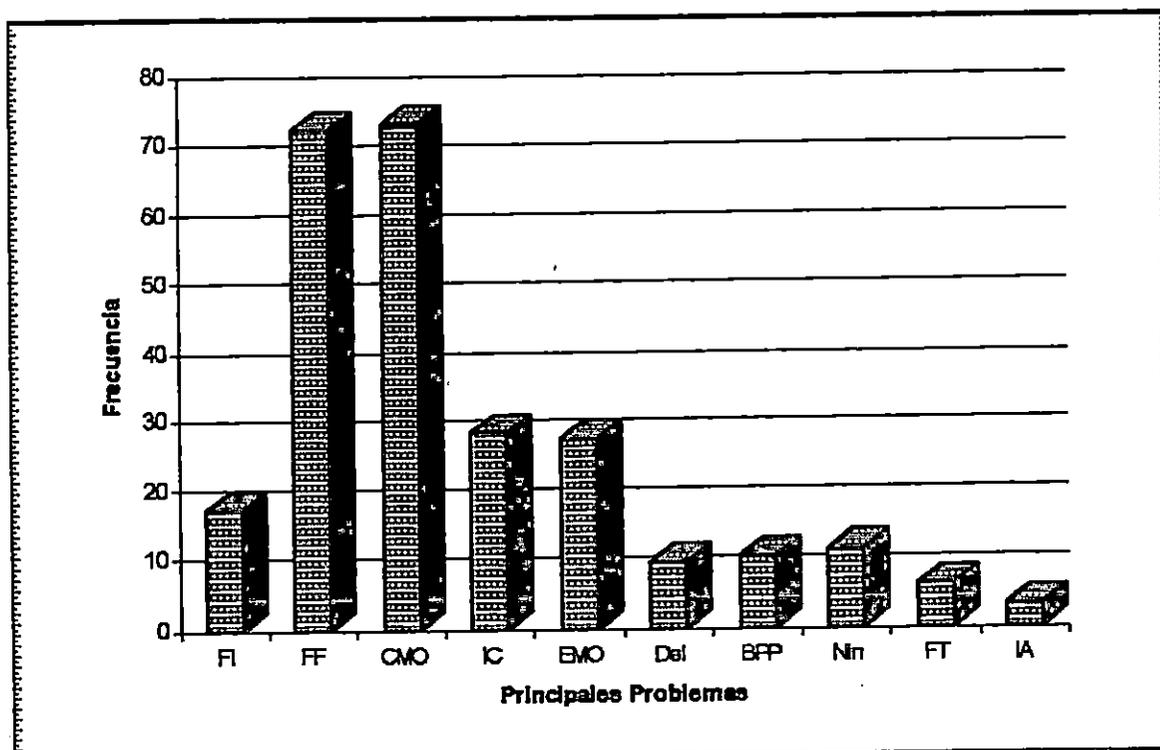
**CUADRO 3.24**  
**COMBUSTIBLES DE MAYOR USO POR LOS AGRICULTORES DE CAÑA DE AZÚCAR (%)**

No de Estrato	Leña	Gas Propano	Energía Eléctrica	Kerosene	Carbón de Leña
Estrato I	51.82	33.64	9.09	5.45	0
Estrato II	31.07	51.45	10.68	3.88	2.91
Estrato III	35.71	40.48	14.28	7.14	2.38
Total	40.78	41.96	10.59	5.10	1.57



**CUADRO 3.25**  
**PROBLEMAS MÁS FRECUENTES QUE AFRONTAN LOS CAÑEROS EN EL SALVADOR (%)**

Nº de Estrato	Falta de Insumos Agrícolas	Falta de Financiamiento	Costo de Mano de Obra	Insumos Agrícolas muy caros	Escasa Mano de Obra	Delincuencia	Falta de Tierra	Bajos Precios del Producto
Estrato I	5.31	30.97	31.85	12.39	8.85	5.31	1.77	3.54
Estrato II	5.88	27.45	29.41	10.78	12.74	2.94	2.94	1.96
Estrato III	12.19	21.95	17.07	7.32	9.76	0	2.44	9.76
Total	6.64	28.12	28.51	10.94	10.54	3.51	2.34	3.91



**FIGURA 3.9. PROBLEMAS MÁS FRECUENTES PARA CULTIVAR CAÑA DE AZÚCAR EN**

**EL SALVADOR**

F.I= Falta de Insumos

F.F= Falta de Financiamiento

C.M.O= Costo de Mano de Obra

Del= Delincuencia

B.P.B= Bajos Precios del Producto

Nin.= Ninguno

F.T= Falta de Tierra

I.A= Intereses Muy Altos

### **3.3 Análisis Físicos, Químicos y Físicoquímicos de los Residuos del Cultivo de la Caña de Azúcar**

Para la realización de los análisis físicos, químicos y físicoquímicos a las muestras de residuos de cosechas del cultivo de la caña de azúcar, se realizó en primer lugar una recolección de muestras en los lugares de mayor concentración de este cultivo en todo El Salvador, para garantizar que estas muestras fueran lo más representativamente posibles y tener la seguridad de que los resultados de los análisis gozaran del mayor porcentaje de confiabilidad.

Se efectuaron pruebas físicas enfocadas a determinar volúmenes de producción de residuos y grado de densificación para su almacenaje. Para determinar los volúmenes de rastrojos generados se determinaron las relaciones masa de residuo fresco y húmedo a rendimiento de producción de campo (sección 3.3.4) incluyendo determinación de humedad de los residuos secos. Las pruebas de densificación se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) de la Universidad de El Salvador (UES), para lo cual se utilizó la máquina Universal de compresión (prensa hidráulica) marca Tinius Olsen, Testing Machine C.O y modelo Super L; Cilindro con pistón de hierro negro; Báscula marca Healt-O-Meter y modelo 1522KL. Las marchas de las pruebas se presentan en el anexo III, sección 5.1

Los análisis químicos realizados incluyen contenido de Celulosa, Hemicelulosa, Lignina y Azufre; de los cuales los tres primeros se requieren para determinar el porcentaje de hidrógeno en la muestra a las que se le determinará su poder calorífico. El Azufre se determinó con la finalidad de obtener el factor de corrección por contenido de Azufre en la muestra al realizar los cálculos de las pruebas calorimétricas. Las marchas de los análisis aplicados se presentan en el anexo III, sección 5.2. Las pruebas de análisis químicos (Celulosa, lignina y hemicelulosa), se realizaron en los laboratorios de la Unidad de

Química de la Facultad de Ciencias Agronómicas (FF.CC.AA.), utilizándose para estos análisis un Extractor de Fibra Cruda, modelo Type Fewe y marca Laboratory Construcción Co; Balanza Analítica modelo AP2105 y marca OHAUS; Estufa para secado modelo 25EG; Horno muffla marca Furnace y modelo FB1300; Molino de vegetales marca Standard, Wiley Mill y modelo No 3; las pruebas de contenido de Azufre, se realizaron en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química (Planta Piloto).

Las pruebas fisicoquímicas (Pruebas calorimétricas para determinar poder calorífico neto), se realizaron en el local del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares de la FIA-UES, utilizándose para este caso una bomba calorimétrica del tipo Parr 1314, balanza analítica marca OHAOS y modelo AP2105, Prensa Hidráulica con manómetro. Las marchas de análisis se muestran en el anexo III, sección 5.3.

Los datos de los resultados experimentales de las pruebas químicas y fisicoquímicas se encuentran en el anexo VI.

### **3.3.1 Recolección de Muestras de Residuos de Cultivos de Caña de Azúcar para Análisis.**

Muchas de las veces en todo trabajo de investigación, no se sabe como tomar las muestras a nivel de campo, ni tampoco se sabe cual de ellas son las mas representativas de la población; por lo que se hace necesario del conocimiento de aquellas metodologías estadísticas que aporten los elementos, restricciones y características que deben considerarse para la realización de dichas actividades, sin perder la precisión y eficiencia de la investigación. Y dentro de estas técnicas la que se utilizo en nuestra investigación fue la técnica del muestreo probabilístico y no probabilístico, específicamente la combinación de los muestreos azarizados, dirigidos y deliberados.

En la recolección de muestras de residuos de cosechas de caña de azúcar, se visitaron 11 puntos representativos a nivel nacional (Cuadro 3.26), auxiliándose del mapa oficial de El Salvador y del mapa de uso actual de suelos en El Salvador editado por el MAG-DGEA (Anexo I), para que las muestras recolectadas fueran lo más representativas posibles.

Las muestras de caña se tomaron de tres puntos diferentes en un cañal determinado, cortando una macolla completa desde el pie por punto en el cañal, luego se procedió a contar el número de cañas de cada macolla, pesar hoja y cogollo juntos, después se peso la caña por separado, todo esto se hizo de igual forma para las tres macollas en todos los puntos muestreados.

**CUADRO 3.26**  
**MUNICIPIOS VISITADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE**  
**CAÑA DE AZÚCAR EN EL SALVADOR**

No de Muestra	Localidad	Municipio	Departamento	No de Matas Recolectadas
m1	Cara Sucia	Cara Sucia	Ahuachapán	63
m2	Cantón Chipilapa	Ahuachapán	Ahuachapán	50
m3	Tonalá	Sonsonate	Sonsonate	77
m4	San Isidro	Izalco	Sonsonate	36
m5	Las Moras	Chanmico	La Libertad	31
m6	Aguilares	Aguilares	San Salvador	34
m7	Monte Redondo	Concepción Quezaltepeque	Chalatenango	50
m8	La Bolsa	Santiago Nonuhcalco	La Paz	33
m9	San Ramón	Tecoluca	San Vicente	58
m10	Cantón Arenera	Tepetitán	San Vicente	94
m11	Piedra Pacha	El Transito	San Miguel	33

### **3.3.2 Selección y preparación de muestras para análisis**

Las muestras recolectadas en los cañales se les dio un período de secado de cuatro semanas, para realizar los análisis Físicos, Químicos y Fisicoquímicos ya que éstos requieren una humedad menor del 20% en su realización y así obtener resultados más confiables (ver en anexo IV, Condiciones de almacenamiento)

Las muestras para los análisis fisico-químicos se prepararon, homogenizando las submuestras de cogollo y hoja tomadas en un solo cañal, obteniendo así 11 muestras en todo el salvador, designados de m1 a m11 (cuadro 3.26).

Los análisis Físicos (Densificación, Humedad y Razón de Cogollo/Hoja a caña neta) se realizaron a las 11 muestras obtenidas en todo el país. Para los análisis Fisicoquímicos y Químicos se procedió a mezclar las muestras de caña de azúcar tomadas por región en El Salvador (Cuadro 3.27). Para cada Región se homogenizaron las muestras respectivas y así obtener 4 muestras (cuadro 3.27), a las cuales se les realizaron los análisis respectivos en forma duplicada (Sección 3.3.5 y 3.3.6)

La regionalización para el cultivo de caña de azúcar se ha realizado en base al mapa de distribución de suelos (Anexo I) que corresponde a las cuatro puntos de mayor concentración de este cultivo en El Salvador (cuadro 3.27).

**CUADRO 3.27**  
**DIVISION EN REGIONES EN EL SALVADOR PARA ANALISIS DE MUESTRAS DEL CULTIVO DE**  
**CAÑA DE AZÚCAR, DE ACUERDO A ZONAS DE MAYOR CONCENTRACION**

<b>Región</b>	<b>Departamento</b>	<b>Muestras Mezcladas</b>	<b>Muestra Resultante</b>
I	Santa Ana Norte de Ahuachapán	m2	mI
II	Sur de Ahuachapán Sonsonate	m1, m3, m4	mII
III	La Libertad Chalatenango San Salvador Cuscatlán	m5, m6, m7	mIII
IV	La Paz Usulután San Miguel La Unión Morazán	m8, m9, m10, m11	mIV

### **3.3.3 Aplicación de Intervalo de Confianza En la Pruebas Físicas, Químicas y Físicoquímicas**

Un problema que usualmente se comete en toda investigación, es creer que la mejor justificación de la investigación es realizar una prueba de hipótesis; sin un estudio previo y profundo por parte del investigador de las variables, factores y metodologías estadísticas que den una mejor respuesta al problema y objetivos planteados. Es por esto que en el presente acápite se hizo uso de las estimaciones por intervalos de confianza, para conocer el rango de aceptabilidad de los resultados; pues el objetivo fundamental de la investigación es solamente la caracterización de los cultivos.

Intervalo de Confianza (IC), es el intervalo en el cual un valor se puede aceptar como válido.

$$IC = \bar{X} \pm Z_{\alpha(95\%)} * \sigma_x$$

$\bar{X}$  = Media aritmética de los resultados experimentales

$\sigma_x$  = Desviación Estándar de los resultados experimentales

$Z_{\alpha}$  = Valor de la Prueba de Distribución normal

$Z_{\alpha}$ , se obtiene del anexo III, cuadro III.3 y depende de la probabilidad que se trabaje, para este caso la probabilidad es del 95%

### 3.3.4 Análisis Físicos y Cálculo de Razones Peso de Residuos de Cafía de Azúcar

Como se menciona anteriormente, los análisis físicos realizados; pruebas de densificación, humedad y razones peso de residuo a peso de cafía fresca se determinaron con la finalidad de conocer las cantidades en masa de los residuos que se generan en promedio para el cultivo de cafía de azúcar y para determinar que volumen de espacio ocupan los rastrojos bajo condiciones de almacenamiento.

#### a) Pruebas de Densificación

El objetivo de realizar esta prueba es para conocer el volumen que puede ocupar una cantidad determinada de residuos del cultivo de cafía de azúcar. La densificación es la prueba más sencilla que se realiza a los residuos, para luego medir el volumen que esta masa alcanza bajo una presión aplicada a estos residuos.

Se realizaron un total de 11 pruebas (El procedimiento para la realización de las pruebas de Densificación se encuentran en el anexo V, sección 5.1), una para cada muestra recolectada en los diferentes lugares de mayor concentración del cultivo de la cafía de azúcar en El Salvador, midiéndose densidad inicial (masa que ocupa un

determinado volumen sin aplicarle presión) para conocer los volúmenes de residuos generados y densidad final ( después de compactar), para determinar los volúmenes que pueden ocupar los residuos una vez almacenados. Los resultados se muestran en el cuadro 3.28.

**CUADRO 3.28**  
**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DENSIFICACION EN MUESTRAS**  
**DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR**

Región	No de Muestra	Densidad Inicial (Kg/m <sup>3</sup> )	* Densidad Final (Kg/m <sup>3</sup> )
I	m2	51	135
	m1	92	101
II	m3	58	142
	m4	85	207
Promedio		78	150
III	m5	83	172
	m6	84	170
Promedio	m7	65	142
	Promedio		77
IV	m8	96	211
	m9	61	150
Promedio	m10	62	138
	m11	38	88
Promedio		64	147
<b>Promedio global</b>		<b>70.45</b>	<b>150.5</b>

\* SE APLICÓ UNA CARGA PROMEDIO DE 112 Kg/cm<sup>2</sup> DE PRESION

Con las pruebas de Densificación hechas en los residuos del cultivo de caña de azúcar en todo El Salvador, se tiene una densidad inicial promedio (Di.) de 70.45 Kg/m<sup>3</sup>, y después de aplicarle la carga necesaria hasta lograr un volumen casi constante se obtuvo una densidad final promedio (Df) de 150.5Kg/m<sup>3</sup>. Al tomar una base de 100 gramos y obtener el volumen en centímetros cúbicos, se observa que al comprimir los residuos generados, se alcanza una reducción promedio de volumen ocupado del 53.19%

El cuadro 3.29 presenta los resultados al aplicar intervalo de confianza a las pruebas de densificación, observándose que en la densidad inicial se espera que valores se encuentren entre 15.26 y 114.64 Kg/m<sup>3</sup> y para densidad final entre 40.96 y 259.04 Kg/m<sup>3</sup>.

CUADRO 3.29  
 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A  
 PRUEBAS DE DENSIFICACION EN Kg/m<sup>3</sup>

Densificación (Densidad Inicial)				
Regiones	$\bar{X}_D$	$\sigma_{DI}$	$Z_{\alpha/2}$	Intervalo de Confianza
I	51	17.520	2.04	15.26 - 86.74
II	78	17.9600	2.04	41.36 - 114.64
III	77	10.7000	2.04	55.17 - 98.83
IV	64	23.8900	2.04	15.26 - 112.74
Densificación (Densidad Final)				
Regiones	$\bar{X}_D$	$\sigma_{DF}$	$Z_{\alpha/2}$	Intervalo de Confianza
I	135	40.26	2.04	52.87 - 217.10
II	150	53.45	2.04	40.96 - 259.04
III	161	16.78	2.04	126.77 - 195.23
IV	147	50.55	2.04	43.88 - 250.12

b) Análisis de Humedad

Los análisis de humedad se realizaron por duplicado para las cuatro muestras homogenizadas por región, se aplicó el método gravimétrico en una estufa al vacío, cuantificando la pérdida de peso en cada muestra analizada. Los resultados se muestran en el cuadro 3.30; resultando una humedad promedio de 11.2527%. Este contenido de humedad es el valor para el cual se reportan los análisis Químicos, físicoquímicos y las cantidades de residuos generados.

**CUADRO 3.30**  
**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE HUMEDAD EN MUESTRAS DE**  
**RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR (%p/p)**

Región	Muestra No	Crisol Vacío	Crisol+Muestra Húmeda	Crisol+Muestra Seca	% de Humedad
I	mI1	14.7472	17.1919	16.8052	15.8179
	mI2	14.7590	17.7377	17.2100	17.7158
	Promedio				16.7668
II	mII1	14.7283	16.7308	17.4362	9.8594
	mII2	14.4387	17.4949	17.2235	8.8800
	Promedio				9.3697
III	mIII1	15.7300	18.9564	18.6564	9.2983
	mIII2	14.5672	17.3545	18.0128	9.0222
	Promedio				9.1602
IV	mIV1	16.1644	19.2096	18.9123	9.7629
	mIV2	14.3590	18.3434	17.9583	9.6652
	Promedio				9.7140
Promedio global					11.2527

**c) Cálculo de Razones Peso de Residuos de Caña de Azúcar**

**Procedimiento y Cálculo de Razones Peso de Residuos a Caña**

- i. Se pesaron las hojas y cogollo juntos, luego solo la caña, para cada una de las muestras frescas en el lugar de recolección.
- ii. Se secaron las muestras por un período de cuatro semanas, y se pesaron las muestras secas (humedad de 11.2527%)
- iii. Luego se procedió a calcular razones (cogollo y hojas/caña fresca), ver cuadro 3.31

El promedio global resultó ser 0.1536 de razón peso de cogollo y hoja a caña fresca (cuadro 3.31), y se utiliza posteriormente para determinar las cantidades de residuos del cultivo de caña de azúcar generados.

**CUADRO 3.31**  
**RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN RAZÓN PESO DE COGOLLO Y HOJA**  
**POR PESO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Región	No de Muestra	Peso de Cogollo y Hoja Fresca Kg	Peso de Cogollo y Hoja Seca Kg	Peso de Caña fresca Kg	Peso de Cogollo y Hoja seca por peso de Caña fresca
I	m2	15.71	5.44	40.78	0.1334
II	m1	9.18	3.46	23.50	0.1472
	m3	29.54	12.44	76.59	0.1624
	m4	36.45	17.72	100.45	0.1764
	Promedio	25.06	11.21	66.84	0.1903
III	m5	25.66	11.51	60.49	0.1903
	m6	17.86	8.87	74.66	0.1188
	m7	14.68	6.62	44.67	0.1482
	Promedio	19.40	9.00	15.01	0.5996
IV	m8	54.01	25.74	109.47	0.2351
	m9	16.1	5.81	50.43	0.1152
	m10	16.78	6.62	52.38	0.1264
	m11	19.25	8.73	63.97	0.1365
	Promedio	26.54	11.72	69.06	0.1697
<b>Promedio Global</b>					<b>0.1536</b>

### 3.3.5 Análisis Químicos

Los análisis químicos realizados fueron Fibra Neutro Detergente (FND), Fibra Ácido detergente (FAD), Celulosa, Lignina, Hemicelulosa, para cuatro muestras por duplicado (Las marchas para la realización de estos análisis se encuentran en el anexo V, sección 5.2) y Contenido de Azufre. El cuadro 3.32 muestra la distribución y número de análisis realizados. En el anexo VI se muestran los datos obtenidos en el laboratorio, de los cuales se realizaron los cálculos.

**CUADRO 3.32**  
**DISTRIBUCIÓN DE ANÁLISIS PARA MUESTRAS DE CAÑA DE AZÚCAR**

Tipo análisis	hoja y cogollo de caña	Total
FND	mI, mII, mIII, mIV	4
FAD	mI, mII, mIII, mIV	4
Lignina	mI, mII, mIII, mIV	4
Celulosa	mI, mII, mIII, mIV	4
Hemicelulosa	mI, mII, mIII, mIV	4
<b>total</b>		<b>20</b>

#### a) Resultados de los Análisis Químicos

Los resultados se encuentran en los cuadros 3.33 y 3.34.

Donde:

FND = Fibra Neutro Detergente

FAD = Fibra Ácido Detergente

FND<sub>LC</sub> = Fibra Neutro Detergente Libre de Ceniza

FAD<sub>LC</sub> = Fibra Ácido Detergente Libre de Ceniza

**CUADRO 3.33**  
**RESULTADOS DE PRUEBA PARA DETERMINACIÓN DE FIBRA NEUTRO DETERGENTE,**  
**FIBRA ÁCIDO DETERGENTE, CELULOSA, LIGNINA Y HEMICELULOSA EN**  
**MUESTRAS DE CAÑA DE AZÚCAR (%p/p AL 11.2527% DE HUMEDAD)**

Región	No de Muestra	FND		FAD		Celulosa, Lignina y Hemicelulosa		
		% FND	%FND <sub>LC</sub>	%FAD	%FAD <sub>LC</sub>	% Celulosa	% Lignina	% Hemicelulosa
I	mI1	81.58	74.46	50.05	42.41	3.99	11.96	32.05
	mI2	80.49	73.88	50.21	43.10	3.99	10.98	30.78
	Promedio	<b>81.03</b>	<b>74.17</b>	<b>50.13</b>	<b>42.75</b>	<b>3.99</b>	<b>11.47</b>	<b>31.42</b>
II	mII1	78.11	73.30	49.78	43.89	15.89	12.91	29.40
	mII2	78.01	71.99	49.59	43.24	19.64	14.96	28.75
	Promedio	<b>78.06</b>	<b>72.64</b>	<b>49.68</b>	<b>43.57</b>	<b>17.77</b>	<b>13.94</b>	<b>29.07</b>
III	mIII1	80.94	75.60	49.48	42.28	10.98	9.98	33.32
	mIII2	80.80	73.15	48.42	41.89	15.85	11.89	31.25
	Promedio	<b>80.87</b>	<b>74.37</b>	<b>48.45</b>	<b>42.09</b>	<b>13.42</b>	<b>10.94</b>	<b>32.28</b>
IV	mIV1	77.78	71.80	47.65	42.41	11.88	9.90	29.39
	mIV2	78.66	72.86	48.49	43.10	17.72	13.78	31.30
	Promedio	<b>78.22</b>	<b>72.33</b>	<b>48.07</b>	<b>42.75</b>	<b>14.80</b>	<b>11.84</b>	<b>30.35</b>
Promedio Global		<b>79.55</b>	<b>73.38</b>	<b>49.21</b>	<b>42.79</b>	<b>12.49</b>	<b>12.04</b>	<b>30.78</b>

Las pruebas de contenido de Celulosa, lignina y hemicelulosa, muestran que en el cultivo de caña de azúcar la hemicelulosa es el componente que se encuentra en mayor proporción, con un 18.29% más que la celulosa y 18.74% más que la lignina; resultando un contenido de fibra del 53.31%, la cual es la que proporciona el potencial energético al combustionar la muestra.

**CUADRO 3.34**  
**RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS DE AZUFRE EN RESIDUOS DE**  
**CAÑA DE AZÚCAR (%p/p AL 11.2527% DE HUMEDAD)**

<b>Muestra</b>	<b>Peso de muestra gr</b>	<b>Peso de crisol Vacio gr</b>	<b>Peso de Crisol más muestra Calcinada gr</b>	<b>% de Azufre</b>
mI1	1.0023	16.5820	16.6656	1.1463
mIV1	0.9983	22.3008	22.3812	1.1068
<b>Promedio</b>				<b>1.12655</b>

Para la determinación del contenido de azufre se hace uso del método gravimétrico (anexo V, sección 5.3), tomando dos muestras al azar, el cual es utilizado para la determinación del factor de corrección por contenido de azufre al evaluar el poder calorífico (ecuación V.9 de anexo V), utilizando la siguiente ecuación.

$$\% \text{Azufre} = \frac{W_{\text{BaSO}_4}}{W_{\text{sample}}} * 13.7473$$

$$W_{\text{BaSO}_4} = (\text{peso de crisol más muestra calcinada}) - (\text{Peso de crisol vacío})$$

$$W_{\text{sample}} = \text{peso total de muestra}$$

**CUADRO 3.35**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DE**  
**FIBRA NEUTRO DETERGENTE Y ÁCIDO DETERGENTE, CELULOSA, LIGNINA Y**  
**HEMICELULOSA (%p/p)**

FND				
Regiones	$\bar{X}_{FND}$	$\sigma_{xFND}$	$Z_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	81.0333	0.7673	2.04	79.4680-82.5986
II	78.0598	0.0737	2.04	77.9094-78.2101
III	80.8730	0.1005	2.04	80.6680-81.0780
IV	78.2236	0.6196	2.04	76.9596-79.4876
FAD				
Regiones	$\bar{X}_{FAD}$	$\sigma_{xFAD}$	$Z_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	50.1323	0.1163	2.04	49.8950-50.3696
II	49.6874	0.1331	2.04	49.4159-49.9589
III	48.4513	0.0378	2.04	48.3742-48.5284
IV	48.0737	0.5942	2.04	46.8615-49.2859
Celulosa				
Regiones	$\bar{X}_{Celulosa}$	$\sigma_{xCelulosa}$	$Z_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	3.99	-	2.04	-
II	17.77	2.6516	2.04	12.3607-23.1793
III	13.42	3.4436	2.04	6.3951-20.4449
IV	14.80	4.1295	2.04	6.3758-23.2242
Lignina				
Regiones	$\bar{X}_{Lignina}$	$\sigma_{xLignina}$	$Z_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	11.47	0.69296	2.04	10.0564-12.8836
II	13.94	1.4496	2.04	10.9828-16.8972
III	10.94	1.3506	2.04	8.1848-13.6952
IV	11.84	2.7436	2.04	6.2431-17.4369
Hemicelulosa				
Regiones	$\bar{X}_{Hemicelulosa}$	$\sigma_{xHemicelulosa}$	$Z_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	31.4156	0.9011	2.04	29.5773-33.2538
II	29.0753	0.4631	2.04	28.1306-30.000
III	32.2852	1.4584	2.04	29.3101-35.2603
IV	30.3472	1.35099	2.04	27.5912-33.1032

### 3.3.6 Análisis Físicoquímicos

#### a) Pruebas Calorimétricas

Para determinar el poder calorífico después de combustionar la muestra (ecuación 3), es necesario conocer los datos de temperatura versus tiempo y generar con éstos una gráfica para obtener  $T_a$ ,  $T_c$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $r_1$  y  $r_2$  (ver modelo de gráfica en figura 3.10) y así obtener la temperatura de subida (ecuación 4); además conocer el porcentaje de azufre en la muestra para determinar el factor de corrección por formación de ácido sulfúrico en la muestra ( $e_2$ , ecuación 5). Ver guía de procedimientos en el anexo V, sección 5.3

$$Hg = \frac{2437.85 \times T - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad \text{Ec-3}$$

$$T = t_c - t_a - r_1 \times (b - a) - r_2 \times (c - b) \quad \text{Ec-4}$$

$$e_2 = 13.7 \times C_2 \times m \quad \text{Ec-5}$$

#### Definición de Términos:

$T$  : Incremento de Temperatura en °C

$m$  : masa de muestra en gramos

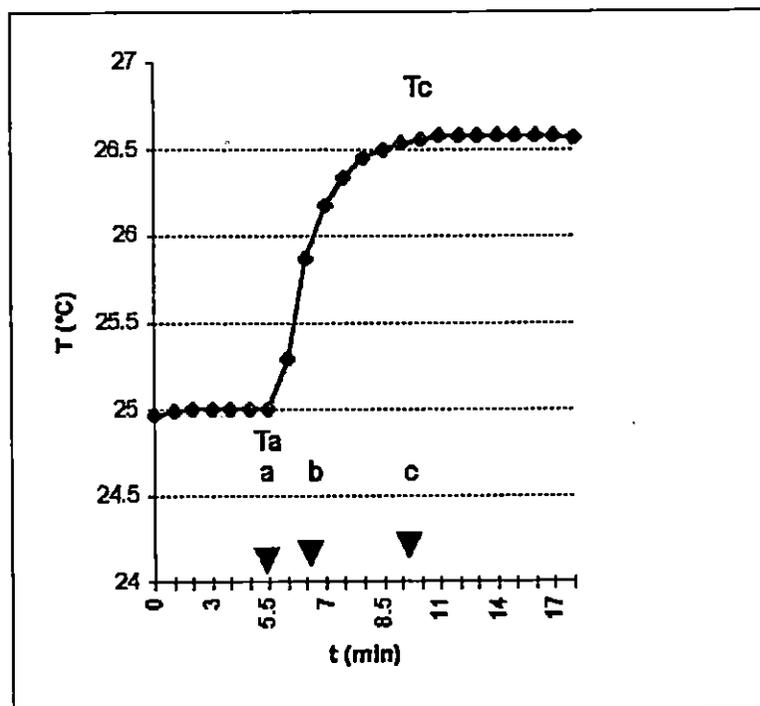
$C_2$ : Porcentaje de azufre en la muestra

$e_1$  : Corrección en calorías Para el calor de formación de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )

$e_2$  : Corrección en calorías para el calor de formación de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

$e_3$  : Corrección en calorías para el alambre fusible

$Hg$ : Calor total de combustión en calorías por gramo



**FIGURA 3.10 MODELO DE GRAFICA DE TEMPERATURA VERSUS TIEMPO PARA LA DETERMINACION DEL PODER CALORIFICO (MUESTRA ml1)**

Ejemplo de cálculo, para la muestra ml1.

Datos:

$m = 1.0045 \text{ gr,}$

$T_a = 25^\circ\text{C,}$

$T_c = 28.58^\circ\text{C,}$

$a = 5 \text{ min,}$

$b = 6.36 \text{ min}$

$c = 11 \text{ min}$

$T_1 = 24.98^\circ\text{C}$

$T_5 = 25^\circ\text{C}$

$T_{18} = 28.57$

$\% \text{Azufre} = 1.12655\%$

$\text{Alabre Gastado} = 8.7 \text{ cm}$

$\text{ml de solución gastado} = 2.5 \text{ ml}$

$$r_1 = (25 - 24.98)/5 = 0.004 ; \quad r_2 = (26.57 - 26.58)/7 = -0.00143$$

$$T = (26.58 - 25) - 0.004 \times (6.36 - 5) - (-0.00143) \times (11 - 36) = 1.5820532$$

$$e_1 = 2.5 ; e_2 = 1.12655 \times (13.7) \times (1.0045) = 15.5032 ; e_3 = 2.7 \times (8.7) = 23.49$$

$$H_g = (2437.85 \times (1.5820532) - 2.5 - 15.5032 - 23.49) / 1.0045 = 3798.32 \text{ Cal/gr}$$

**CUADRO 3.36**  
**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CALORIMÉTRICAS EN COGOLLO Y HOJA DE**  
**CAÑA DE AZÚCAR EN Cal/gr A 11.2527% DE HUMEDAD**

Región	Muestra	T	m	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	H <sub>g</sub>
Región I	mI1	1.582	1.0045	2.50	15.5032	23.49	3,798.32
	mI2	1.618	1.0095	2.60	15.5803	23.49	3,866.17
<b>Promedio</b>							<b>3,832.26</b>
Región II	mII1	1.652	1.0058	3.40	15.5232	16.74	3,968.65
	mII2	1.6335	1.0200	3.65	15.7424	22.95	3,862.63
<b>Promedio</b>							<b>3,915.64</b>
Región III	mIII1	1.574	0.9880	3.00	15.2485	22.14	3,842.90
	mIII2	1.6015	0.9978	3.65	15.3998	11.34	3,882.37
<b>Promedio</b>							<b>3,862.64</b>
Región IV	mIV1	1.5985	1.0010	3.15	15.4492	23.22	3,851.23
	mIV2	1.6005	0.9935	3.55	15.3334	21.60	3,886.56
<b>Promedio</b>							<b>3,868.90</b>
<b>Promedio Global</b>							<b>3,868.86</b>

**CUADRO 3.37**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS**  
**CALORIMÉTRICAS REALIZADAS EN MUESTRAS DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE LA**  
**CAÑA DE AZÚCAR (Cal/gr)**

Pruebas Calorimétricas				
Regiones	$\bar{X}_{PC}$	$\sigma_{PC}$	$Z_{ccx}$	Intervalo de Confianza
I	3,832.19	44.45	2.04	3,781.92 - 3,882.46
II	3,915.64	74.9686	2.04	3,830.85 - 4,000.43
III	3,842.90	27.9095	2.04	3,811.33 - 3,874.46
IV	3,868.90	24.9821	2.04	3,840.64 - 3,874.46

Los intervalos de confianza nos muestran que las pruebas calorimétricas son confiables para valores entre 3,781.92 y 4,000.43 Cal/gr

#### **4.0 RECOLECCION DE DATOS PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (*Zea mays*)**

El maíz es una de las pocas plantas de importancia económica originarias de América. La historia registrada del maíz se limita a los años posteriores al descubrimiento de América. Aparentemente, la primera referencia histórica de la planta ocurrió el 5 de noviembre de 1492. Ese día, dos españoles enviados por Colón a una expedición al interior de Cuba, regresaron con el informe de que existía “una especie de grano que llaman maíz, cuyo gusto fue bueno, cocido y secado, y convertido en harina” (Jugenheimmer, 1990).

##### **4.1 Generalidades del Cultivo del Maíz**

###### **a) Aspectos Agronómicos**

El maíz prospera en climas templados y soleados, donde el suministro de humedad es adecuado durante la temporada de crecimiento. En cuanto a la humedad, los momentos, más críticos en el periodo del desarrollo del cultivo coincide con la aparición de la espiga masculina, la polinización y el periodo en que aparecen los granos.

El maíz se adapta típicamente en los suelos de alta fertilidad y bien drenado. El cultivo requiere abundancia de nitrógeno y cantidades liberales de fosfato y potasio. Medra mejor en los suelos cuya acidez no es más que moderada, y que contienen considerable cantidades de calcio, magnesio y azufre. El cultivo es sensible también a deficiencias en los vestigios de elementos en especial del zinc y el boro. La escasas pruebas de la investigación tropical sugiere que, en algunos suelos de altura considerablemente intemperizados, algunos de los vestigios de elementos cobre, zinc, boro, molibdeno, manganeso y hierro, pueden ser demasiados escasos para la producción lucrativa del maíz.

La práctica del cultivo del maíz se realiza con una metodología sencilla, y comienza con la elección de la época adecuada de siembra (cuadro 4.1), luego se continúa con una preparación adecuada del terreno a cultivar, para aprovechar al máximo los nutrientes y mejorar el drenaje del suelo. Una vez se tenga las condiciones óptimas del suelo y climáticas se procede a la siembra de la semilla de maíz (cuadro 4.2), la cual una vez germinada, da paso al sistema de raíces que toma los nutrientes del suelo, para permitir el desarrollo del tallo y hojas hasta alcanzar su plena madurez.

**CUADRO 4.1**  
**ÉPOCAS DE SIEMBRA RECOMENDADAS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ EN LAS**  
**DIFERENTES ZONAS DE EL SALVADOR**

Épocas	Zona Costera de (0-450 MSM)	Valles INT. de (450-900 MSM)	Zonas altas de (900-1600 MSM)
Primavera	15-30 de mayo	15 mayo/15 junio	26 abril/26 junio
Postrera		15 mayo/31 agosto	
De riego a humedad	del 1-15 de dic.	del 1 - 15 de dic.	

HENRIQUEZ (1987)

MSM = Metros sobre el nivel del mar

**CUADRO 4.2**  
**DISTANCIAMIENTO, DENSIDAD DE SIEMBRA Y POBLACIÓN PARA LAS VARIEDADES DE**  
**MAÍZ CULTIVADAS EN EL SALVADOR**

Variedad	Distancias entre		Plantas por manzana	Cantidad de semillas m <sup>2</sup> /(lbs)
	Surcos	Plantas		
H-3	80-90 cm	20-15 cm	57,750	35
H-5	80-90 cm	20-15 cm	54,355	32
H-101	80-90 cm	20-15 cm	41,176	30
Centa (M1-B)	80-90 cm	20-15 cm	54,355	35

HENRIQUEZ (1987)

## b) Características de la Planta

El maíz es un miembro de hojas ásperas, de la familia de las gramíneas. Exhibe gran variabilidad según los tipos y raza regionales; la altura del tallo puede variar de 1.0 a 8.0 metros, y su diámetro de 1.5 a 4.0 centímetros. Los tallos están llenos de pulpa que sirve de almacén para el alimento producido en las hojas, antes de su traslocación a los granos en desarrollo de la mazorca. Cada tallo principal puede tener varios brotes, o ninguno, pero la producción de mazorca tiene lugar sobre todo en el tallo principal. El tallo ostenta una hoja en cada nudo, y una yema en la base de cada internudo, dentro de la cubierta de hojas que abraza al tallo (chala o tuza). Una de estas yemas se desarrolla para formar un retoño de mazorca (elote), que contiene los ovarios que, a su vez, se convertirán en granos después de polinización.

En el cuadro 4.3 se muestran resultados de análisis físico-químicos realizados a las plantas de maíz. Donde el contenido de fibra para elote, tuza y rastrojo es de 39, 31 y 28% en base húmeda, lo que indican que puede ser un material con un potencial como fuente de energía aceptable; de ahí la importancia de este proyecto.

**CUADRO 4.3**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA PLANTA Y GRANO DE MAÍZ (% EN BASE HUMEDA)**

Aspecto	Maíz	Elote	Tuza	Rastrojo
Materia seca	85.00	90.00	89.00	83.00
Proteína total	8.70	2.50	3.10	1.50
Proteína digestible	6.70	--	0.90	0.80
TND	8.00	42.00	60.00	41.00
Grasa	4.00	0.40	0.90	0.80
Fibra cruda	2.00	39.00	31.00	28.00
Calcio	0.02	0.11	0.08	0.32
Fósforo	0.27	0.40	0.52	0.23

Henríquez (1987)

TND = Nutrientes Digestibles Totales

## 4.2 Evaluación de Características Del Cultivo de Maíz por Encuestas

Esta investigación se desarrolló con el objetivo de utilizar los residuos de cosecha de maíz como una fuente alterna de energía, de uso directo.

Se ejecutó una encuesta de propósitos múltiples similar a la utilizada para el cultivo de caña de azúcar en todo El Salvador ( modelo de encuesta en anexo II), con el objeto de lograr un estimado de los volúmenes de residuos generados, áreas cultivadas, rendimientos por área cultivadas, localización de las zonas donde estos cultivos se encuentran en mayor concentración y disposición de los agricultores a querer usar los rastrojos como energéticos de uso directo. También se realizaron los correspondientes análisis físico-químicos para poder determinar la oferta energética de éstos residuos, con resultados mostrados en la sección 5.0.

Se adoptó la división territorial del país utilizada por la MAG-DGEA, ya que ellos dividen el país en cuatro regiones departamentales y en base a ello generan la información sobre producción agrícola en El Salvador, otros de los objetivos de esta división sirvió para obtener una cobertura de información recolectada en todo El Salvador. El cuadro 4.4, muestra las cuatro regiones en que se divide El Salvador y los distintos departamentos que conforman dichas regiones, para los propósitos acá planteados.

**CUADRO 4.4**  
**REGIONALIZACIÓN POR DEPARTAMENTOS EN EL SALVADOR SEGÚN EL MAG-DGEA**  
**PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN POR ENCUESTAS**

Región	Departamento
I	Ahuachapán
	Santa Ana
	Sonsonate
II	Chalatenango
	La Libertad
	San Salvador
	Cuscatlán
III	La Paz
	Cabañas
	San Vicente
IV	Usulután
	San Miguel
	Morazán
	La Unión

MAG-DGEA (1995)

#### 4.2.1 Determinación del Número de Encuestas para el Cultivo de Maíz

Para este propósito se hizo uso de información proporcionada por la Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). En la determinación del número de encuestas a ejecutar en el cultivo de maíz se hizo uso de la ecuación Ec-1, planteada en la sección 3.0 siguiendo el mismo procedimiento de cálculo que para el cultivo de caña de azúcar.

Para este caso:

$n$  = Número de encuestas a ejecutar en El Salvador

$N$  = Número de productores de maíz por región (cuadro 4.7)

$\sigma$  = Desviación estándar, es una medida de dispersión o variación de los valores que se analizan con respecto a la media aritmética de un conjunto de datos (cuadro 4.6)

Z = Factor de probabilidad, y se obtiene al utilizar tablas de distribución normal estadística (anexo III, cuadro III.3).

E = Error permisible y representa el máximo valor en un conjunto de datos que se desvíen del total

Var =  $\sigma^2$ . Varianza y se obtiene al elevar al cuadrado la desviación estándar.

#### a. Determinación de la Varianza

Utilizando los rendimientos “quintales de maíz por manzana de tierra cultivada” (qq/Mz) de cada estrato (cuadro 4.5, y definición de estrato en a.1) por cada región se determina la varianza aplicando la ecuación 2, con datos mostrados en el cuadro 4.6.

Para este caso:

X= Datos de rendimiento qq/Mz obtenidos del cuadro 4.6

$\bar{X}$ = Media aritmética de los rendimientos qq/Mz ( cuadro 4.6)

N= Número de productores de maíz por región ( cuadro 4.7)

**a.1 Estrato**, según MAG-DGEA este concepto se le atribuye a la tierra dependiendo de su intensidad y tipo de uso, su clasificación comienza desde un 100% de tierra cultivable hasta las tierras que no tienen ningún uso. La clasificación de los estratos se muestra en el cuadro 4.5 y el rendimiento de su producción en quintales por manzana cultivada se muestran en el cuadro 4.6, del cual se obtuvo la varianza que se utilizó en el cálculo del número de agricultores por región.

**CUADRO 4.5**  
**ESTRATOS POR USO INTENSIVO DE TIERRAS EN EL SALVADOR**

<b>Estrato</b>	<b>Uso de tierra</b>
<b>01</b>	Hasta el 100 %
<b>02</b>	Hasta el 75 %
<b>03</b>	Debe de tener más del 50 % de café cultivado
<b>04</b>	Hasta el 50 %
<b>05</b>	Suburbano
<b>06</b>	Urbano
<b>07</b>	Turístico
<b>08</b>	De 25 % a 15 %
<b>09</b>	Bosques Salados
<b>10</b>	Embalse y otros

MAG-DGEA (1995)

- b) **E.** Definido en sección 3.0, y se tomó un valor de  $E = 2$  para la Región I y IV,  $E = 1$  en la Región II y III
- c) **Z.** Definido en sección 3.0. El valor para la Región I y III se obtiene al trabajar con una probabilidad del 97.36 (2.64% de error), tomando un valor de 2.33, para la Región II y IV se trabajo con una probabilidad del 94.16 (5.84% de error) y el valor que le corresponde a Z es de 1.96

**CUADRO 4.6**  
**PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ EN EL SALVADOR**

Región	Estrato	Superficie (Mz)	Producción (qq)	Rendimiento qq/Mz
I	01	20,040.46	936,948.45	46.75
	02	12,169.28	588,504.64	48.36
	03	23,349.17	1,079,756.98	46.15
	04	27,571.46	1,314,790.40	47.69
	05	35.85	1,432.25	39.95
	08	205.41	8,496.10	41.36
	09	5.00	275.00	55.00
	totales	83,421.63	3,930,203.82	47.11
	<b>Varianza</b>			<b>24.44</b>
II	01	14,093.03	707,971.57	50.24
	02	8,222.08	405,807.44	49.36
	03	11,970.00	619,020.00	51.71
	04	34,285.50	1,700,403.48	49.60
	05	10.60	511.90	48.29
	07	12.77	533.70	41.79
	08	370.92	16,844.45	45.41
	totales	68,964.90	3,451,092.54	50.04
	<b>Varianza</b>			<b>11.42</b>
III	01	19,449.90	856,242.25	44.02
	02	18,228.41	805,323.56	44.34
	03	6,718.97	337,724.89	50.26
	04	16,448.37	751,137.63	45.67
	05	15.15	725.00	46.77
	08	222.90	9,306.35	41.75
	totales	61,083.18	2,763,459.68	45.24
	<b>Varianza</b>			<b>8.38</b>
IV	01	31,294.47	1,256,095.05	40.14
	02	18,810.45	515,802.18	27.42
	03	2,838.50	105,559.83	37.33
	04	21,060.17	551,910.78	26.21
	05	6.00	170.50	28.42
	07	1.00	30.00	30.00
	08	52.90	1,224.90	23.16
	09	30.00	1,230.00	41.00
	totales	74,093.49	2,432,423.24	32.83
	<b>varianza</b>			<b>46.35</b>

MAG-DGEA (1995):

ESTRATO: DEFINIDO EN CUADRO 4.5

**CUADRO 4.7**  
**NÚMERO DE PRODUCTORES DE MAÍZ EN EL SALVADOR DETERMINADOS POR LA**  
**DIVISION GENERAL DE ESTADISTICAS AGROPECUARIA DEL MINISTERIO DE**  
**AGRICULTURA Y GANADERIA**

Región	No de Productores
I	335
II	413
III	371
IV	339
<b>Total</b>	<b>1458</b>

MAG-DGEA (1995)

**d) Cálculo de número de encuestas Ejecutadas para el cultivo del Maíz**

El número de agricultores de maíz a encuestar (n), se calculan por medio de la ecuación 1, resultados resumidos en el cuadro 4.8

**CUADRO 4.8**  
**NUMERO DE AGRICULTORES DE MAÍZ A ENCUESTAR EN EL SALVADOR**

Región	N	E	Z	Var	n
I	335	2.0	2.33	24.44	30
II	413	1.0	1.96	11.42	40
III	371	1.0	2.33	8.38	40
IV	339	2.0	1.96	46.35	39
<b>Total de Agricultores a Encuestar</b>					<b>149</b>

**4.2.2 Selección de los Agricultores a Encuestar**

Para la selección de productores a encuestar se hizo uso de muestreo aleatorio probabilístico y no probabilístico, los cuales se explican con la teoría estadística que se muestra en el anexo III.

En el cultivo del Maíz, todos los productores en un inicio tuvieron igual probabilidad de ser encuestado como lo presenta el muestreo aleatorio, luego por razones

económicas se eligieron lugares de mayor acceso de vehículos y con mayor representatividad en el número de productores. En ocasiones se aplicó muestreo no aleatorio como el dirigido, cuando existió un productor en un lugar que no es tomado en cuenta y produce una cantidad representativa en cuanto al área cultivada. Al aplicar este tipo de muestreo se aplicó las técnicas descritas en la sección 3.2.2, igual para el cultivo de caña de azúcar.

#### **4.2.3 Tabulación de Resultados Obtenidos de la Información Proporcionada por las Encuestas Ejecutadas en Agricultores de Maíz en El Salvador**

Los resultados de las encuestas se muestran en tres secciones, como son la sección de generalidades Sobre los Cultivos de maíz, sección referente a los residuos agrícolas y sección de aspectos varios, las cuales se dividen en una serie de cuadros del 4.9 al 4.25, que contienen el número y tipo de respuestas que proporcionaron los productores de maíz al ser encuestados en todo el país.

**Sección I: Generalidades del cultivos del maíz,** como son la topografía del terreno donde se cultiva, principales variedades cultivadas, Tiempo y fecha de recolección de la cosecha del cultivo de maíz ( cuadros del 4.9 al 4.14).

**Sección II: Residuos del cultivo del maíz,** se agrupa la información sobre la existencia de residuos sobrantes, si existe interés en comercializar los residuos, usos y tipo de utilidades que se le pueden dar a estos (cuadros del 4.15 al 4.17).

**Sección III: Aspectos varios,** tales como los medios de transporte utilizados en los lugares donde habitan los agricultores, si existen carreteras y acceso de vehículos a las zonas de producción y principales combustibles utilizados en las actividades cotidianas de los agricultores (cuadros del 4.18 al 4.22).

**a) Sección I: Datos Proporcionados por las Encuestas Sobre Generalidades del Cultivo de Maíz en El Salvador**

**CUADRO 4.9**  
**TOPOGRAFÍA DE TERRENOS DONDE SE CULTIVA MAÍZ EN EL SALVADOR**

Regiones	Topografía del Terreno	
	Accidentado	Plano
Región I	8	25
Región II	19	20
Región III	20	16
Región IV	20	19
Total	67	80

**CUADRO 4.10**  
**PRINCIPALES VARIEDADES DE MAÍZ CULTIVADAS EN EL SALVADOR**

Variedades de Maíz	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Nacional	1	4	5	17	27
H-3	4	1	0	2	7
H-S5G	0	3	1	0	4
Segregado	4	0	4	0	8
H-53	13	3	9	4	29
H-5	4	18	13	6	41
Cargill	2	0	0	0	2
H-57	1	1	0	3	5
H-56	4	0	5	1	10
H-17	0	1	0	1	2

**CUADRO 4.11**  
**NUMERO DE COSECHAS POR AÑO OBTENIDAS DEL CULTIVO DE MAÍZ**

Regiones	Número de cosechas	
	Una cosecha	Dos Cosechas
Región I	37	0
Región II	28	3
Región III	37	0
Región IV	25	18
Total	127	21

## Definiciones de Símbolos Utilizados en los cuadros 4.12 al 4.13

X : Área en Manzanas      < : Menor que  
 > : Mayor que                      ≤ : Mayor o igual que  
 ≥ : Menor o igual que.      Y : Tiempo en semana

CUADRO 4.12  
 ÁREAS DE MAÍZ CULTIVADA POR REGIÓN (X EN MANZANAS)

Área Cultivada	Número de respuestas por Región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
$0 < X \leq 2$	23	27	24	21	95
$2 < X \leq 4$	11	9	11	4	35
$4 < X \leq 6$	2	3	1	3	9
$6 < X \leq 8$	0	0	0	2	2
$8 < X \leq 2$	0	0	0	1	1
$X > 10$	0	1	0	1	2

CUADRO 4.13  
 PERIODO TRADICIONAL DE RECOLECCIÓN DE LA COSECHA DE MAÍZ (Y EN MESES)

Período de Recolección	Numero de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
$0 < Y \leq 1$	12	25	24	25	86
$1 < Y \leq 2$	13	7	14	4	38
$2 < Y \leq 3$	5	1	0	0	6
$3 < Y \leq 4$	5	0	0	1	6
$Y > 4$	1	3	0	5	9

CUADRO 4.14  
 EPOCA APROXIMADA DE RECOLECCIÓN DE LA COSECHA DE MAÍZ

Mes	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Agosto	0	0	0	6	6
Septiembre	0	2	0	6	8
Octubre	7	10	8	11	36
Noviembre	15	19	22	9	65
Diciembre	13	9	4	2	28

**b) Sección II: Datos Proporcionados Por la Encuesta Referente a los Residuos del Cultivo del Maíz en El Salvador**

**CUADRO 4.15**  
**AGRICULTORES CON EXISTENCIA DE RESIDUOS SOBANTES DE MAÍZ**

Respuesta	Número de respuestas por Región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Si	24	9	24	9	66
No	2	32	13	31	78

**CUADRO 4.16**  
**DIFERENTES MANEJOS DE RESIDUOS SOBANTES DE MAÍZ**

Manejos de Residuos	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Desperdicio	20	13	21	7	61
Quema	7	0	4	0	11
Forraje	0	1	0	1	2
Abono	8	7	17	2	34
Venta	1	0	0	6	7
Combustible	0	1	0	4	5

**CUADRO 4.17**  
**CONOCIMIENTO DE USOS POSIBLES DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ POR LOS AGRICULTORES SALVADOREÑOS**

Usos Posibles	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Combustible	8	15	10	9	42
Forraje	14	14	4	11	43
Abono	0	10	3	9	22
Venta	0	0	0	4	4
Ninguno	17	8	20	7	52
Industria artesanal	0	4	0	18	22
Domésticos	0	1	1	7	9
Artesanías	0	6	0	4	10

**CUADRO 4.18**  
**VENTAJAS O DESVENTAJAS AL UTILIZAR LOS RESIDUOS DE MAÍZ PARA OTROS FINES**  
**DIFERENTES A LOS ACTUALES**

Ventajas o Desventajas	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Ninguna	12	13	6	11	42
Mayor costo en fertilizantes	10	12	16	8	46
Mayor costo en alimentación animal	11	21	29	21	82
Perdida de suelo y humedad de estos	19	21	27	7	74
Otros	0	1	2	0	3

**CUADRO 4.19**  
**INTERÉS POR PARTE DE LOS AGRICULTORES EN COMERCIALIZAR LOS RESIDUOS DE MAÍZ**

Respuesta	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Si	32	28	27	11	98
No	6	14	10	19	49

**CUADRO 4.20**  
**DIFICULTADES MANIFESTADAS POR LOS AGRICULTORES EN EL MANEJO**  
**DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ**

Problemas	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Ninguno	28	28	28	25	109
Plagas	0	15	0	5	20
Espacio	0	19	0	9	28
Incremento de Trabajo	4	1	4	0	9
Inversión económica	5	0	4	3	12

**c) Sección III: Datos con Respecto a Aspectos Varios Proporcionados por la  
Encuesta Realizada en Agricultores de Maíz Salvadoreños**

**CUADRO 4.21**  
**PRINCIPALES COMBUSTIBLES UTILIZADOS POR LOS AGRICULTORES DE MAÍZ**

Diferentes Combustibles	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Lefia	36	28	30	25	119
Gas Propano	15	13	11	15	54
Keroseno	0	2	6	14	22
Carbón de Lefia	0	1	4	7	12
Otros	2	2	8	1	13

**CUADRO 4.22**  
**ACCESO A ELECTRICIDAD EN LOS LUGARES DONDE VIVEN LOS AGRICULTORES DE MAÍZ**

Respuesta	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Si	34	35	19	30	118
No	4	6	13	11	34

**CUADRO 4.23**  
**ACCESO A VEHÍCULOS EN LA ZONA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

Respuesta	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Si	35	35	38	32	140
No	3	7	4	7	21

**CUADRO 4.24**  
**MEDIOS DE TRANSPORTE UTILIZADOS POR LOS AGRICULTORES DE MAÍZ**

Medio de Transporte	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Autobús	18	33	12	15	78
Pick'up	33	39	39	36	147
Camiones	30	29	25	22	106
Bicicletas	24	30	22	15	91
Carretas	16	2	22	10	50
Caballo	9	8	3	7	27

**CUADRO 4.25**  
**PRINCIPALES PROBLEMAS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ AFRONTADOS POR LOS**  
**AGRICULTORES EN EL SALVADOR**

Problemas de Cultivo	Número de respuestas por región				
	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Faltas de Insumos Agrícolas	10	15	20	32	77
Falta de Financiamiento	18	28	18	35	99
Costo de mano de obra	27	13	16	29	85
Falta de tierras	1	14	0	0	15
Falta de incentivos	7	6	8	1	22
Plagas	0	0	3	2	5
Asistencia técnica	1	0	0	0	1
Ninguno	0	5	0	0	5

#### 4.2.4 Análisis de las Encuestas para el Cultivo de Maíz

La información proporcionada por la encuesta se divide en cuantitativa y cualitativa. La información cuantitativa se tabula y los datos se presentaron en figuras y en base a ellos se obtuvieron las conclusiones necesarias para esta investigación.

#### Sección I: Análisis de Encuestas Sobre Generalidades del Cultivo de Maíz en El Salvador

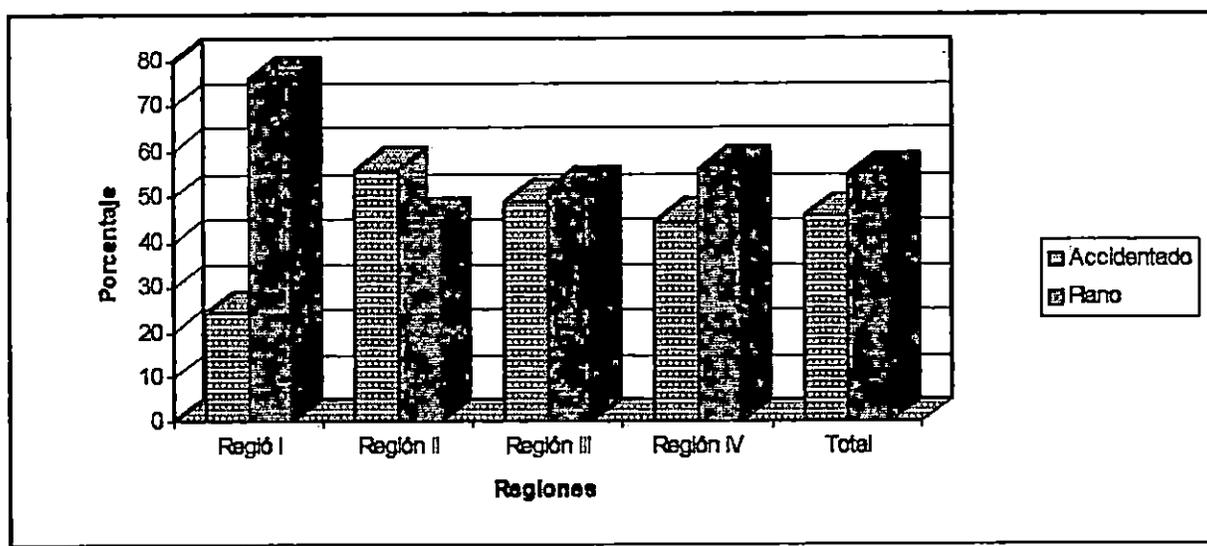
##### a. Topografía del Terreno

El cuadro 4.26 y figura 4.1 muestran en porcentajes la topografía de los terrenos donde se cultiva Maíz en El Salvador. En las Región I se cultiva maíz mayormente en terrenos planos, con porcentaje de 75.76%, mientras que en las regiones III y IV la diferencia es menos marcada para porcentajes del 51.28 y 58.28% respectivamente; mientras en la Región II el terreno accidentado predomina ligeramente con porcentaje de 55.55%. Los resultados globales muestran, que el cultivo de maíz lo realizan tanto en

terrenos planos como en terrenos accidentados, con un porcentaje de 54.43% y 45.57%, lo que es en parte satisfactorio para el interés del proyecto, cuando los residuos generados quedan en terrenos planos y esto facilita su recolección.

**CUADRO 4.26**  
**TOPOGRAFÍA DE TERRENOS DONDE SE CULTIVA MAÍZ EN EL SALVADOR (EN %)**

Aspecto	Región I	Región II	Región III	Región IV	total
Accidentado	24.24	55.55	48.72	44.45	45.57
Plano	75.76	44.45	51.28	55.55	54.43



**FIGURA 4.1 TOPOGRAFÍA DE TERRENOS DONDE SE CULTIVA MAÍZ EN EL SALVADOR**

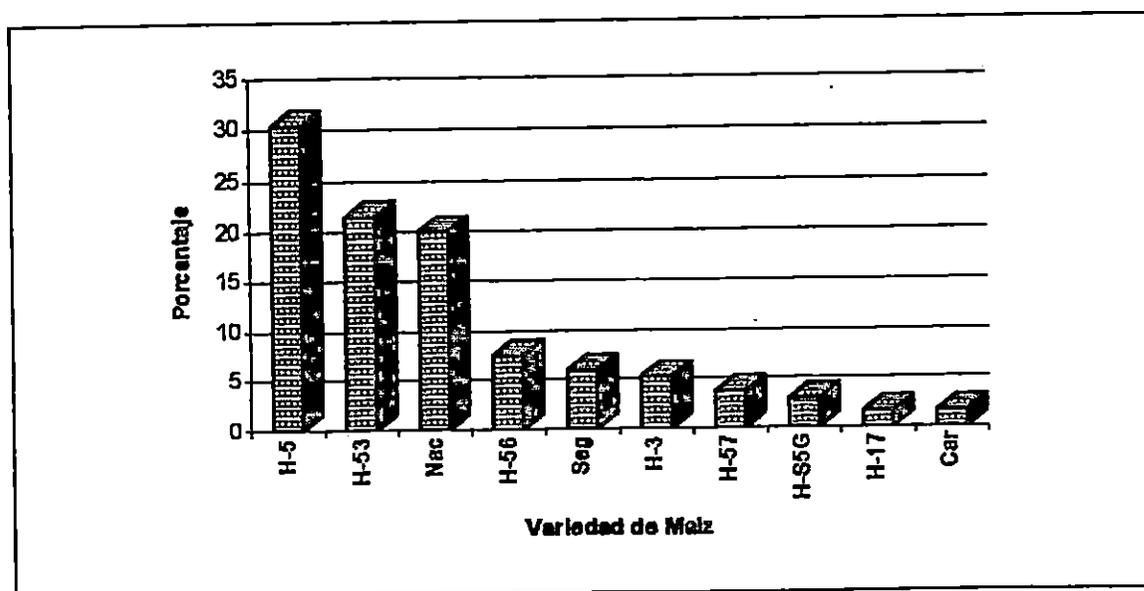
#### b. Variedades de Maíz Cultivada

El cuadro 4.27 muestra la tabulación de porcentaje de variedades de Maíz cultivadas por Región, en donde se tiene que la variedad H-53 predomina en la Región I con un porcentaje de 39.39%. En la Región II, la variedad H-5 es la más representativa con 58.06 % y en la Región III las variedades H-5 y H-53 son las predominantes con 35.13 y 24.32% respectivamente; mientras que la Región IV las variedades nacional y H-5 son las más cultivadas con porcentajes de 50 y 17.65% respectivamente.

A nivel general, las tres variedades más cultivadas son H-5, H-53, y Nacional con porcentajes de 30.37, 21.48 y 20% respectivamente. Otras variedades que se cultivan son H-53, Segregado, H-3, H-57, H-S5G, H-17 y Cargill con porcentajes de 7.48, 5.92, 5.18, 3.70, 2.96, 1.48 y 1.48% respectivamente (figura 4.2)

**CUADRO 4.27**  
**PRINCIPALES VARIETADES DE MAÍZ CULTIVADAS EN EL SALVADOR (EN %)**

Región	Nacio- nal	H-3	H-17	H-S5G	Segre- gado	H-53	H-5	Cargill	H-57	H-56
Región I	3.03	12.12	0.00	0.00	12.12	39.39	12.12	6.07	3.03	12.12
Región II	12.92	3.22	3.22	9.68	0.00	9.68	58.06	0.00	3.22	0.00
Región III	13.51	0.00	0.00	2.72	10.81	24.32	35.13	0.00	0.00	13.51
Región IV	50.00	5.89	2.94	0.00	0.00	11.76	17.65	0.00	8.82	2.94
Totales	20.00	5.18	1.48	2.96	5.92	21.48	30.37	1.48	3.70	7.43



**FIGURA 4.2 PRINCIPALES VARIETADES DE MAÍZ CULTIVADAS EN EL SALVADOR**

Donde:

Nac= Nacional      H-3= H-3  
 H-17= H-17      H-S5G= H-S5G  
 Seg= Segregado      H-53= H-53  
 Car= Cargill      H-57= H-57  
 H-56= H-56

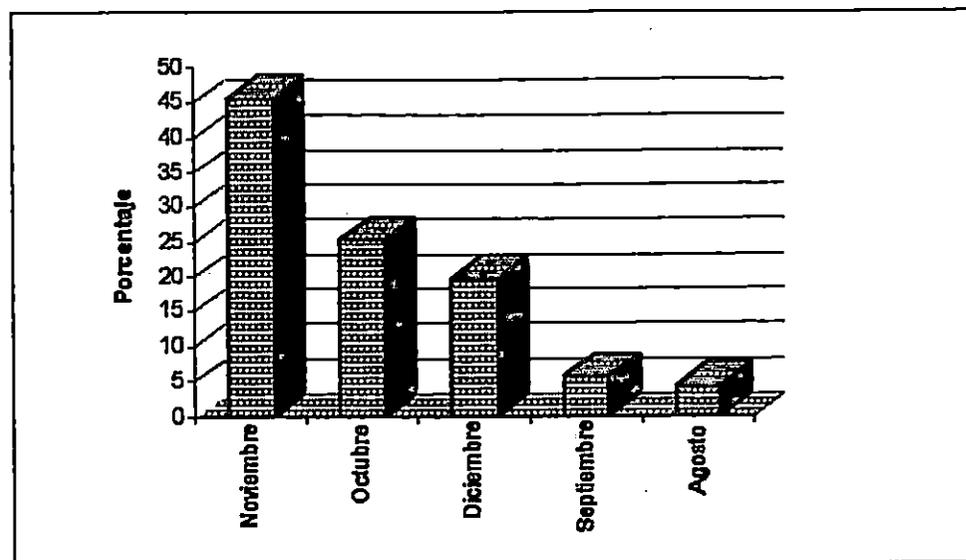
c. Época de Recolección

El cuadro 4.28 y figura 4.3 muestra que los Agricultores recolectan las cosechas del cultivo de Maíz en su mayoría en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, con porcentajes de 37.14, 22.50 y 11.76% respectivamente, manteniéndose esta tendencia en las cuatro regiones en estudio.

Los productores de las regiones I y III, manifiestan que no recolectan sus cosechas en los meses de agosto y septiembre; y para el mes de agosto los productores de la región II, lo cual no sucede en la región IV, ya que el 17.65% manifiesta estar en periodo de recolección de las cosechas de maíz para esos meses (cuadro 4.28).

**CUADRO 4.28**  
**ÉPOCA TRADICIONAL DE RECOLECCIÓN DE LA COSECHA DEL CULTIVO DE MAÍZ**  
**( RESPUESTAS EN %)**

Mes	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Agosto	0.00	0.00	0.00	17.65	4.19
Septiembre	0.00	5.00	0.00	17.65	5.59
Octubre	20.00	25.00	23.53	32.35	25.18
Noviembre	42.86	47.50	64.71	26.47	45.45
Diciembre	37.14	22.50	11.76	5.88	19.59



**FIGURA 4.3 ÉPOCA TRADICIONAL DE RECOLECCIÓN DE LA COSECHA DEL CULTIVO DE MAÍZ**

## **Sección II: Análisis de la Encuesta Referente a los Residuos del Cultivo de Maíz en El Salvador**

### **a. Agricultores con Residuos Sobrantes**

El cuadro 4.29 y figura 4.4 muestran que los Agricultores de las Regiones I y III tienen residuos sobrantes en mayor cantidad con porcentajes de 92.31 y 64.86 respectivamente; mientras que las regiones II y IV presentan sobrantes en menor cantidad, con porcentajes de 21.95 y 22.5% respectivamente. A nivel de todo El Salvador el 45.83 de los productores del cultivo del Maíz manifiesta tener residuos sobrantes.

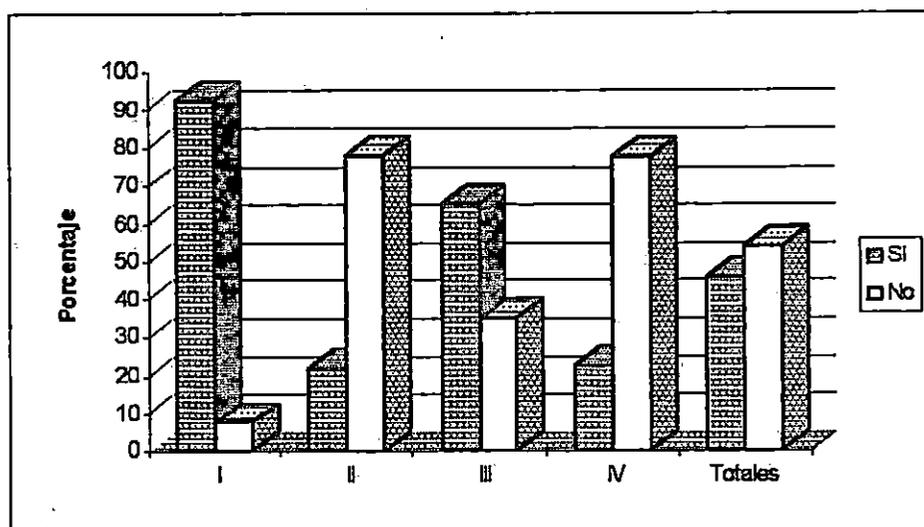
Los productores que manifestaron tener residuos sobrantes, la mayoría de los residuos los desperdicia, en porcentajes de 55.55, 59.09, 50.00 y 35% para las regiones I, II, III y IV respectivamente; mientras un pequeño porcentaje los quema (cuadro 4.29a)

**CUADRO 4.29**  
**PORCENTAJE DE AGRICULTORES DE MAÍZ CON Y SIN RESIDUOS SOBRANTES**

Región	Si	No
I	92.31	7.69
II	21.95	78.05
III	64.86	35.14
IV	22.5	77.50
Totales	45.83	54.17

**CUADRO 4.29a**  
**USOS DE LOS RESIDUOS SOBRANTES DEL CULTIVO DE MAÍZ (RESPUESTAS EN %)**

Región	Desperdicio	Quema	Total
I	55.56	19.44	75.00
II	59.09	0.00	59.09
III	50.00	9.52	59.52
IV	35.00	0.00	35.00
Totales	50.83	9.17	60.00



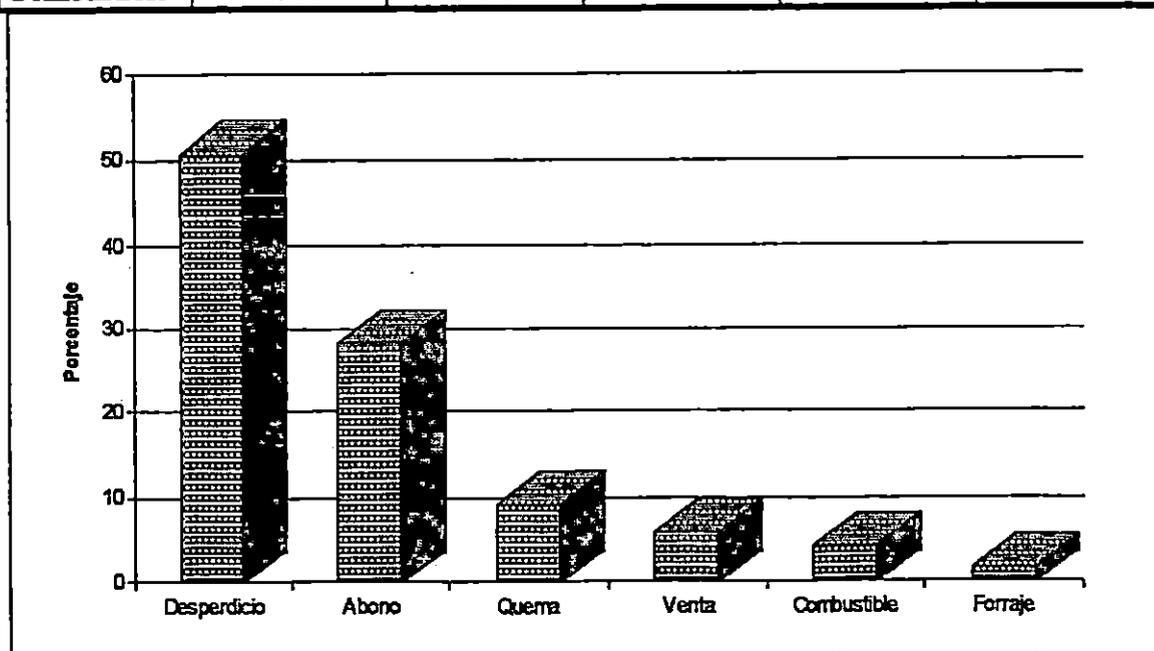
**FIGURA 4.4 AGRICULTORES CON Y SIN RESIDUOS SOBRANTES EN EL SALVADOR**

### b. Manejos actuales de los Residuos de Maíz

Entre los principales destinos de los residuos se tienen que entre el desperdicio y la quema se alcanzan porcentajes totales promedio de 50.83 y 9.17% respectivamente para un total del 59.90% del total global promedio, destinándose sólo un 40.10% a actividades como abono, forrajes y combustibles. Esto indica que habría disponibilidad de un 60% de los residuos generados por el cultivo de maíz para uso como energético, sin que interfiera en las actividades de uso útil tradicional a que dichos residuos son destinados (cuadro 3.30 y figura 4.5)

**CUADRO 4.30**  
**PRINCIPALES DESTINOS DE RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ EN EL SALVADOR (%)**

Manejo	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Desperdicio	55.55	59.09	50.00	35.00	50.83
Quema	19.44	0.00	9.52	0.00	9.17
Forraje	0.00	4.54	0.00	5.00	1.67
Abono	22.22	31.83	40.48	10.00	28.33
Venta	2.77	0.00	0.00	30.00	5.83
Combustible	0.00	4.54	0.00	20.00	4.17



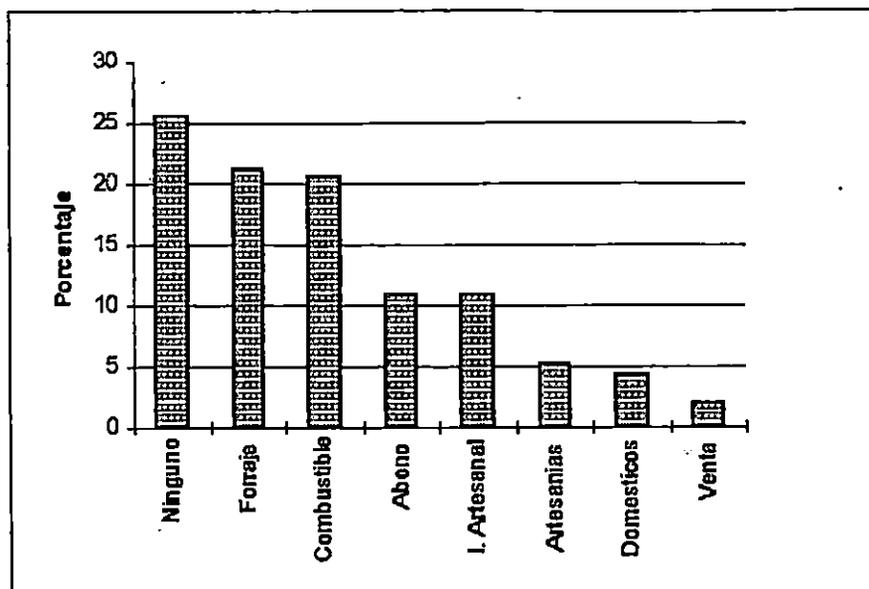
**FIGURA 4.5 MANEJO ACTUAL DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ**

c. Uso que se les puede dar a los Residuos del Cultivo de Maíz.

El cuadro 4.31 y figura 4.6 muestra los resultados que al consultar a los agricultores de Maíz sobre los usos que conocen y podría dársele a los residuos generados de este cultivo en El Salvador. Los usos que mayormente conocen son forraje (alimento para ganado), combustible y ningún uso con porcentajes de 21.09, 20.58 y 25.49 respectivamente. Otros usos que los agricultores conocen de los residuos son artesanías, venta y usos domésticos con porcentajes de 5.22, 1.96 y 4.41 respectivamente. Esta información indica que ya existe conocimiento de que los residuos de maíz pueden usarse como combustible, a pesar de que su uso como combustible se reporta sólo en un 4.17% (cuadro 4.30).

CUADRO 4.31  
PRINCIPALES USOS QUE CONOCEN LOS AGRICULTORES QUE SE LES PUEDE DAR A LOS RESIDUOS DE COSECHAS DE MAÍZ EN EL SALVADOR (RESPUESTAS EN %)

Región	Combustible	Forraje	Abono	Venta	Industria Artesanal	Domésticos	Artesanías	Ninguno
Región I	20.51	35.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.59
Región II	25.86	24.14	17.24	0.00	6.90	1.72	10.35	13.78
Región III	26.31	10.53	7.89	0.00	0.00	2.64	0.0	52.63
Región IV	13.04	15.94	13.04	5.79	26.12	10.14	5.79	10.14
Totales	20.58	21.09	10.78	1.96	10.78	4.41	5.22	25.49



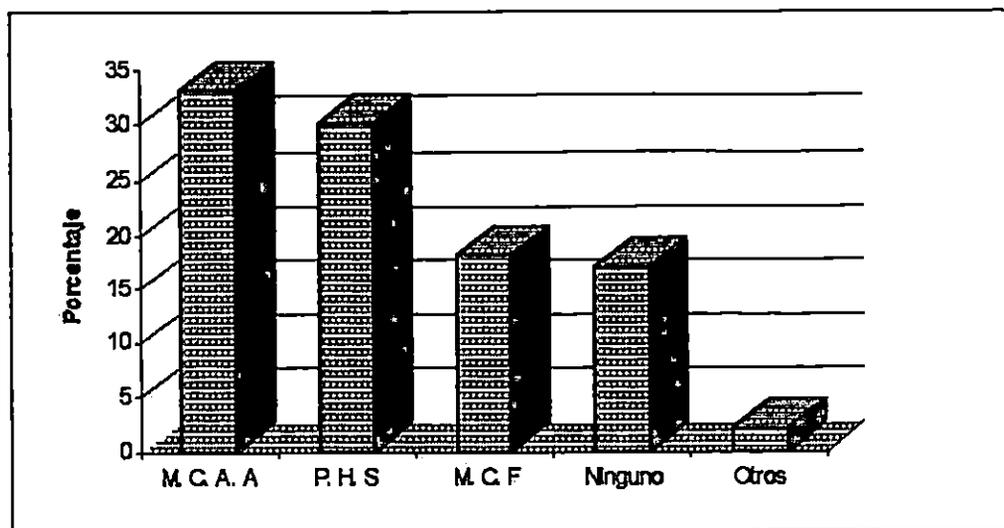
**FIGURA 4.6 PRINCIPALES USOS DE RESIDUOS DE MAÍZ POR REGIÓN EN EL SALVADOR**

**d. Desventajas Existentes al utilizar los residuos a Fines diferentes a los actuales**

El cuadro 4.32 y figura 4.7 presenta los porcentajes de los efectos que provoca a los agricultores de Maíz el utilizar los residuos generados por este cultivo a fines diferentes a los tradicionales. La pérdida en Humedad de los suelos y mayor costo en la alimentación animal son las principales desventajas manifestadas por los agricultores con porcentajes de 33 y 30% respectivamente, mientras que un 17 por ciento manifiesta que no le afectaría en nada el utilizar sus residuos en otros usos que no sean los tradicionales.

**CUADRO 4.32  
DESVENTAJAS MANIFESTADAS POR LOS AGRICULTORES AL DESTINAR LOS RESIDUOS DE MAÍZ PARA OTROS USOS DISTINTOS A LOS TRADICIONALES (%)**

Región	Ninguna	Mayor Costo de Fertilizantes	Mayor costo de alimentación animal	Perdida y humedad de suelos	Otros
I	23	19	21	37	0
II	19	17	31	31	2
III	7	20	36	34	3
IV	23	17	45	15	0
Total	17	18	33	30	2



**FIGURA 4.7 DESVENTAJAS MANIFESTADAS POR LOS AGRICULTORES AL UTILIZAR LOS RESIDUOS DE MAÍZ PARA FINES DISTINTOS A LOS TRADICIONALES.**

Donde:

M. C. A. A = Mayor Costo en Alimentación Animal

P. H. S = Pérdida de humedad de Suelos

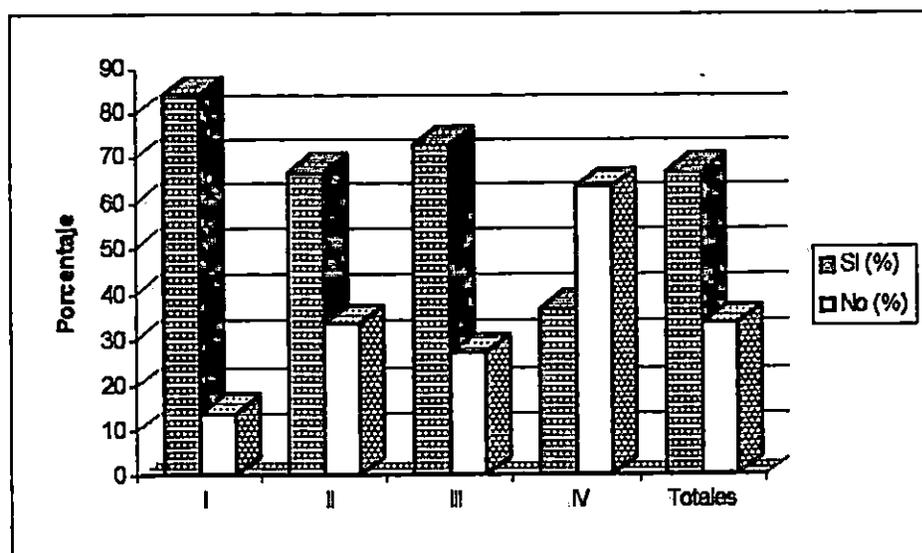
M. C. P = Mayor costo de Fertilizantes

#### e. Comercialización de los Residuos

El cuadro 4.33 y figura 4.8 muestra el porcentaje de agricultores interesados en comercializar los residuos del cultivo de Maíz por Región, en donde los productores de la Región I, II y III están interesados en comercializar los residuos en porcentajes de 84.21, 66.67 y 72.97% respectivamente; mientras los productores de la Región IV presentan un menor interés con un porcentaje de 36.67%. A nivel de El Salvador el 66.67 % manifiesta interés en comercializar los residuos del cultivo de Maíz que genera; el cual es un porcentaje mayor que el porcentaje de agricultores con residuos sobrantes que es el 45.17% (cuadro 4.30), esto indica que un porcentaje de agricultores sacrificaría algún uso de los residuos con el fin de comercializarlos.

**CUADRO 4.33**  
**INTERÉS DE LOS AGRICULTORES EN COMERCIALIZAR LOS RESIDUOS DE MAÍZ**

Región	Si (%)	No (%)
I	84.21	13.79
II	66.67	33.33
III	72.97	27.03
IV	36.67	63.33
Totales	66.67	33.33



**FIGURA 4.8 INTERÉS DE LOS AGRICULTORES POR COMERCIALIZAR LOS RESIDUOS DE MAÍZ EN EL SALVADOR**

**f. Dificultad en el manejo de los residuos**

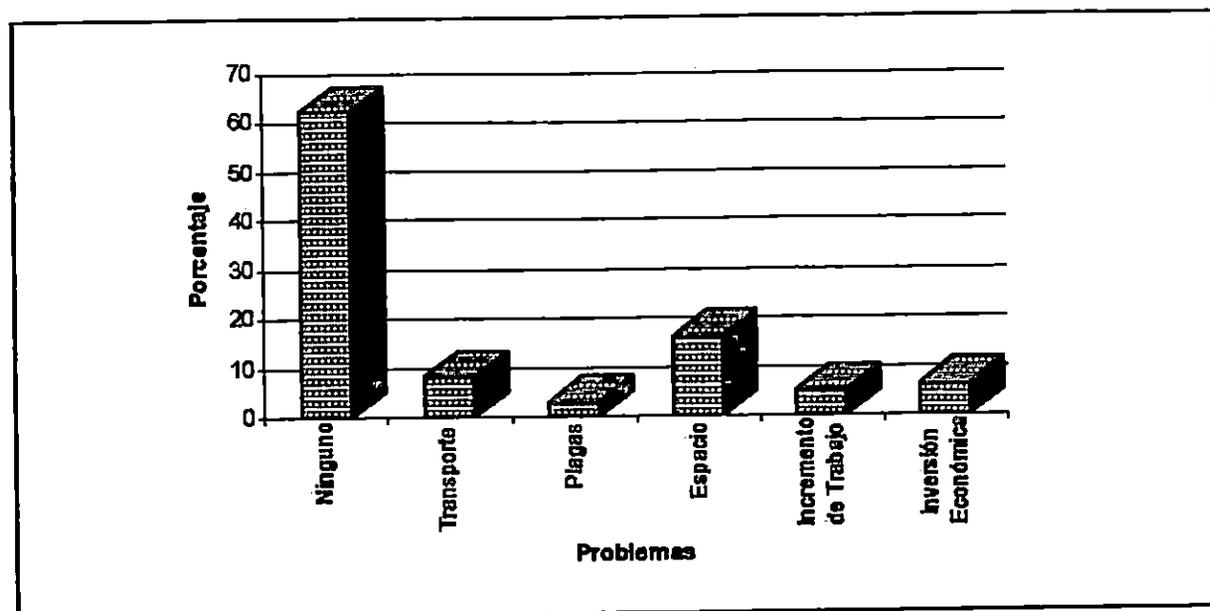
El cuadro 4.34 muestra los principales dificultades que se les presenta a los agricultores del cultivo de Maíz en el manejo de los residuos que genera este cultivo. Para los productores de las Regiones I, II, III y IV, no existe ningún problema en el

manejo de sus residuos con porcentajes de 67.92, 60.87, 50.85 y 40.33% respectivamente; mientras que un porcentaje de los productores de 30.16 y 21.43% para la Región II y IV manifiestan tener problemas de espacio. Esto no sucede en la Región I y III. Entre los motivos de por que algunos agricultores manifiestan tener problemas en los manejos de los residuos están las distintas utilidades a que se destinan los residuos, pues un 60% aproximadamente quema o desperdicia los residuos (cuadro 4.30) y por esta razón difícilmente manifestarán problema alguno en el manejo de los residuos.

La figura 4.9 muestra que a nivel de todo El Salvador, el 61.24% de los productores no tiene problemas en el manejo de los residuos, que coincide con el 60% que manifiesta quemar y desperdiciar los residuos (cuadro 4.30); mientras un 15.73% no cuenta con espacio suficiente para almacenar los residuos que generan sus cultivos, que coincide con el porcentaje de agricultores que utiliza los residuos para combustible, forraje y venta (fig 4.5).

**CUADRO 4.34**  
**DIFICULTADES EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ EN**  
**EL SALVADOR**

<b>Problema</b>	<b>Región I</b>	<b>Región II</b>	<b>Región III</b>	<b>Región IV</b>	<b>Total</b>
Ninguno	75.68	44.44	77.78	59.53	61.23
Plagas	0.00	23.81	0.00	11.90	11.23
Espacio	0.00	30.16	0.00	21.43	15.73
Trabajo	10.81	1.59	11.11	0.00	5.07
Costos	13.51	0.00	11.11	7.14	6.74



**FIGURA 4.9 PRINCIPALES DIFICULTADES QUE TIENEN LOS AGRICULTORES DE MAÍZ EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS**

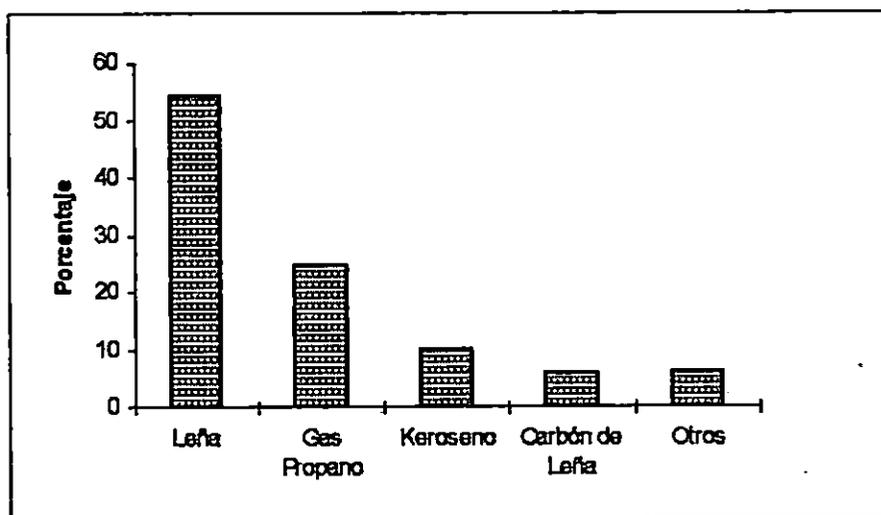
### **Sección III: Análisis de los Aspectos Varios de la Encuesta Ejecutada en Agricultores de Maíz Salvadoreños**

#### **a. Combustibles de Uso Tradicional**

El cuadro 4.35 y figura 4.10, muestra que el principal combustible utilizado en hogares de agricultores salvadoreños es la leña, con porcentajes de 67.92, 60.87, 50.85 y 40.32% en su orden para las Regiones I, II, III y IV respectivamente. Como resultado a nivel de todo El Salvador el 54.09 utiliza leña como principal combustible, seguido de gas propano, Keroseno (Gas), Carbón de leña y otros con porcentajes de 24.54, 10, 5.45 y 5.92 respectivamente. En conclusión la leña sigue siendo el principal combustible utilizado por los agricultores de maíz en El Salvador, según resultados de la encuesta realizada

**CUADRO 4.35**  
**PRINCIPALES COMBUSTIBLES UTILIZADOS POR LOS AGRICULTORES DE MAÍZ EN**  
**EL SALVADOR**

Combustible	Región I	Región II	Región III	Región IV	Total
Leña	67.92	60.87	50.85	40.33	54.09
Gas Propano	28.30	28.26	18.64	24.19	24.54
Keroseno	0.00	4.35	10.17	22.58	10.00
Carbón de Leña	0.00	2.17	6.78	11.29	5.45
Otros	3.78	4.35	13.56	1.61	5.92



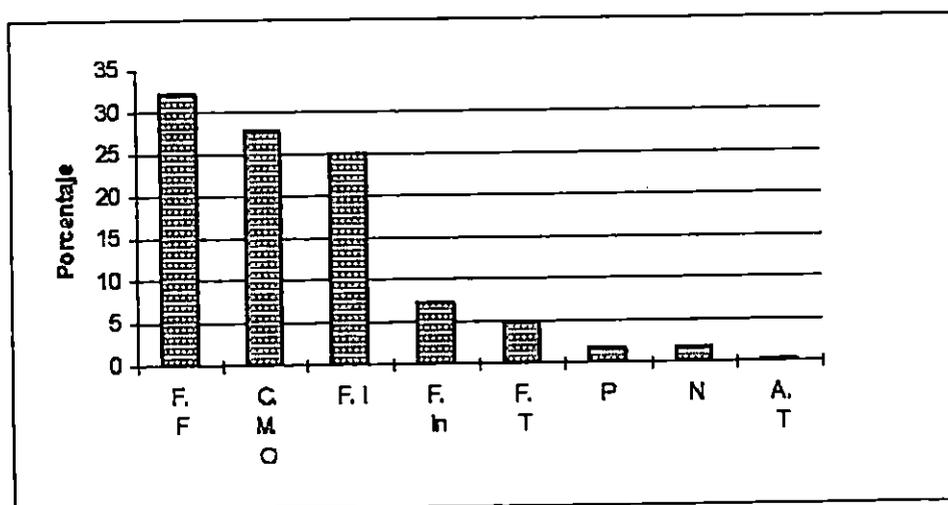
**FIGURA 4.10 PRINCIPALES COMBUSTIBLES UTILIZADOS POR LOS AGRICULTORES DE MAÍZ**

**b. Problemas con que los agricultores se Enfrentan para El Cultivo del Maíz**

El Cuadro 4.36 y figura 4.11, muestra que los principales problemas que enfrentan los agricultores para el cultivo de maíz son la falta de financiamiento, falta de insumos agrícolas y el costo de mano de obra con porcentajes de 32.02, 44.92, 27.51% respectivamente. Otros problemas que se les presentan, pero en menor proporción están la falta de tierras, plagas, falta de intensivos y asistencia técnica con porcentajes de 4.85, 1.62, 7.12 y 0.32% respectivamente.

**CUADRO 4.36**  
**PROBLEMAS QUE LOS AGRICULTORES DE MAÍZ AFRONTAN EN MAYOR PORCENTAJE**

Región	Falta de Insumos	Falta de Financiamiento	Costo mano de Obra	Falta de Tierras	Falta de Incentivo	Plagas	Asistencia Técnica	Ninguno
Región I	15.62	28.12	42.19	1.56	10.95	0.00	1.56	0.00
Región II	18.52	34.57	16.05	17.28	7.41	0.00	0.00	6.17
Región III	30.75	27.69	24.61	0.00	12.31	4.64	0.00	0.00
Región IV	32.32	35.35	29.29	0.00	1.00	2.04	0.00	0.00
Totales	24.92	32.04	27.51	4.85	7.12	1.62	0.32	1.62



**FIGURA 4.11 PROBLEMAS MÁS FRECUENTES QUE AFRONTAN LOS AGRICULTORES DE MAÍZ EN EL SALVADOR**

Donde:

F.F = Falta de Financiamiento; C.M.O = Costo de Mano de Obra  
 F.I = Falta de Insumos; F. In = Falta de Incentivo  
 F.T = Falta de Tierras; P = Plagas  
 N = Ninguno; A.T = Asesoría Técnica

### **4.3 Análisis Físicos, Químicos y Fisicoquímicos de los Residuos del Cultivo de Maíz**

Para la realización de los análisis físicos, químicos y fisicoquímicos a las muestras de residuos de cosechas del cultivo de maíz, se realizó en primer lugar una recolección de muestras en los lugares de mayor concentración de este cultivo en todo El Salvador, para garantizar que estas muestras fueran lo más representativamente posibles y tener la seguridad de que los resultados de los análisis gozaran del un alto porcentaje de confiabilidad.

Se realizaron las mismas pruebas Físicas, Químicas y Fisicoquímicas que para el cultivo de caña de azúcar, descritas en las secciones 3.3.4 a 3.3.6 y anexo V. A diferencia de los rastrojos de caña, se analizaron los rastrojos del maíz por componentes de la planta (Tuza, Olote, Hoja/Caña y Planta Completa) formando así, cuatro tipos diferentes de muestras a analizar.

#### **4.3.1 Recolección de Muestras de Residuos de Maíz para Análisis**

En la recolección de muestras de residuos de maíz, se visitaron 22 puntos representativos a nivel nacional (cuadro 4.37), auxiliándonos del mapa oficial de El Salvador y otro de distribución de usos de suelos en El Salvador editado por el MAG-DGEA (anexo I), para tener la garantía de que las muestras fueran lo más representativamente posible.

Se recolectaron entre 5 y 10 matas de maíz por punto de muestreo (cuadro 4.37). Estas matas se tomaron de milpas ya dobladas (milpas maduras en proceso de secado), cortándose desde el pie de la mata.

Las muestras tomadas se almacenaron en el local del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química, para que se diera lugar al proceso de secado, durante un período de cuatro semanas, para posteriormente proceder a los análisis respectivos.

**CUADRO 4.37**  
**PUNTOS DE MUESTREO PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE MAÍZ EN EL SALVADOR**

Nº de Muestra	Localidad	Municipio	Departamento	Nº de Matas Recolectadas
m1	Metapán	Metapán	Santa Ana	8
m2	Metallo	Metallo	Sonsonate	7
m3	Joya de Cerén	San Julián	Sonsonate	5
m4	Comalapa	Comalapa	Chalatenango	10
m5	Cantón Obrajuelo	Agua Caliente	Chalatenango	7
m6	San Andrés	Ciudad Arce	La Libertad	8
m7	Cantón Taquillo	Chiltiupán	La Libertad	7
m8	Hacienda Sta. Lucía	Cangrejera	La Libertad	8
m9	Suchitoto	Suchitoto	Cuscatlán	6
m10	Cantón El Centro	Santa Cruz Michapa	Cuscatlán	5
m11	San Juan Nonualco	San Juan Nonualco	La Paz	7
m12	Ilobasco	Ilobasco	Cabañas	7
m13	Sensuntepeque	Sensuntepeque	Cabañas	7
m14	San Felipe	San Felipe	San Vicente	5
m15	San Marcos Lempa	San Marcos Lempa	Usulután	7
m16	Concepción Batres	Concepción Batres	Usulután	8
m17	El Triunfo	El Triunfo	Usulután	7
m18	San José Gualoso	San Miguel	San Miguel	9
m19	Cantón Jalacatal	San Miguel	San Miguel	8
m20	Cantón San José	Jocoro	Morazán	7
m21	Cantón San Sebastián	Sesori	Morazán	7
m22	Cantón El Tablón	La Unión	La Unión	6

#### 4.3.2 Selección, Preparación de muestras y número de Análisis Realizados

Las muestras recolectadas de maíz en el interior del país no fueron uniformes en el sentido de contar todas por igual con el mismo número de matas; el total de éstas por muestra varió de región a región, debido a los costos de las muestras y extensiones de los cultivos. Se decidió analizar 3 muestras de plantas fraccionadas y 1 muestra de planta completa por región. Combinando las muestras de planta completa recolectadas en los puntos de muestreo obtenidas en cada región (cuadro 4.37), formando así cuatro muestras de planta completa (una por región) en todo El Salvador, posteriormente se separaron 4 cantidades iguales de cada muestra de planta completa por región, tres de las cuales se destinaron para análisis de planta fraccionada (Tuza, Olote y Hoja/Caña) y la otra para análisis de planta completa por región.

De las tres muestras de planta completa por región para análisis de planta fraccionada, se separó de cada una la Tuza, Olote y Hoja/Caña obteniéndose nueve muestras para los análisis de planta fraccionada y una para análisis de planta completa por región (cuadro 4.38a y cuadro 4.38 b sus igualdades), y un total de cuarenta muestras en todo El Salvador a las cuales se le realizan los análisis Físicos, Químicos y Fisicoquímicos (Cuadro 4.38).

CUADRO 4.38  
DISTRIBUCIÓN DE ANÁLISIS PARA MUESTRAS DE MAÍZ

tipo análisis	planta completa	planta fraccionada		
		tuza	olote	caña y hoja
Fibra Acido detergente	4	12	12	12
Fibra Neutro Detergente	4	12	12	12
Lignina	4	12	12	12
Hemicelulosa	4	12	12	12
Celulosa	4	12	12	12
Calorimétrico	4	12	12	12
Densificación	4	12	12	12
<b>total</b>	<b>28</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>84</b>

El total de análisis realizados en las muestras de maíz fue 280

**CUADRO 4.38a**  
**SELECCION Y COMBINACION DE MUESTRAS DE RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAIZ PARA**  
**ANALISIS**

<b>Región</b>	<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>Muestras Mezcladas (cuadro 4.37)</b>	<b>Muestras Resultantes (*)</b>
I	Metapán	m1, m2, m3	mIpc; mIt1, mIt2, mIt3; mIo1, mIo2, mIo3; mIhc1, mIhc2, mIhc3.
	Metahío		
	Joya de Cerén		
II	Comalapa	m4, m5, m6, m7, m8	mIIpc; mIIIt1, mIIIt2, mIIIt3; mIIo1, mIIo2, mIIo3; mIIhc1, mIIhc2, mIIhc3
	Cantón Obrajuelo		
	San Andrés		
	Cantón Taquillo		
	Hacienda Sta. Lucía		
	Suchitoto		
Cantón El Centro	m9, m10		
III	San Juan Nonualco	mIII, m12, m13, m14	mIIIpc; mIIIIt1, mIIIIt2, mIIIIt3; mIIIo1, mIIIo2, mIIIo3; mIIIhc1, mIIIhc2, mIIIhc3
	Ilobasco		
	Sensuntepeque		
	San Felipe		
IV	San Marcos Lempa	m15, m16, m17, m18, m19, m20, m21, m22	mIVpc; mIVIt1, mIVIt2, mIVIt3; mIVo1, mIVo2, mIVo3; mIVhc1, mIVhc2, mIVhc3.
	Concepción Batres		
	El Triunfo		
	San José Gualoso		
	Cantón Jalacatal		
	Cantón San José		
	Cantón San Sebastián		
Cantón El Tablón			

**CUADRO 4.38b**  
**NOMENCLATURA UTILIZADA Y EQUIVALENTE EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS PARA**  
**RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ**

<b>Muestra Resultante de Mezclas</b>			<b>Nomenclatura Equivalente</b>
mIt1	mIo1	mIhc1	mI1
mIt2	mIo2	mIhc2	mI2
mIt3	mIo3	mIhc3	mI3
mIIIt1	mIIIo1	mIIhc1	mII1
mIIIt2	mIIIo2	mIIhc2	mII2
mIIIt3	mIIIo3	mIIhc3	mII3
mIIIIt1	mIIIIo1	mIIIhc1	mIII1
mIIIIt2	mIIIIo2	mIIIhc2	mIII2
mIIIIt3	mIIIIo3	mIIIhc3	mIII3
mIVt1	mIVo1	mIVhc1	mIV1
mIVt2	mIVo2	mIVhc2	mIV2
mIVt3	mIVo3	mIVhc3	mIV3

DONDE: mIpc = MUESTRA DE LA REGION Y PARA PLANTA COMPLETA

mIo1 = MUESTRA 1 DE LA REGION I DE OLOTE

mIt1 = MUESTRA 1 DE LA REGION I DE TUZA

mIhc1 = MUESTRA 1 DE LA REGION Y DE HOJA/CAÑA

#### **4.3.3 Determinación del Intervalo de Confianza en los Resultados de los Análisis Realizados en Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz**

El intervalo de confianza aplicado a los análisis de los residuos del cultivo de maíz es similar a los aplicados para el cultivo de caña de azúcar (sección 3.3.3), con la diferencia de que se sustituye el factor de probabilidad (Z) por el valor de la prueba de Student-NewMan-Keul, por el Hecho que las muestras del cultivo de maíz contaban con menor número de matas (anexo III, cuadro III.2).

#### **4.3.4 Resultados de Análisis Físicos Realizados en Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz**

##### **a) Pruebas de Densificación ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )**

Los resultados de las pruebas de Densificación se muestran en el cuadro 4.39, dichos resultados se encuentran por región y para cada componente de la mata de maíz (olote, tuza, Hoja/caña,) y también para la planta completa; para lo que se aplicó una presión promedio de  $32 \text{ Kg}/\text{cm}^2$  para muestras de olote; de  $50 \text{ Kg}/\text{cm}^2$  para muestras de tuza; de  $42 \text{ Kg}/\text{cm}^2$  para muestras de hoja/caña y de  $58 \text{ Kg}/\text{cm}^2$  para muestras de planta completa.

De los datos del cuadro 4.39 se tiene que al aplicarle presión ocurre un cambio significativo de densidad inicial a compactada, aumentando en 67.9 para la tuza, 41.7 para la hoja/caña, 29.2 para el olote y  $66 \text{ Kg}/\text{m}^3$  para muestras de planta completa. Al aumentar la densidad ocurre una disminución de volumen, lo que permitiría utilizar menos espacio si estos residuos se almacenaran para usos posteriores como energéticos; la disminución de volumen observado para la tuza es 62.64%, para el olote 16.89% y en la parte de hoja/caña 51.16%, mientras en la planta completa es de 52.36%.

**CUADRO 4.39**  
**RESULTADOS DE PRUEBAS DE DENSIFICACION EN MUESTRAS DE RESIDUOS DE**  
**MAÍZ EN EL SALVADOR (Kg/m<sup>3</sup>)**

Región	No de Muestra	Tuza		Olote		Hoja y Cafia			
		Di	Df	Di	Df	Di	Df		
I	mI1	24.4	79.2	155.8	161.3	30.2	54.5		
	mI2	25.3	80.1	158.8	172.3	33.9	87.4		
	mI3	24.1	79.9	116.4	153.6	37.4	71.8		
	<b>Promedio</b>	<b>24.6</b>	<b>79.7</b>	<b>143.7</b>	<b>162.4</b>	<b>33.8</b>	<b>71.2</b>		
II	mII1	54.6	127.5	114.6	168.7	43.8	88.3		
	mII2	55.4	125.3	154.8	180.4	39.3	99.9		
	mII3	48.6	116.	144.6	186.7	43.1	85.1		
	<b>Promedio</b>	<b>52.9</b>	<b>123.0</b>	<b>138.0</b>	<b>178.6</b>	<b>42.1</b>	<b>91.1</b>		
III	mIII1	35.8	127.6	146.2	164.7	42.3	73.1		
	mIII2	47.8	117.2	152.0	201.7	42.6	76.4		
	mIII3	42.0	107.7	173.8	190.0	43.7	73.1		
	<b>Promedio</b>	<b>41.9</b>	<b>117.5</b>	<b>157.3</b>	<b>185.5</b>	<b>42.9</b>	<b>74.2</b>		
IV	mIV1	36.4	118.6	125.3	159.4	38.5	86.6		
	mIV2	53.6	121.8	138.8	169.3	41.2	101.8		
	mIV3	38.4	99.3	143.0	166.5	42.1	80.0		
	<b>Promedio</b>	<b>42.8</b>	<b>113.2</b>	<b>135.7</b>	<b>165.1</b>	<b>40.6</b>	<b>89.5</b>		
<b>Promedio Global</b>		<b>40.5</b>	<b>108.4</b>	<b>143.7</b>	<b>172.9</b>	<b>39.8</b>	<b>81.5</b>		
<b>Planta Completa</b>		<b>Región I</b>		<b>Región II</b>		<b>Región III</b>		<b>Región IV</b>	
<b>Di</b>		60.3		61.6		56.8		61.5	
<b>Df</b>		124.0		137.3		124.0		118.9	
<b>Di</b>		Promedio Global						60.05	
<b>Df</b>		Promedio Global						226.05	

Di = Densidad inicial:

Df = Densidad final

**CUADRO 4.40**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DE**  
**DENSIFICACION DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ**

<b>DENSIDAD INICIAL (Kg/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Tuza</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{DI}$	$\sigma_{2DI}$	$t_{\alpha/2}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	24.6	0.6245	2.95	22.8-26.4
II	52.9	3.7168	2.86	42.3-63.6
III	41.9	6.0012	2.86	24.7-59.1
IV	42.8	9.4064	2.83	16.2-69.4
<b>Olote</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{DI}$	$\sigma_{2DI}$	$t_{\alpha/2}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	143.7	23.6600	2.95	73.9-213.5
II	138.0	20.8969	2.86	78.2-197.8
III	157.3	14.5565	2.86	115.7-198.9
IV	135.7	9.2480	2.83	109.5-161.9
<b>Caña y Hoja</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{DI}$	$\sigma_{2DI}$	$t_{\alpha/2}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	33.8	3.6010	2.95	23.2-44.4
II	42.1	2.4218	2.86	35.2-49.0
III	42.9	0.7382	2.86	40.8-45.0
IV	40.6	1.8735	2.83	35.3-45.9
Pta.Comp.	60.1	0.2460	2.95	53.4-66.7
<b>DENSIDAD FINAL (Kg/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Tuza</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{DF}$	$\sigma_{2DF}$	$t_{\alpha/2}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	79.7	.4743	2.95	78.3-81.1
II	123.0	5.9342	2.86	106.0-139.9
III	117.5	9.9534	2.86	89.0-146.0
IV	113.2	12.1700	2.83	78.8-147.6
<b>Olote</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{DF}$	$\sigma_{2DF}$	$t_{\alpha/2}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	143.7	9.3980	2.95	134.0-191.0
II	178.6	9.1340	2.86	152.0-204.0
III	185.5	18.9120	2.86	143.0-227.0
IV	165.1	5.1034	2.83	150.0-179.0
<b>Caña y Hoja</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{DF}$	$\sigma_{2DF}$	$t_{\alpha/2}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	71.2	16.4574	2.95	22.6-119.
II	91.1	7.7872	2.86	68.8-113.0
III	74.2	1.9052	2.86	68.8-79.0
IV	89.5	11.1790	2.83	88.5-90.0
P.Completa	126.1	7.8760	2.95	102.0-149.0

### b) Pruebas de Contenido de Humedad

Los resultados de las pruebas de humedad en muestras de residuos del cultivo de maíz se reportan en el cuadro 4.41. Para realizar estos análisis se tomaron tres muestras al azar de cada fracción (Tuza, Olote y Hoja/caña) y planta completa de las muestras resultantes, después de haber combinado las recolectadas en los diferentes puntos de muestreo en El Salvador (cuadro 4.38a).

**CUADRO 4.41  
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE HUMEDAD EN MUESTRAS DE RESIDUOS DEL  
CULTIVO DE MAÍZ**

Muestra y No de Análisis		Crisol Vacío	Crisol + Muestra	Crisol + Muestra Seca	% de Humedad
Tuza	mIt1	14.3585	19.3887	18.7956	11.7908
	mIIIIt2	14.5797	19.7621	19.1669	11.4850
	mIVIt3	14.5346	19.5693	18.8799	13.6930
	<b>Promedio</b>				<b>12.3229%</b>
Olote	mIIIo1	14.9031	19.9153	19.4453	9.3771
	mIIIo2	14.9228	19.9291	19.4445	9.6798
	mIVo3	14.9416	19.9473	19.4659	9.6170
	<b>Promedio</b>				<b>9.5580%</b>
Caña y Hoja	mIIhc1	15.0964	20.1016	19.5576	10.8689
	mIIhc2	15.6851	20.6873	20.1603	10.5354
	mIIIhc3	14.9068	19.5233	18.9708	11.9697
	<b>Promedio</b>				<b>11.1241%</b>
Planta Completa	mIpc	14.4483	19.4476	18.9064	10.8255
	mIVpc	14.5462	19.5570	19.0310	10.4973
	mIIpc	14.8139	20.8148	20.2807	10.6800
	<b>Promedio</b>				<b>10.6676%</b>

**c) Pruebas para Razones peso de residuos del cultivo de Maíz**

Los resultados obtenidos en las pruebas de razones peso se muestran en el cuadro 4.42, los cuales son utilizados para los cálculos de las cantidades en masa de residuos generados para el cultivo de maíz. Las razones peso se determinaron pesando las muestras de olote, tuza, hoja/caña y planta completa y el contenido de grano de maíz, y posteriormente dividiendo el peso de residuo entre el contenido de grano de maíz en peso de cada una de las muestra.

**CUADRO 4.42**  
**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RAZONES PESO (PESO DE RESIDUO/PESO DE MAÍZ)**

<b>Planta Fraccionada</b>				
<b>Región</b>	<b>Muestra</b>	<b>Tuza/Maíz</b>	<b>Olote/Maíz</b>	<b>Caña y Hoja/Maíz</b>
<b>I</b>	mI1	0.1234	0.2236	0.6774
	mI2	0.1546	0.2573	0.7490
	mI3	0.1799	0.2427	0.7466
	<b>Promedio</b>	<b>0.1526</b>	<b>0.2412</b>	<b>0.7243</b>
<b>II</b>	mII1	0.1554	0.2089	0.8309
	mII2	0.1621	0.1972	0.7776
	mII3	0.1336	0.1934	0.8341
	<b>Promedio</b>	<b>0.1504</b>	<b>0.1998</b>	<b>0.8142</b>
<b>III</b>	mIII1	0.1936	0.2191	0.7899
	mIII2	0.2464	0.2161	0.8954
	mIII3	0.2526	0.2934	0.9308
	<b>Promedio</b>	<b>0.2309</b>	<b>0.2429</b>	<b>0.8720</b>
<b>IV</b>	mIV1	0.1564	0.1694	0.8457
	mIV2	0.2033	0.2093	0.9822
	mIV3	0.1548	0.2054	0.9027
	<b>Promedio</b>	<b>0.1715</b>	<b>0.1947</b>	<b>0.9102</b>
<b>Promedio Global</b>		<b>0.1764</b>	<b>0.2195</b>	<b>0.8302</b>
<b>Planta Completa</b>				
<b>Aspecto</b>	<b>Región I</b>	<b>Región II</b>	<b>Región III</b>	<b>Región IV</b>
<b>Residuo/Maíz</b>	1.1429	1.1480	1.5654	1.2987
<b>Promedio</b>	1.2888			

### 4.3.5 Resultados de Análisis Químicos Realizados en Muestras de Residuos del Cultivo de Maíz

Los resultados de los análisis químicos que se reportan en los cuadros 4.43 a 4.52, son base húmeda con un contenido de humedad del 12.23% para el tuza, 9.56% para el Olole, 11.97% para la Hoja/caña y 10.67% para los análisis de planta completa.

#### a) Fibra Neutro Detergente (FND)

CUADRO 4.43

RESULTADOS DE PRUEBAS DE FIBRA NEUTRO DETERGENTE EN MUESTRAS DE RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (EN %p/p A UNA HUMEDAD DE 12.33% PARA LA TUZA, 9.56% PARA EL OLOLE, 11.12% PARA HOJA/CAÑA Y 10.67% PARA MUESTRAS DE PLANTA COMPLETA)

Región	No de Muestra	Tuza		Olole		Caña y Hoja			
		FND	FND <sub>LC</sub>	FND	FND <sub>LC</sub>	FND	FND <sub>LC</sub>		
I	mI1	81.5160	80.2144	87.2453	87.1454	74.5820	70.3830		
	mI2	80.6464	78.8454	86.0693	85.3960	79.6309	75.4043		
	mI3	79.5914	77.9280	81.1645	80.4954	75.2049	70.2874		
	Promedio	80.5846	78.9959	84.8264	84.3456	76.4726	72.0249		
II	mII1	83.8215	82.7010	85.7900	85.4700	79.9743	75.8421		
	mII2	84.9941	83.3793	90.1119	89.5825	79.3844	75.7769		
	mII3	81.7912	80.0533	90.1448	89.6066	79.3800	74.8600		
	Promedio	83.5356	82.0445	88.6822	88.2197	79.5796	75.4930		
III	mIII1	88.4524	87.0337	89.0850	88.7793	78.2008	75.1392		
	mIII2	84.9941	83.4561	88.7472	88.2680	80.4015	77.5635		
	mIII3	81.7912	87.5977	84.8805	83.8633	78.0430	76.5408		
	Promedio	86.0792	86.0292	87.5709	86.9702	78.8818	76.4145		
IV	mIV1	85.2753	84.0090	88.3802	88.0511	78.3900	73.0900		
	mIV2	80.3301	78.3062	82.2355	81.8363	76.8392	72.2460		
	mIV3	85.1976	82.0326	89.6921	88.8122	81.6238	79.3267		
	Promedio	83.6010	81.4493	86.7693	86.2332	78.9510	74.8876		
Promedio Global		83.4501	82.1406	86.9622	86.4421	78.4712	74.7050		
Planta Completa	Análisis	Región I		Región II		Región III		Región IV	
	% FND	81.1192		84.8067		78.5242		82.2205	
	% FND <sub>LC</sub>	78.1843		81.8438		74.3103		79.7873	
	Promedio de %FND							81.6676	
Promedio de %FND <sub>LC</sub>							78.5314		

**CUADRO 4.44**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DE**  
**FIBRA NEUTRO DETERGENTE DE L CULTIVO DEL MAÍZ (%p/p)**

<b>Tuza</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{FND}$	$\sigma_{xFND}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	80.5846	0.9638	2.95	77.7414-83.4278
II	83.5356	1.6205	2.86	78.9010-88.1702
III	86.0792	3.5494	2.86	75.9279-96.2305
IV	83.6010	2.8329	2.83	75.5837-91.6182
<b>Olote</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{FND}$	$\sigma_{xFNDi}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	84.8264	3.2253	2.95	75.3117-94.3411
II	88.6822	2.5048	2.86	81.5185-95.8459
III	86.0792	2.3361	2.86	80.8896-94.2521
IV	83.6010	3.9808	2.83	75.5036-98.0349
<b>Caña y Hoja</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{FND}$	$\sigma_{xFND}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	76.4726	2.7528	2.95	68.3518-84.5934
II	79.5796	0.3418	2.86	78.6019-80.5573
III	78.8818	1.3185	2.86	75.1109-82.6527
IV	78.9510	2.4411	2.83	72.0427-85.8593
Pta.Comp.	81.6676	2.6039	2.95	73.9861-89.3491

## b) Fibra Ácido Detergente (FAD)

CUADRO 4.45

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DETERMINACIÓN DE FIBRA ÁCIDO DETERGENTE EN MUESTRAS DE RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (EN %p/p A UNA HUMEDAD DE 12.32% PARA LA TUZA, 9.56% PARA EL OLOTE, 11.12% PARA LA HOJA/CAÑA Y 10.67% PARA MUESTRAS DE PLANTA COMPLETA)

Región	No de Muestra	Tuza		Oloste		Caña y Hoja		
		%FAD	%FAD <sub>LC</sub>	%FAD	%FAD <sub>LC</sub>	%FAD	%FAD <sub>LC</sub>	
I	mI1	37.2300	35.8700	44.9500	44.2300	40.9844	35.1537	
	mI2	37.9806	36.6324	45.0100	44.5495	44.0387	39.3295	
	mI3	38.4881	37.0652	39.5425	39.2429	44.6538	39.9737	
	Promedio	37.8996	36.5225	42.7343	42.6741	43.2256	38.1523	
II	mII1	36.0709	34.7055	45.3400	44.8500	45.0169	39.5555	
	mII2	40.7470	39.6085	45.1100	42.6500	44.1600	39.8800	
	mII3	38.2759	37.1626	44.4956	41.2708	45.6878	41.6592	
	Promedio	38.3646	37.1589	44.9819	42.9236	44.9549	40.3649	
III	mIII1	--	--	45.6700	45.1900	44.5600	40.4400	
	mIII2	34.4417	33.0961	43.3800	42.5400	47.2597	43.1493	
	mIII3	37.4203	36.5224	43.0338	42.5252	44.2500	42.7600	
	Promedio	35.8224	34.8092	44.0279	43.4184	45.3566	42.1164	
IV	mIV1	37.1626	36.0628	45.7400	45.3128	45.0479	39.9161	
	mIV2	37.5884	36.0581	43.6864	43.1079	43.6500	39.3300	
	mIV3	40.3634	38.8938	45.0100	44.5523	44.8782	34.0900	
	Promedio	38.3715	37.0049	44.8121	44.3243	44.5254	37.7787	
Promedio Global		37.6145	36.3739	44.1391	43.3351	44.5156	39.6031	
Planta Completa	Análisis	Región I		Región II		Región III		Región IV
	%FAD	40.4122		41.9670		42.1105		44.9500
	%FAD <sub>LC</sub>	36.0812		37.607041		38.0134		40.0300
	Promedio de %FAD							42.3599
Promedio de %FAD <sub>LC</sub>							37.9329	

**CUADRO 4.46**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DE**  
**FIBRA ACIDO DETERGENTE EN RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (%p/p)**

<b>Tuza</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{FAD}$	$\sigma_{xFAD}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	37.8986	0.6329	2.95	36.0324-39.7668
II	38.3646	2.4515	2.86	31.6742-45.0550
III	35.9310	1.7132	2.86	31.6716-40.1904
IV	38.3725	1.6358	2.83	33.4524-43.2906
<b>Olote</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{FAD}$	$\sigma_{xFAD}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	42.7343	3.1840	2.95	33.3415-52.1271
II	44.9819	0.4365	2.86	43.7335-46.2303
III	44.0279	1.4326	2.86	39.9307-48.1251
IV	44.3243	1.0410	2.83	41.3783-47.2703
<b>Caña y Hoja</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{FAD}$	$\sigma_{xFAD}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	43.2256	1.9652	2.95	37.4283-49.0229
II	44.9549	0.7658	2.86	42.7647-47.1451
III	45.3566	1.6554	2.86	40.6022-50.0710
IV	44.5254	0.7628	2.83	42.3667-46.6841
Pta.Comp.	42.3599	1.8902	2.95	36.7838-47.9360

## c) Celulosa y Lignina

**CUADRO 4.47**  
**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CELULOSA Y LIGNINA EN MUESTRA DE**  
**RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (EN %p/p A UNA HUMEDAD DE 12.32% PARA LA**  
**TUZA, 9,56% PARA EL OLOTE, 11.12% PARA LA HOJA/CAÑA Y 10.67% PARA MUESTRAS**  
**DE PLANTA COMPLETA)**

Región	No de Muestra	Tuza		Olole		Caña y Hoja			
		%Celulosa	%Lignina	%Celulosa	%Lignina	%Celulosa	%Lignina		
I	mI1	8.00	7.00	23.00	23.00	16.97	14.98		
	mI2	8.99	8.99	28.56	24.62	14.96	13.97		
	mI3	10.87	9.98	19.98	18.98	13.89	14.88		
	Promedio	9.29	8.66	23.85	22.20	15.27	14.61		
II	mII1	9.97	8.97	22.95	20.57	10.96	9.97		
	mII2	10.98	9.99	20.00	19.00	13.92	12.92		
	mII3	10.84	8.87	23.46	21.50	12.93	13.93		
	Promedio	10.60	9.28	22.14	20.36	12.60	12.27		
III	mIII1	9.95	8.96	25.00	22.00	17.00	16.00		
	mIII2	12.68	11.70	23.00	22.00	14.89	13.89		
	mIII3	11.95	10.96	20.94	19.47	11.00	12.00		
	Promedio	11.53	10.54	22.98	21.16	14.30	13.96		
IV	mIII1	16.99	14.98	29.42	25.49	11.98	10.98		
	mIII2	14.53	12.59	24.90	22.94	11.00	11.00		
	mIII3	17.87	16.88	23.54	22.56	15.65	13.69		
	Promedio	16.46	14.82	25.95	23.66	12.88	11.89		
<b>Promedio Global</b>		<b>11.97</b>	<b>10.825</b>	<b>23.73</b>	<b>21.845</b>	<b>13.7625</b>	<b>13.1825</b>		
Planta Completa	<b>Análisis</b>	<b>Región I</b>		<b>Región II</b>		<b>Región III</b>		<b>Región IV</b>	
	%Celulosa	11.95		13.00		9.99		11.00	
	%Lignina	10.95		12.00		8.99		10.00	
	Promedio de %Celulosa							11.48	
	Promedio de %Lignina							10.48	

**CUADRO 4.48**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DE**  
**CONTENIDO DE CELULOSA EN RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (%p/p)**

<b>Tuza</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_C$	$\sigma_{xC}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	9.29	1.4578	2.95	4.9894-13.5906
II	10.60	0.5472	2.86	9.035-12.1650
III	11.53	1.4134	2.86	7.4877-15.5723
IV	16.46	1.7312	2.83	11.5608-21.3592
<b>Olote</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_C$	$\sigma_{xC}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	23.85	4.3522	2.95	11.0110-36.6890
II	22.14	1.8679	2.86	16.7978-27.4822
III	22.98	2.0301	2.86	17.1739-28.7861
IV	25.95	3.0783	2.83	17.2384-34.6616
<b>Caña y Hoja</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_C$	$\sigma_{xC}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	15.27	1.5637	2.95	10.6571-19.8829
II	12.60	1.5068	2.86	8.2906-16.9094
III	14.30	3.0437	2.86	5.5950-23.0050
IV	12.88	2.4512	2.83	5.9431-19.8169
P. Completa	11.45	1.2893	2.95	7.6466-15.2534

**CUADRO 4.49**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DE**  
**CONTENIDO DE LIGNINA DE RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (%p/p)**

<b>Tuza</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{Lignina}$	$\sigma_{xLignina}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	8.66	1.5177	2.95	4.1828-13.1372
II	9.28	0.6198	2.86	7.5074-11.0526
III	10.54	1.4175	2.86	6.4859-4.5941
IV	14.82	2.1497	2.83	8.7363-20.9036
<b>Olote</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{Lignocelulosa}$	$\sigma_{xLignocelulosa}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	22.20	2.9038	2.95	13.6338-30.7662
II	20.36	1.2636	2.86	16.7461-23.9739
III	21.16	1.3607	2.86	16.9824-25.3376
IV	23.66	1.5933	2.83	19.1509-28.1690
<b>Cafia y Hoja</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{Lignocelulosa}$	$\sigma_{xLignocelulosa}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	14.61	0.5565	2.95	12.9683-16.2517
II	12.27	2.0577	2.86	6.38500-18.1550
III	13.96	2.0011	2.86	8.23710-19.6829
IV	11.89	1.5589	2.83	7.47830-16.3017
P. Completa	10.48	1.2886	2.95	6.68360-14.2864

## d) Hemicelulosa

**CUADRO 4.50**  
**RESULTADO DE LAS EVALUACIONES PARA DETERMINACIÓN DE HEMICELULOSA EN**  
**RESIDUOS DE L CULTIVO DEL MAÍZ (EN % p/p A UNA HUMEDAD DE 12.32% PARA LA**  
**TUZA, 9.56% PARA EL OLOTE, 11.12% PARA HOJA/CAÑA Y 10.67% PARA MUESTRA DE**  
**PLANTA COMPLETA)**

Región	No de Muestra	%Tuza	%Oloste	%Hoja y Caña
Región I	mI1	44.3444	42.9154	35.2293
	mI2	42.2130	40.8465	36.0748
	mI3	40.8628	41.2525	30.3137
	<b>Promedio</b>	<b>42.4734</b>	<b>41.6715</b>	<b>33.8726</b>
Región II	mII1	47.9955	40.6200	36.2866
	mII2	43.7708	46.9325	35.8969
	mII3	42.8907	48.3358	33.2008
	<b>Promedio</b>	<b>44.8857</b>	<b>45.2961</b>	<b>35.1281</b>
Región III	mIII1	64.1513	43.5893	34.6992
	mIII2	50.3600	45.9280	34.4142
	mIII3	51.0753	41.3381	33.7808
	<b>Promedio</b>	<b>55.1955</b>	<b>43.6185</b>	<b>34.2981</b>
Región IV	mIV1	47.9462	42.7383	33.1739
	mIV2	42.2481	38.7284	32.9160
	mIV3	43.1388	44.2599	45.2367
	<b>Promedio</b>	<b>44.4444</b>	<b>41.9088</b>	<b>37.1089</b>
<b>Promedio Global</b>		<b>46.7498</b>	<b>43.1237</b>	<b>35.1019</b>
Planta Completa	Región I	Región II	Región III	Región IV
	42.1031	44.2368	36.2969	39.7573
	<b>Promedio de %Hemicelulosa</b>			

**CUADRO 4.51**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DE**  
**CONTENIDO DE HEMICELULOSA EN RESIDUOS DEL CULTIVO DE L MAÍZ**

<b>Tuza</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{\text{Hemicelulosa}}$	$\sigma_{\text{Hemicelulosa}}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	42.4734	1.7553	2.95	37.2953-47.6515
II	44.8857	2.7287	2.86	37.0816-52.6898
III	55.1955	7.7656	2.86	32.9859-77.4051
IV	44.4444	3.0652	2.83	35.7699-53.1189
<b>Olote</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{\text{Hemicelulosa}}$	$\sigma_{\text{Hemicelulosa}}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	41.6715	1.0962	2.95	38.4377-44.9053
II	45.2961	4.1099	2.86	33.5418-57.0504
III	43.6185	2.2951	2.86	37.0545-50.1825
IV	41.9088	2.8575	2.83	33.8221-49.9955
<b>Cafia y Hoja</b>				
<b>Regiones</b>	$\bar{X}_{\text{Hemicelulosa}}$	$\sigma_{\text{Hemicelulosa}}$	$t_{\alpha x}$	<b>Intervalo de Confianza</b>
I	33.8726	3.1109	2.95	24.6954-43.0497
II	35.1281	1.6804	2.86	30.3221-39.9340
III	34.2981	0.4701	2.86	32.9536-35.6426
IV	37.1089	7.0401	2.83	17.1854-57.0324
P. Completa	40.5985	3.4016	2.95	30.5638-50.6332

En las pruebas de celulosa y lignina, el olote posee valores porcentuales más altos comparados con la tuza y la hoja/cafia. El olote tiene 11.76% más celulosa que la tuza y 9.9675% más que la hoja/cafia, mientras que en lignina el olote tiene 11.02% más que la tuza y 8.6625% más que la hoja/cafia. Para el caso de la hemicelulosa, la tuza posee valores porcentuales mayores, conteniendo un 3.6261% más que el olote y 11.6479% más que la hoja/cafia. Para un contenido total de fibra de 88.6897% para el olote; 67.0318% para la tuza; 62.0469% para la hoja/cafia y 62.6685% para las muestras de planta completa.

#### d) Contenido de Azufre

Para realizar los análisis de azufre se tomaron dos muestras al azar de cada fracción de la planta de maíz, las cuales se muestran en el cuadro 4.52 con sus respectivos resultados. Los resultados muestran que la tuza posee un porcentaje mayor de contenido de azufre que el olote y la hoja/caña, los cuales son utilizados para determinar el factor de corrección por formación de ácido sulfúrico (ecuación 5), en el cálculo del poder calorífico.

**CUADRO 4.52**  
**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CONTENIDO DE AZUFRE EN MUESTRAS DE**  
**RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ (EN % p/p)**

Muestra	Peso de muestra gr	Peso de crisol Vacio gr	Peso de Crisol más muestra Calcínada gr	% de Azufre
mIVo2	0.9988	36.65.73	36.6604	0.04265
mIIo3	1.0006	15.7823	15.7857	0.04670
<b>Promedio</b>				<b>0.04468</b>
mIVt1	0.9919	26.6607	26.6664	0.07897
mIt2	0.9966	29.6415	29.6469	0.07446
<b>Promedio</b>				<b>0.07672</b>
mIVhc3	0.9964	36.8802	36.8829	0.03724
mIIhc1	1.0012	27.2785	27.2814	0.03981
<b>Promedio</b>				<b>0.03853</b>

$$\% \text{Azufre} = \frac{W_{\text{BaSO}_4}}{W_{\text{sample}}} * 13.7473$$

$$W_{\text{BaSO}_4} = (\text{peso de crisol más muestra calcínada}) - (\text{peso de crisol vacío})$$

$$W_{\text{sample}} = \text{peso total de muestra}$$

#### 4.3.6 Resultados de Pruebas Físicoquímicas Realizadas en Residuos del Cultivo del Maíz

La forma de obtener el poder calorífico (pruebas calorimétricas), es igual que para el cultivo de caña de azúcar y se explicó en la sección 3.3.6. Los resultados se muestran en

el cuadro 4.53, y se reportan en base húmeda con un contenido de humedad de 12.3229% para la tuza, 9.5580% para el olole, 11.1241% para la hoja/caña y 10.6676% para las muestras de planta completa.

**CUADRO 4.53**  
**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CALORIMÉTRICAS EN RESIDUOS DEL**  
**CULTIVO DEL MAÍZ EN CAL/gr (HUMEDAD DE 12.32% PARA LA TUZA, 9.56% PARA EL**  
**OLOLE, 11.12% PRA HOJA/CAÑA Y 10.67% PARA MUESTRAS DE PLANTA COMPLETA)**

Región I							
Muestra	No de Análisis	T	m	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	Hg
Olole	mIo1	1.7145	1.0010	1.8	0.6172	22.41	4,150.72
	mIo2	1.7065	0.9918	2.1	0.6071	22.68	4,168.99
	mIo3	1.6960	0.9981	2.3	0.6109	22.14	4,117.36
	<b>Promedio</b>						<b>4,145.69</b>
Tuza	mIt1	1.6283	0.9857	2.70	1.0360	21.60	4,001.44
	mIt2	1.6120	0.9930	2.75	1.0437	24.30	3,929.22
	mIt3	1.644	1.0006	2.95	1.0517	16.47	3,984.96
	<b>Promedio</b>						<b>3,971.87</b>
Caña y Hoja	mIhc1	1.5800	0.9956	4.2	0.5255	22.95	3,841.03
	mIhc2	1.5880	0.9962	3.6	0.5258	21.06	3,860.79
	mIhc3	1.6145	0.9989	3.9	0.5273	22.14	3,913.65
	<b>Promedio</b>						<b>3,871.82</b>
Región II							
Muestra	No de Análisis	T	m	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	Hg
Olole	mIIo1	1.714	0.9937	2.8	0.6082	23.22	4,178.17
	mIIo2	1.702	0.9989	4.9	0.6114	24.57	4,123.27
	mIIo3	1.696	0.9981	2.3	0.6109	22.14	4,149.06
	<b>Promedio</b>						<b>4,150.17</b>
Tuza	mIIIt1	1.6260	0.9931	3.50	1.0438	22.14	3,964.62
	mIIIt2	1.6265	0.9951	3.15	1.0459	24.30	3,956.05
	mIIIt3	1.6280	0.9930	2.25	1.0437	21.33	3,972.00
	<b>Promedio</b>						<b>3,949.22</b>
Caña y Hoja	mIIhc1	1.6145	0.9970	3.4	0.5263	11.34	3,932.44
	mIIhc2	1.5920	1.0003	2.8	0.5280	23.49	3,853.08
	mIIhc3	1.6260	0.9905	3.9	0.5228	21.60	3,975.69
	<b>Promedio</b>						<b>3,920.40</b>

Pasa.....

CONTINUACIÓN DEL CUADRO 4.53

Región III							
Muestra y No de Análisis	T	m	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	Hg	
Olote	mIIIo1	1.7205	0.9991	3.1	0.6116	22.95	4,171.41
	mIIIo2	1.6900	1.0015	3.9	0.6130	22.14	4,087.18
	mIIIo3	1.7080	0.9871	2.7	0.6042	21.87	4,192.76
	<b>Promedio</b>						<b>4,150.45</b>
Tuza	mIII t1	1.6260	0.9982	2.60	1.0492	21.60	3,945.80
	mIII t2	1.6725	1.0054	3.02	1.0567	22.41	4,029.80
	mIII t3	1.6450	0.9929	3.15	1.0436	21.87	3,986.91
	<b>Promedio</b>						<b>3,987.26</b>
Cafía y Hoja	mIIIhc1	1.6480	0.9910	2.75	0.5231	24.30	4,026.24
	mIIIhc2	0.6447	1.0026	2.90	0.5292	25.11	3,970.79
	mIIIhc3	1.6505	0.9997	5.50	1.0507	16.47	4,001.85
	<b>Promedio</b>						<b>3,999.63</b>
Región IV							
Muestra y No de Análisis	T	m	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	Hg	
Olote	mIVo1	1.7245	1.0080	2.9	0.0170	21.60	4,145.79
	mIVo2	1.7260	1.0052	3.9	0.6153	15.93	4,165.62
	mIVo3	1.7295	0.9969	3.6	0.6102	22.41	4,202.67
	<b>Promedio</b>						<b>4,171.36</b>
Tuza	mIVt1	1.6354	0.9929	3.25	1.0436	25.38	3,985.80
	mIVt2	1.6260	0.9879	3.10	1.0383	23.22	3,984.80
	mIVt3	1.5980	0.9900	2.55	1.0406	23.22	3,907.95
	<b>Promedio</b>						<b>3,959.52</b>
Cafía y Hoja	mIVhc1	1.5935	1.0054	2.9	0.5307	22.14	3,838.42
	mIVhc2	1.6180	0.9985	3.8	0.5271	22.95	3,923.05
	mIVhc3	1.7240	1.0024	2.4	0.5291	22.41	4,167.51
	<b>Promedio</b>						<b>3,976.33</b>
Planta Completa							
Región	No de Pruebas	T	m	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	Hg
III	mIIIpc	1.6200	0.9855	3.5	0.6481	17.01	3,985.95
IV	mIVpc	1.6380	0.9970	2.5	0.6556	22.14	3,979.84
I	mIpc	1.6034	0.9972	4.1	0.6558	21.33	3,893.66
II	mIIpc	1.6040	1.0025	3.1	0.6592	15.39	3,881.46
<b>Promedio</b>							<b>3,935.23</b>

CUADRO 454  
 RESULTADOS DE LA APLICACION DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DEL  
 PODER CALORIFICO DE RESIDUOS DE L CULTIVO DEL MAIZ (EN CAL/gr)

Tuza				
Regiones	$\bar{X}_{pc}$	$\sigma_{pc}$	$t_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	3971.87	37.8468	2.95	3860.22-4083.52
II	3949.22	20.0342	2.86	3891.92-4006.52
III	3987.26	42.0042	2.86	3867.13-4107.39
IV	3959.52	44.6608	2.83	3833.13-4085.91
Ollote				
Regiones	$\bar{X}_{pc}$	$\sigma_{pc}$	$t_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	4145.69	26.1799	2.95	4068.46-4222.92
II	4150.17	27.4667	2.86	4071.62-4228.72
III	4150.45	55.8236	2.86	3990.79-4310.10
IV	4171.36	28.8712	2.83	4089.65-4253.06
Caba y Hoja				
Regiones	$\bar{X}_{pc}$	$\sigma_{pc}$	$t_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	3871.82	37.5462	2.95	3761.06-3982.58
II	3920.42	62.1849	2.86	3742.57-4098.27
III	3999.63	27.7918	2.86	3920.14-4079.11
IV	3976.33	170.8900	2.83	3492.71-4459.94
P. Completa	3953.23	60.5595	2.95	3774.58-4131.88

## **5.0 EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE LOS RESIDUOS AGRICOLAS DE CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR Y MAÍZ**

Para la determinación del potencial energético de los residuos agrícolas en estudio, se evaluará el poder calorífico neto de éstos, para lo cual a su vez, es necesario conocer el contenido de celulosa, lignina, hemicelulosa y la cantidad de residuos generados; por lo que se hará uso de los análisis químicos (celulosa, lignina, hemicelulosa) y físicos (razón peso) para su determinación. De igual forma es necesario tomar la opinión de los agricultores, y así conocer de la disponibilidad de los residuos que generan, por lo que se hace un resumen general de las encuestas que se pasaron a los agricultores de cultivos de caña de azúcar y maíz, tomando en cuenta las opiniones que inciden directamente en su posible uso como energéticos.

### **5.1 Determinación del Poder Calorífico Neto en Muestras de Residuos de Caña de Azúcar y Maíz.**

En los cálculos a realizar se trabajará con el poder calorífico inferior o neto y poder calorífico superior, los cuales se especifican así:

- a. El poder calorífico neto o inferior (a calcular en la sección 5.1), es definido como el calor desprendido en combustión completa, a presión constante y temperatura de 25°C, cuando todo el agua inicialmente presente en estado líquido en el combustible y que aparece en los productos de combustión está en forma de vapor a 25°C, y se obtiene al aplicar la ecuación 6.
- b. El poder calorífico superior, es obtenido experimentalmente y se define como el calor desprendido en combustión completa, a presión constante y temperatura de 25°C,

cuando todo el agua inicialmente presente en estado líquido en el combustible y que aparece en los productos de combustión está en forma de líquido a 25°C.

Para determinar el poder calorífico neto, se debe conocer el porcentaje de Hidrogeno en la muestra, para lo que se utilizan los resultados de los análisis de Celulosa, Lignina y Hemicelulosa realizados y presentados en las secciones 3.3.5 y 4.3.5.

La ecuación 6 permite determinar el Poder Calorífico Neto así:

$$H_n = 1.8H_g - 91.23 \cdot H \quad (\text{anexo V, Ec- V.10}) \quad \text{Ec-6}$$

donde:

$H_n$  = Poder calorífico neto a calcular en Btu/lb

$H_g$  = Poder calorífico determinado experimentalmente en Cal/gr.

$H$  = Porcentaje (p/p) de Hidrógeno en la muestra

El porcentaje de Hidrógeno ( $H$ ), se determina sumando los porcentajes de Hidrógeno en la Lignina, Celulosa y Hemicelulosa. Los cuales a su vez se determinan utilizando la ecuación 7.

$$\%H_m = \frac{CLH \cdot P_m \cdot H_i}{P_m} \cdot 100 \quad \text{Ec-7}$$

donde:

$\%H_m$  = Porcentaje (p/p) de Hidrógeno en Lignina, Celulosa o Hemicelulosa

$CLH$  = Porcentaje de Lignina, Celulosa o hemicelulosa (según caso que se esté analizando)

$P_m$  = Peso de muestra

$H_i$  = Fracción peso de Hidrógeno en la Lignina, Celulosa o Hemicelulosa

Las fracciones peso de Hidrógeno (Hi) en la Lignina, Celulosa y Hemicelulosa se tomaron de White (1968), siendo estas de 0.061728 para la Celulosa, 0.061892 para la Lignina y 0.06667 para la Hemicelulosa; valores aceptados como promedios de estos constituyentes para residuos vegetales de cultivos agrícolas de gramíneas.

Ejemplo de Cálculo, para la muestra mIo2 de olote de maíz:

Peso de muestra (Pm) = 1.0010 gr		
CLH de Hemicelulosa	= 40.8465%	(cuadro 4.50)
CLH de Celulosa	= 28.56%	(cuadro 4.47)
CLH de Lignina	= 24.62%	(cuadro 4.47)

Porcentaje de Hidrógeno en la Hemicelulosa

$$\%H_m = 40.8465 \times 0.06667 = 2.7232 \text{ \%p/p}$$

Porcentaje de Hidrógeno en la Celulosa

$$\%H_m = 28.56 \times 0.061728 = 1.7629 \text{ \%p/p}$$

Porcentaje de Hidrógeno en la Lignina

$$\%H_m = 24.62 \times 0.061892 = 1.5237 \text{ \%p/p}$$

Porcentaje total de Hidrógeno en la muestra

$$\%H = 2.7232 + 1.7629 + 1.5237 = 6.01 \text{ \%p/p}$$

Luego aplicando la ecuación 6, con un Hg de 4,168.99 Cal/gr (cuadro 4.57) y un porcentaje de Hidrógeno en la muestra mIo2 de 6.01%, se obtiene un Hn de 3,856.34 Kcal/Kg, en adelante nominado PCN. Este resultado y los del resto de las muestras se presentan en los cuadros 5.1 para residuos de caña de azúcar y 5.3 para residuos de maíz, con los respectivos intervalos de confianza en los cuadros 5.2 y 5.4.

**CUADRO 5.1**  
**RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL PODER CALORIFICO NETO (P.C.N) EN RESIDUOS**  
**DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL SALVADOR A 11.2527% DE HUMEDAD.**

Región	No de Muestra	Porcentaje de Hidrógeno %p/p				P.C.N Kcal/Kg
		Celulosa	Lignina	Hemicelulosa	Total	
I	mI1	0.246	0.740	2.1468	3.1328	3,632.13
	mI2	0.246	0.680	2.0520	2.9780	3,707.41
	<b>Promedio</b>					<b>3,669.77</b>
II	mII1	0.981	0.799	1.9603	3.7403	3,771.23
	mII2	1.212	0.926	1.9166	4.0546	3,704.88
	<b>Promedio</b>					<b>3,738.06</b>
III	mIII1	0.678	0.618	2.2212	3.5172	3,656.87
	mIII2	0.978	0.736	2.0837	3.7977	3,682.10
	<b>Promedio</b>					<b>3,669.48</b>
IV	mIV1	0.733	0.613	1.9596	3.3236	3,676.31
	MIV2	1.093	0.853	2.0087	3.9547	3,677.68
	<b>Promedio</b>					<b>3,676.99</b>
<b>Promedio Global</b>						<b>3,688.58</b>

**CUADRO 5.2**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A**  
**PRUEBAS DE EVALUACIÓN DEL PODER CALORIFICO NETO EN RESIDUOS DEL CULTIVO**  
**DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL SALVADOR EN Kcal/Kg**

Poder Calorimétrico Neto				
Regiones	$\bar{X}_{PCN}$	$\sigma_{PCN}$	$Z_{\alpha/2}$	Intervalo de Confianza
I	3669.77	53.2310	2.04	3,561.19 - 3,778.36
II	3738.06	46.9165	2.04	3,642.35 - 3,833.77
III	3669.48	17.8403	2.04	3,633.08 - 3,705.87
IV	3676.99	0.9687	2.04	3,675.01 - 3,678.97

**CUADRO 5.3**  
**RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES DEL PODER CALORIFICO NETO (P.C.N)**  
**EN MUESTRAS DE RESIDUOS DE L CULTIVO DEL MAÍZ (HUMEDAD DE 12.32% PARA LA**  
**TUZA, 9.56% PARA EL OLOTE, 11.12% PARA HOJA/CAÑA Y 10.67% PARA PLANTA**  
**COMPLETA)**

Residuo	No de Muestra	Porcentaje de Hidrógeno (%p/p)				P.C.N Kcal/Kg
		Celulosa	Lignina	Hemicelulosa	Total	
<b>Región I</b>						
Olole	mlo1	1.420	1.423	2.86117	5.704	3,853.59
	mlo2	1.763	1.524	2.72324	6.010	3,856.34
	mlo3	1.233	1.175	2.75.304	5.200	3,845.79
	<b>Promedio</b>					<b>3,851.91</b>
Tuza	mlt1	0.494	0.433	2.95644	3.90	3,795.86
	mlt2	0.555	0.556	2.81434	3.92	3,722.78
	mlt3	0.671	0.618	2.72432	4.01	3,773.85
	<b>Promedio</b>					<b>3,764.16</b>
Caña y Hoja	mlhc1	1.047	0.9271	2.34874	4.29	3,616.06
	mlhc2	0.924	0.8646	2.40511	4.20	3,640.33
	mlhc3	0.857	0.9209	2.02128	3.80	3,713.31
	<b>Promedio</b>					<b>3,656.57</b>
<b>Región II</b>						
Olole	mllo1	1.417	1.273	2.7081	5.25	3,903.94
	mllo2	1.235	1.176	3.1290	5.54	3,834.49
	mllo3	1.448	1.331	3.2239	6.00	3,836.96
	<b>Promedio</b>					<b>3,858.46</b>
Tuza	mlt1	0.615	0.555	3.19986	4.37	3,735.35
	mlt2	0.678	0.618	2.91820	4.21	3,734.89
	mlt3	0.669	0.549	2.85950	4.08	3,757.38
	<b>Promedio</b>					<b>3,748.54</b>
Caña y Hoja	mlhc1	0.677	0.617	2.41923	3.70	3,737.12
	mlhc2	0.859	0.799	2.39324	4.05	3,640.22
	mlhc3	0.798	0.862	2.21350	3.87	3,771.68
	<b>Promedio</b>					<b>3,716.34</b>
<b>Planta Completa</b>						
Región	%H Celulosa	%H Lignina	%H Hemicelulosa	%H Total	P.C.N Kcal/Kg	
I	0.738	0.678	2.8070	4.22	3,672.12	
II	0.802	0.743	2.9493	4.49	3,646.29	

Pasa.....

Continuación de Cuadro 5.3

Región III						
Residuo	No de Muestra	Porcentaje de Hidrógeno (%p/p)				P.C.N Kcal/Kg
		Celulosa	Lignina	Hemicelulosa	Total	
Olote	mIIIo1	1.543	1.362	2.9061	5.81	3,868.87
	mIIIo2	1.420	1.362	3.0620	5.84	3,783.30
	mIIIo3	1.293	1.205	2.7160	5.21	3,920.53
	<b>Promedio</b>					<b>3,857.57</b>
Tuza	mIII t1	0.615	0.555	4.2770	5.45	3,661.94
	mIII t2	0.678	0.618	3.3575	4.65	3,786.23
	mIII t3	0.670	0.549	3.4052	4.62	3,744.95
	<b>Promedio</b>					<b>3,731.04</b>
Caña y Hoja	mIIIhc1	0.677	0.617	2.3134	3.61	3,835.28
	mIIIhc2	0.860	0.799	2.2944	3.95	3,762.60
	mIIIhc3	0.798	0.862	2.2522	3.91	3,795.77
	<b>Promedio</b>					<b>3,797.88</b>
Región IV						
Olote	mIVo1	1.816	1.578	2.8493	6.24	3,821.56
	mIVo2	1.537	1.420	2.5820	5.54	3,876.75
	mIVo3	1.453	1.396	2.9508	5.80	3,900.57
	<b>Promedio</b>					<b>3,866.29</b>
Tuza	mIVt1	1.049	0.927	3.1966	5.17	3,716.02
	mIVt2	0.897	0.779	2.8167	4.49	3,749.42
	mIVt3	1.103	1.045	2.8761	5.02	3,645.92
	<b>Promedio</b>					<b>3,765.58</b>
Caña y Hoja	mIVhc1	0.740	0.680	2.2117	3.63	3,646.84
	mIVhc2	0.679	0.681	2.1945	3.55	3,735.34
	mIVhc3	0.966	0.847	3.0159	4.83	3,914.55
	<b>Promedio</b>					<b>3,765.58</b>
Planta Completa						
Región	%H Celulosa	%H Lignina	%H Hemicelulosa	%H Total	P.C.N Kcal/Kg	
III	0.617	0.556	2.4199	3.59	3,796.08	
IV	0.679	0.619	2.6506	3.95	3,771.78	

**CUADRO 5.4**  
**PROMEDIO GLOBAL DEL PODER CALORIFICO NETO DE RESIDUOS DEL**  
**CULTIVO DE MAÍZ EN EL SALVADOR (HUMEDAD DE 12.32% PARA LA TUZA, 9.56% PARA**  
**EL OLOTE, 11.12% PARA LA HOJA/CAÑA Y 10.67% PARA PLANTA COMPLETA)**

Residuo de la Cosecha de Maíz	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
Olole	3,858.56
Tuza	3,735.38
Hoja/ Caña	3,734.09
Planta Completa	3,721.57

**CUADRO 5.5**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE INTERVALOS DE CONFIANZA A PRUEBAS DEL**  
**PODER CALORIFICO NETO (P.C.N) A RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ EN Kcal/Kg**

Tuza				
Regiones	$\bar{X}_{PCN}$	$\sigma_{PCN}$	$t_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	3764.16	37.4906	2.95	3,714.02 - 3,925.63
II	3748.54	14.8062	2.86	3,706.19 - 3,790.88
III	3731.04	63.3018	2.86	3,549.99 - 3,912.08
IV	3703.79	52.8233	2.83	3,554.30 - 3,853.28
Olole				
Regiones	$\bar{X}_{PCN}$	$\sigma_{PCN}$	$t_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	3851.91	5.4438	2.95	3,835.85 - 3,867.97
II	3858.46	39.4080	2.86	3,745.75 - 3,971.17
III	3857.57	69.3098	2.86	3,659.34 - 4,055.79
IV	3866.29	40.5296	2.83	3,751.59 - 3,980.99
Caña y Hoja				
Regiones	$\bar{X}_{FND}$	$\sigma_{FND}$	$t_{\alpha x}$	Intervalo de Confianza
I	3656.57	50.6173	2.95	3,507.25 - 3,805.89
II	3716.34	68.1490	2.86	3,521.43 - 3,911.25
III	3797.88	36.3880	2.86	3,693.81 - 3,901.95
IV	3765.58	136.3923	2.83	3,379.59 - 4,151.21
Planta completa				
Regiones	3721.57	73.4510	2.95	3,504.89 - 3,938.25

### 5.1.1 Determinación del Poder Calorífico de Mezcla para Residuos de Maíz

Esta determinación se aplica exclusivamente a residuos del maíz para verificar los resultados experimentales; a los cuales al aplicar determinaciones de poder calorífico de mezcla (planta completa) a partir de los poderes caloríficos de sus constituyentes (olote, tuza, hoja/caña) debe resultar ser igual al poder calorífico determinado experimentalmente para la planta completa.

El poder calorífico de mezcla a partir de sus componentes se obtiene aplicando la ecuación 8, que desarrollada para los componentes de la planta completa (olote, tuza y hoja/caña) en el cultivo de maíz se transforma en la ecuación 9.

$$C_{pm} = \sum_{i=1}^n x C_{pi} \quad \text{Ec-8}$$

Donde:

$C_{pm}$  = Poder calorífico de mezcla

$C_{pi}$  = Poder calorífico del componente  $y$

$x$  = Fracción peso de componente  $y$  en la mezcla

$$PCN^* = (X \times PCO) + (Y \times PCT) + (Z \times PCHC) \quad \text{Ec-9}$$

Donde:

$PCN^*$  = Poder Calorífico de la Planta Completa de Maíz a calcular a partir del PCN de sus componentes (poder calorífico de mezcla)

$X$  = Fracción peso del Olote (cuadro 5.6)

$Y$  = Fracción peso de la Tuza (cuadro 5.6)

$Z$  = Fracción Peso de Hoja/Caña (cuadro 5.6)

$PCO$  = Poder Calorífico del Olote (cuadro 5.3)

$PCT$  = Poder calorífico de la Tuza (cuadro 5.3)

$PCHC$  = Poder calorífico de la Hoja/Caña (cuadro 5.3)

Ejemplo de cálculo para muestra mI1 (mI01, mI11, mIhc1)

$$X = 0.2183, \quad \text{PCO} = 3,853.59 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Y = 0.1204, \quad \text{PCT} = 3,795.86 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Z = 0.6613, \quad \text{PCHC} = 3,616.06 \text{ Kcal/Kg}$$

Aplicando ecuación 9.

$$\text{PCN}^* = 0.2183 \times 3,853.59 + 0.1204 \times 3,795.86 + 0.6613 \times 3,616.06$$

$$3,689.56 \text{ Kcal/Kg}$$

Los resultados de poder calorífico neto calculado, para las diferentes muestras, con la ecuación 9 y los evaluados experimentalmente se muestran en el cuadro 5.7.

**CUADRO 5.6**  
**FRACCIONES PESO DE OLOTE, TUZA, CAÑA Y HOJA EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS**

Región	Muestra	Olole	Tuza	Caña y Hoja
I	mI1	0.2183	0.1204	0.6613
	mI2	0.2216	0.1332	0.6452
	mI3	0.2075	0.1539	0.6386
	Promedio	0.2158	0.1358	0.6484
II	mII1	0.1748	0.1300	0.6953
	mII2	0.1735	0.1426	0.6839
	mII3	0.1666	0.1151	0.7183
	Promedio	0.1716	0.1292	0.6992
III	mIII1	0.1824	0.1611	0.6568
	mIII2	0.1734	0.1426	0.6840
	mIII3	0.1666	0.1151	0.7184
	Promedio	0.1740	0.1396	0.6864
IV	mIV1	0.1446	0.1335	0.7219
	mIV2	0.1500	0.1458	0.7042
	mIV3	0.1626	0.1226	0.7148
	Promedio	0.1524	0.1340	0.7136
<b>Promedio Total</b>		<b>0.1784</b>	<b>0.1346</b>	<b>0.6869</b>

**CUADRO 5.7**  
**COMPARACION DEL PODER CALORIFICO DE LA PLANTA COMPLETA DETERMINADO**  
**EXPERIMENTALMENTE Y CALCULADO A PARTIR DE SUS CONSTITUYENTES, PARA**  
**RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ EN Kcal/Kg**

Región	Muestra	PCN* Calculado	PCN Experimental
I	mI1	3,689.56	3,672.12
	mI2	3,699.18	
	mI3	3,750.12	
II	mII1	3,766.42	3,646.29
	mII2	3,687.43	
	mII3	3,780.91	
III	mIII1	3,814.63	3,796.08
	mIII2	3,774.00	
	mIII3	3,811.08	
IV	mIV1	3,680.80	3,771.78
	mIV2	3,758.60	
	mIV3	3,876.42	

PCN Experimental de Planta Completa ( cuadro 5.3 )

PCN\* Calculado Aplicando la ecuación 9.

Al determinar el poder calorífico neto de la planta completa como un poder calorífico de mezcla a partir de sus componentes (olote, tuza, hoja/caña) se tiene que los resultados de aplicar la ecuación 9 están dentro del intervalo de confianza (3,504.89 a 3,938.25) del poder calorífico neto determinado experimentalmente para planta completa; lo que explica que el poder calorífico de planta completa se puede calcular con el poder calorífico de sus respectivas fracciones (cuadro 5.3) y composición peso (cuadro 5.6). Indicando a la vez confiabilidad de los resultados experimentales al aplicar a éstos los conceptos de poder calorífico de mezclas, definidos en los libros texto de Fisicoquímica y Termodinámica (Himmelblau, 1986).

### **5.1.2 Comparación del Poder Calorífico de los Residuos Analizados con el Poder Calorífico de Otros Combustibles**

Los resultados experimentales indican que los residuos del cultivo de caña de azúcar tienen en promedio un poder calorífico de 3,688.58 Kcal/Kg; mientras que para los residuos del cultivo de maíz se tiene 3,858.56 para el olote; 3,735.38 para la tuza; 3,734.09 para la hoja/caña y 3,721.57 Kcal/Kg para planta completa. Estos resultados se encuentran dentro del rango de poder calorífico de algunos residuos agroindustriales de uso común en El Salvador y ya caracterizados, como son el bagazo de caña de azúcar y la cascarilla de café, y algunas maderas también utilizadas en El Salvador como leña (cuadro 5.8), para los cuales su poder energético varía entre 2,530 para bagazo de caña de azúcar al 45% de humedad y 4,341 para leña de pepeto; lo que indica que el poder calorífico de los residuos del cultivo de caña de azúcar y maíz son similares al los de los combustibles comparados, por lo que también podrían utilizarse como energéticos, principalmente en sustitución de leña.

Teniendo como parámetro de comparación el poder calorífico de los residuos en estudio, se procede en la sección 5.2 a determinar los volúmenes que se generan de los mismos, para llegar posteriormente a determinar el poder energético que los mismos representan.

**CUADRO 5.8**  
**PODER CALORIFICO DE ALGUNOS COMBUSTIBLES DE USO CONVENCIONAL EN**  
**EL SALVADOR**

<b>Combustible</b>	<b>Calor de Combustión (Kcal/Kg)</b>
Carbón común (Lignita)	6,700
Petróleo	10,000
Bagazo húmedo (45% de agua)	2,530
Bagazo seco al aire (12% de agua)	4,050
Gasolina	11,000
Etanol	6,400
Metanol	4,700
Madera	2,524
Carbón vegetal	6,798
Leña de café *	4,131
Cascarilla de café *	4,190
Leña de manzano *	3,973
Leña de ciprés *	4,341
Leña de pepeto *	4,022
Leña de madre cacao *	3,811
Metano (líquido) **	13,105
Etano (líquido) **	12,404
Propano (líquido) **	11,980
Isobutano (líquido) **	11,520
Butano **	11,769
Pentano (líquido) **	11,730

Serrano, José E. (1983). \*Alvarado y López, (1995). \*\* Perry, et al (1995)

## 5.2 Determinación de la Cantidad de Residuos generados por los Cultivos de Caña de Azúcar y Maíz en El Salvador

Para la determinación de las cantidades de residuos generados, se utiliza las razones peso para el cultivo de caña de azúcar y maíz obtenidas en la sección 3.3.4 y 4.3.4 respectivamente. Como ya se mencionó, el objetivo de su determinación es para evaluar el potencial que en oferta energética como fuente de energía primaria representan este tipo de residuos, lo que se determina a partir de su poder calorífico (cuadros 5.1 y 5.3) y de la cantidad de residuos generados (cuadros 5.10 y 5.12).

### 5.2.1 Cantidad de Residuos Generados en el Cultivo de caña de azúcar

Con la cantidad de manzanas de tierra que se cultivan de caña de azúcar en El Salvador y los rendimientos por manzana (cuadro 5.9), se determinó la cantidad de residuos generados por el cultivo de la caña de azúcar en el periodo 1984-1985 (ecuación 10).

$$\text{CRC} = 0.1536 \times R \times S$$

Ec-10

Donde:

CRC = Cantidad de residuos generados (Ton)

0.1536 = Razón peso promedio de residuos del cultivo de la caña de azúcar expresada en peso de cogollo/hoja por peso de caña fresca a 11.2527% de humedad (cuadro 3.31)

R = Rendimiento por año del cultivo de caña (Ton/ Mz)

S = Superficie sembrada por año (Mz)

**CUADRO 5.9**  
RETROSPECTIVA, SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE PRODUCCION PARA CAÑA DE AZÚCAR 1984/85-1994/95

Año Agrícola	Superficie Rozada P/Moler (Mz)	Producción de Caña P/Moler (T.C)	Rendimiento de Producción de Caña de Azúcar (T.C/Mz)
1984/85	52,000	3,212,738	61.8
1985/86	55,200	3,429,191	62.1
1986/87	58,750	3,184,611	54.2
1987/88	48,300	2,526,908	52.3
1988/89	41,300	2,290,295	55.4
1989/90	45,600	2,939,576	64.4
1990/91	54,700	3,582,610	65.5
1991/92	60,300	4,202,900	69.7
1992/93	64,300	3,903,010	60.7
1993/94	67,000	3,562,624	53.2
1994/95	66,400	3,503,146	52.8

MAG-DGEA (1995)

1 T.C = 2000lbs

### Ejemplo de cálculo

Para el año agrícola 1994/1995 la producción promedio fue 52.8 Toneladas Cortas de caña por manzana de tierra cultivada y la superficie sembrada fue de 66,400 Mz (cuadro 5.9). Con estos datos y aplicando la ecuación 10 se obtienen las cantidades de residuos generados de cogollo y hoja de caña de azúcar para ese período. Este resultado y los de los períodos restantes se resumen en el cuadro 5.10.

$$\begin{aligned} \text{CRC} &= (0.1536 \text{Ton cogollo/hoja}) / (1 \text{Ton Caña}) \times (52.8 \text{Tc/Mz}) \times (66,400 \text{Mz}) \\ &= 538,5093.12 \text{ Ton de residuos generado de caña de azúcar} \end{aligned}$$

Como se mencionó, las cantidades de residuos generados varían con el rendimiento y superficie sembrada. Para el período 1985-1995 fluctuó con un mínimo de 351,439.87 Ton y un máximo de 645,566.98 Ton (cuadro 5.10) para un promedio de 507,377.24 Ton y una desviación estándar de 86,390.46Ton. Estos resultados se muestran gráficamente en la figura 5.1, en donde se refleja la tendencia fluctuante de los mismos.

**CUADRO 5.10**  
**CANTIDADES DE RESIDUOS GENERADOS SERIE 1984/85 - 1994/95 PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**

<b>Año</b>	<b>Cantidad de Residuo (Ton)</b>
1984/85	493,608.96
1985/86	526,528.51
1986/87	489,100.8
1987/88	388,007.42
1988/89	351,439.87
1989/90	451,067.90
1990/91	550,325.76
1991/92	645,566.98
1992/93	599,502.34
1993/94	547,491.84
1994/95	538,509.32
<b>Promedio</b>	<b>507,377.24</b>

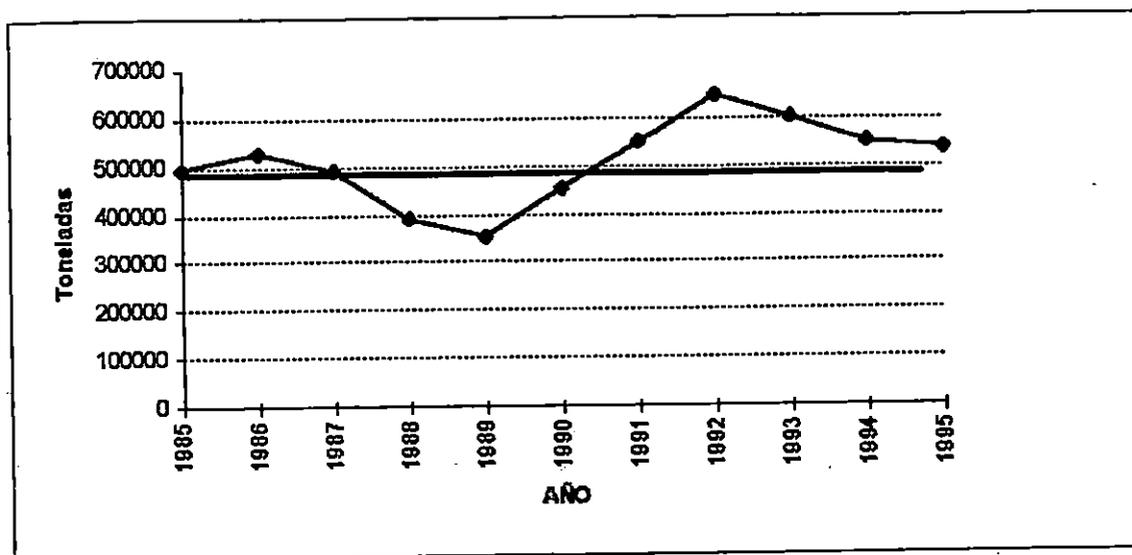


FIGURA 5.1 CANTIDADES DE RESIDUOS GENERADOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR EN EL PERIODO 1985-1995

### 5.2.2 Cantidad de Residuos Generados del Cultivo de Maíz

Para el cálculo de las cantidades de residuos generados, se utilizó información proporcionada por la MAG-DGEA, sobre rendimientos de maíz por manzana de tierra cultivada y la superficie en manzanas de tierra cultivada por los agricultores de maíz (cuadro 5.11). Para los cálculos se utilizarán los datos experimentales de las razones peso presentadas en la sección 4.3.4, y luego se aplicaron las siguientes ecuaciones.

$$\text{CRT} = 0.1764 \times R \times S \times (1/20) \quad \text{Ec-11}$$

$$\text{CRO} = 0.2195 \times R \times S \times (1/20) \quad \text{Ec-12}$$

$$\text{CRH} = 0.8302 \times R \times S \times (1/20) \quad \text{Ec-13}$$

$$\text{CRTOTAL} = \text{CRT} + \text{CRO} + \text{CRHC} \quad \text{Ec-14}$$

Donde:

CRTOTAL = Cantidad de residuos totales del cultivo de maíz (Ton)

0.1764 = Razón peso promedio Tuza/Maíz al 12.32% de humedad

0.2195 = Razón peso promedio Olote/Maíz al 9.56% de humedad

0.8302	= Razón peso promedio Hoja/caña/Maíz al 11.12% de humedad
CRT	= Cantidad de Residuos de Tuza (Ton)
CRO	= Cantidad de Residuos de Olote (Ton)
CRHC	= Cantidad de Residuos de Hoja/Caña (Ton)
R	= Rendimiento de maíz por manzana en qq/Mz (cuadro 5.11)
S	= Superficie cultivada en manzanas (cuadro 5.11)

#### Ejemplo de cálculo (año 1994/95)

$$\begin{aligned}
 \text{CRT} &= 0.1764 \text{ (qq/qqm)} \times 23.2 \text{ (qqm/Mz)} \times 450,000 \text{ Mz} \times (1 \text{ Ton}/ 20 \text{ qq}) \\
 &92,162.6 \text{ Ton de Tuza} \\
 \text{CRO} &= 0.2195 \text{ (qq/qqm)} \times 23.2 \text{ (qqm/Mz)} \times 450,000 \text{ Mz} \times (1 \text{ Ton}/ 20 \text{ qq}) \\
 &114,680.8 \text{ Ton de Olote} \\
 \text{CRHC} &= 0.8302 \times \text{ (qq/qqm)} \times 23.2 \text{ (qqm/Mz)} \times 450,000 \text{ Mz} \times (1 \text{ Ton}/ 20 \text{ qq}) \\
 &433,749.6 \text{ Ton Hoja/Caña} \\
 \text{CRTOTAL} &= 92,162.6 + 114,680.8 + 433,749.6 = 640,593 \text{ Ton totales de residuos}
 \end{aligned}$$

Similares cálculos realizados para el período 1988-1994 se muestran en el cuadro 5.12 y figura 5.2, en donde se tiene nuevamente que las cantidades de los residuos generados varían con el rendimiento y superficie sembrada. Para el período 1985-1995 los totales de los residuos generados fluctuaron con un mínimo de 582,212.4 Ton y un máximo de 941,424.1 Ton (cuadro 5.12) para un promedio de 744,739.08 Ton y una desviación estándar de 83,053.55 Ton, siendo mayores las cantidades de residuos de hoja/caña que se generan, que las de olote y la tuza en su orden, las que varían en rangos de 394,219.6 a 637,444.2; de 104,229.4 a 168, 536.5 y de 83,763.4 a 135,443.4 Ton respectivamente.

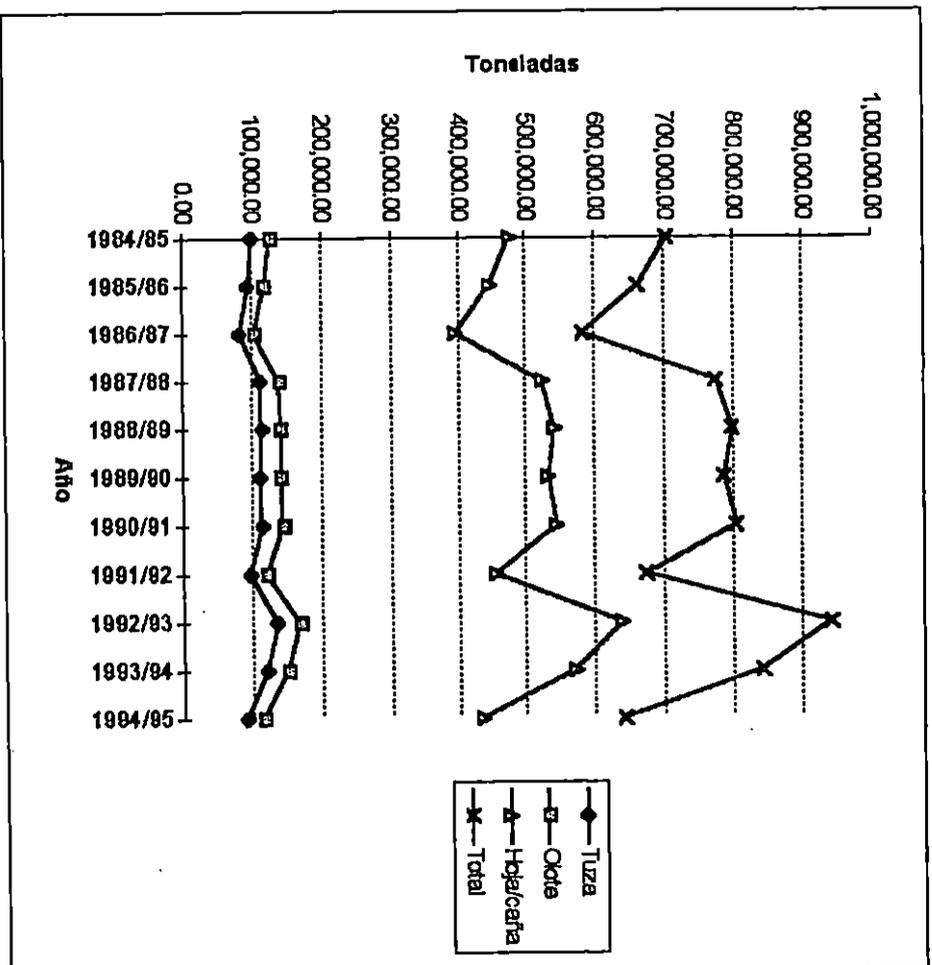
**CUADRO 5.11**  
**RETROSPECTIVA, SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE PRODUCCION DEL**  
**CULTIVO DEL MAÍZ EN EL SALVADOR 1984/85 - 1994/95**

<b>Año Agrícola</b>	<b>Superficie Sembrada (Mz)</b>	<b>Producción (qq)</b>	<b>Rendimiento (qq/Mz)</b>
1984/85	347,700	11,461,500	33.0
1985/86	362,100	10,769,200	29.7
1986/87	368,100	9,500,000	25.8
1987/88	398,500	12,575,900	31.6
1988/89	402,800	12,956,200	32.2
1989/90	394,700	12,794,300	32.4
1990/91	402,600	13,100,200	32.5
1991/92	438,000	10,962,800	25.0
1992/93	458,400	15,338,800	33.5
1993/94	439,500	13,698,500	31.2
1994/95	450,400	10,449,000	23.2

DGEA-MAG, (1996)

**CUADRO 5.12**  
**CANTIDADES DE RESIDUOS GENERADOS PARA EL CULTIVO DE MAIZ EN TONELADAS**

<b>Año Agrícola</b>	<b>CRT</b>	<b>CRO</b>	<b>CRHC</b>	<b>CRTOTAL</b>
1984/85	101,201.6	125,928.2	476,289.9	703,419.7
1985/86	94,853.5	118,029.2	446,413.9	659,296.6
1986/87	83,763.4	104,229.4	394,219.6	582,212.4
1987/88	111,066.7	138,203.8	522,718.8	771,989.3
1988/89	114,396.8	142,347.5	538,391.3	795,135.6
1989/90	112,792.6	140,351.5	530,841.5	783,985.5
1990/91	115,405.3	143,602.4	543,137.6	802,145.3
1991/92	96,579.0	120,176.2	454,534.5	671,289.7
1992/93	135,443.4	168,536.5	637,444.2	941,424.1
1993/94	120,943.4	150,493.6	569,201.7	840,638.7
1994/95	92,162.6	114,680.8	433,749.6	640,593.0
<b>Promedio</b>	<b>107,146.2</b>	<b>133325.34</b>	<b>504,267.51</b>	<b>744,739.17</b>



**FIGURA 52 CANTIDADES DE RESIDUOS GENERADOS POR AÑO PARA EL CULTIVO DE MAIZ EN EL PERIODO 1985-1995**

### **5.3 Análisis General de las Encuesta en la Determinación de la Oferta Energética de Residuos de Caña de Azúcar**

Los resultados de la encuesta realizada en los agricultores del cultivo de caña de azúcar y maíz de mayor interés en este trabajo de investigación, para llegar a determinar el potencial energético que estos representan, son los relacionados con la disponibilidad de los residuos que se generan, en términos de que estos sean accesibles de adquirir por comercialización de los mismos; sin que ello represente afectar otros usos actuales de los mismos, como lo son para abono o para alimento para ganado, principalmente. Resumiendo dichos resultados así

#### **a Cultivo de la caña de azúcar**

Los resultados generales obtenidos de la encuesta realizada en los productores de caña de azúcar, muestran que el periodo de recolección de las cosechas se realiza en su totalidad en época seca (noviembre a marzo); el 75.48% de los agricultores tiene interés en comercializar los residuos; el 46.15% de los agricultores cuentan con residuos sobrantes de los cuales el 64.28% son quemados; el combustible de mayor uso es la leña con 40.78%; el 34.08% de lo agricultores no tiene ningún problema al utilizar los residuos en fines diferentes a los actuales y el 29.41% de los residuos que genera el cultivo de caña de azúcar son quemados, lo que es equivalente al porcentaje de quema de los residuos sobrantes (cuadro 5.13).

De los resultados de la encuesta se tomará en cuenta como la cantidad de residuos disponibles para utilizarlos como energéticos (sin afectar los usos actuales), a la cantidad de residuos que se queman en el campo de trabajo (29.41%); los resultados de la encuesta indican además un alto porcentaje de agricultores con disposición a comercializar sus residuos (75.48%) y en porcentaje del 34.08% a los que no les afectaría utilizarlos en forma diferente a la actual, ambos porcentajes son superiores al

29.41% que se ha tomado en cuenta en este estudio, como porcentaje disponible para ser utilizado como energético de uso directo.

Aplicando la ecuación 15 se tienen las cantidades disponibles de estos residuos que se resumen en el cuadro 5.14.

Ejemplo de cálculo, para el año 1994/95

$$\text{CRCQ} = 0.2941 \times \text{CRC}$$

Ec-15

Donde:

CRCQ = Cantidad de residuos quemados (Ton)

0.2941 = Fracción disponible de residuos (sobrantes y quemados)

CRC = Cantidad de residuos generados (cuadro 5.10)

$$\begin{aligned} \text{CRCQ} &= 0.2941 \times 538,502.32 \\ &= 158,375.59 \text{ Ton de residuos que se queman} \end{aligned}$$

CUADRO 5.13  
RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS DE LA ENCUESTA REALIZADA A LOS PRODUCTORES DE CAÑA DE AZUCAR

Resultado Obtenido de la Encuesta	% del total
Época de cosecha (Noviembre a Marzo)	100
Interés de los agricultores en comercializar los residuos	75.48
Agricultores con residuos sobrantes	46.15
Agricultores que utilizan leña como combustible	40.78
Agricultores que no tienen dificultad al utilizar los residuos para fines diferentes a los actuales	34.08
Porcentaje de residuos quemados	29.41

**CUADRO 5.14**  
**RESUMEN DE CANTIDADES TOTALES DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZUCAR GENERADOS Y**  
**CANTIDADES QUE SE QUEMAN EN EL CAMPO PARA EL PERIODO 1988/89-1994/95**

<b>Año</b>	<b>Total de residuos generados (Ton)</b>	<b>*Cantidad de residuos que se queman (Ton)</b>
1988/89	351,439.87	101,358.46
1989/90	451,067.90	132,659.07
1990/91	550,325.76	161,850.81
1991/92	645,566.98	189,861.25
1992/93	599,502.34	176,313.64
1993/94	547,491.84	161,017.35
1994/98	538,509.32	158,375.59

\* Disponibles de acuerdo a este estudio para energético de uso directo (energía primaria)

#### **b Cultivo de Maíz**

Los resultados obtenidos por la encuesta realizada en los productores de maíz, muestra que el 66.67% de los agricultores esta interesado en comercializar los residuos; el 65% recolecta sus cosechas en época seca (Noviembre a Enero); el 45.83% de los agricultores tiene residuos sobrantes, de los cuales el 60% de los residuos se consideran desperdicio ó son quemados, representando el 27.498% de los residuos que se generan del cultivo de maíz; el 54.09 utiliza leña como su principal combustible y el 17% no tiene ningún problema si se utilizan los residuos para fines diferentes a los actuales (cuadro 5.15).

Se tiene nuevamente que la mayor cantidad de los residuos se generan en época seca. Con un alto porcentaje de agricultores que manifiestan tener residuos sobrantes, los que a la vez los queman o los consideran un desperdicio.

Tanto en el caso de los agricultores de caña de azúcar como los de maíz, se tiene que el combustible de mayor uso es la leña; lo que podría sustituirse si se acondicionan sus residuos sobrantes para uso como energéticos.

Para efectos de definir la disponibilidad de residuos del maíz para utilizarlos como energéticos, sin afectar sus otros usos se trabajará con el 27.498% que representan los residuos considerados como desperdicios o que son quemados a campo abierto por los agricultores que manifiestan tener residuos sobrantes.

Para determinar dicha disponibilidad se hará uso de la ecuación 16.

Ejemplo de cálculo, para el año 1994/95

$$\text{CRMQ} = (0.27498 \times \text{CRO}) + (0.27498 \times \text{CRT}) + (0.27498 \times \text{CRHC}) \quad \text{Ec-16}$$

Donde:

CRMQ = Cantidad de residuos en desperdicio y quemados (Ton)

0.27498 = Fracción disponible de residuos (desperdicio y quemados) (Ton)

CRO = Cantidad de residuos generados de olote (cuadro 5.12)

CRT = Cantidad de residuos generados de tuza (cuadro 5.12)

CRHC = Cantidad de residuos generados de hoja/caña (cuadro 5.12)

$$\begin{aligned} \text{CRMQ} &= 0.27498 \times 114,680.8 + 0.27498 \times 92,162.6 + 0.27498 \times 433,749.6 \\ &= 176,150.26 \text{ Ton de residuos que se desperdician y queman} \end{aligned}$$

Los resultados así evaluados se resumen en el cuadro 5.16

**CUADRO 5.15**  
**RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS DE LA ENCUESTA REALIZADA A LOS PRODUCTORES**  
**DE MAIZ**

<b>Resultado Obtenido de la Encuesta</b>	<b>% del total</b>
Época recolección de cosecha (Noviembre a Enero)	65.04
Interés de los agricultores en comercializar los residuos	66.67
Agricultores con residuos sobrantes	45.83
Agricultores que utilizan leña como combustible	54.09
Agricultores que no tienen dificultad al utilizar los residuos para fines diferentes a los actuales	17
Porcentaje de residuos que se queman y desperdician de los agricultores con residuos sobrantes	60.00
Desperdicio	50.84
Quema	9.16

**CUADRO 5.16**  
**RESUMEN DE CANTIDADES TOTALES (EN TONELADAS) DE RESIDUOS DE MAIZ GENERADOS**  
**Y CANTIDADES QUE SE QUEMAN Y DESPERDICIAN EN EL CAMPO PARA EL PERIODO**  
**1988/89-1994/95**

<b>Año</b>	<b>Total de residuos generados</b>	<b>Cantidad de Residuos de Olote que se Desperdician y Queman</b>	<b>Cantidad de Residuos de Tuza que se Desperdician y Queman</b>	<b>Cantidad de Residuos de Hoja/caña que se desperdician y Queman</b>	<b>*Cantidad de Residuos Disponibles</b>
1988/89	795,135.6	39,142.72	31,456.80	148,046.84	218,646.39
1989/90	783,985.6	38,593.86	31,015.71	145,970.79	215,580.33
1990/91	802,145.3	39,487.79	31,734.15	149,351.98	220,573.91
1991/92	671,289.7	33,046.05	26,557.29	124,987.89	184,591.24
1992/93	941,424.1	46,344.17	37,244.23	175,284.41	258,872.80
1993/94	840,638.7	41,382.73	33,257.02	156,519.08	231,158.83
1994/98	640,593.0	31,680.80	25,342.87	119,272.46	176,150.26

\* Disponibles de acuerdo a este estudio para energético de uso directo (energía primaria)

#### 5.4 Determinación de la Oferta Energética de los Residuos del cultivo de Caña de Azúcar y Maíz y su Comparación con otros Combustibles de Uso Convencional

La energía calorífica teórica ofertada por los residuos del cultivo de Caña de Azúcar y Maíz, alcanza valores significativos para El Salvador, y podría sustituir en gran parte el consumo de leña, que actualmente se utiliza en mayor cantidad que la disponible, según los Balances Energéticos de CEL (1989 a 1996). La figura 5.3 muestra que la demanda de leña siempre es mayor que la oferta para ese período y en el cuadro 5.17 se tiene que para ese período el déficit del consumo de leña varió entre 2,440.2 y 4,265 Tcal. En el cuadro 5.17 también se muestra la oferta energética de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de café que en buen porcentaje sustituye el uso de leña y de combustible derivados del petróleo; sin embargo de acuerdo a lo mostrado en el cuadro 1.1 y 1.2 de sección 1, estos residuos tienen una demanda menor de lo que se oferta.

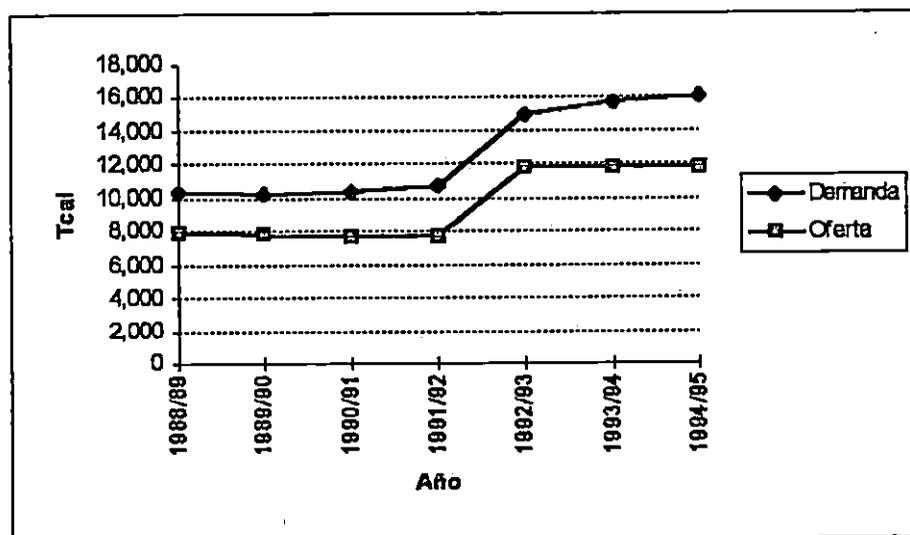


FIGURA 5.3 DEMANDA Y OFERTA DE ENERGIA PROVENIENTE DE LEÑA QUE SE CONSUME EN EL SALVADOR (CEL 1995)

De los resultados de este estudio, la oferta energética de la cantidad de residuos generados y la cantidad de residuos que se queman y desperdician en el campo de los

cultivos de caña de azúcar y maíz, se compara con el déficit energético del recurso leña, con el objetivo de conocer que porcentaje del total del déficit podría cubrirse al utilizar el potencial energético que estos residuos representan. Se compara tanto el total de residuos generados como la cantidad disponible de éstos, mostrándose dichos resultados en el cuadro 5.18, obteniéndose al aplicar las ecuaciones de la 17 a la 19 con el ejemplo de cálculo a continuación.

Para la determinación del potencial energético de los residuos del cultivo de caña de azúcar y maíz se utilizan las siguientes ecuaciones:

Ec-17

$$\begin{aligned} \text{EPRM} &= 3858.56 \times 909.09 \times \text{CRO} + 3735.38 \times 909.09 \times \text{CRT} + 3734.09 \times 909.09 \times \text{CRHC} \\ \text{EPRM1} &= \text{EPRM} \times (1 \text{ Tcal} / 1 \text{ E}^9 \text{ Kcal}) \end{aligned}$$

Ec-18

$$\begin{aligned} \text{EPRC} &= 3688.58 \times 909.09 \times \text{CRC} \\ \text{EPRC1} &= \text{EPRC} \times (1 \text{ Tcal} / 1 \text{ E}^9 \text{ Kcal}) \end{aligned}$$

Ec-19

$$\text{EPR} = \text{EPRM1} + \text{EPRC1}$$

Donde:

EPR = Potencial energético de los residuos (Tcal)

EPRM = Potencial energético de Residuos del Cultivo de Maíz (Kcal)

EPRM1 = Potencial energético de Residuos del Cultivo de Maíz (Tcal)

EPRC = Potencial energético de Residuos del Cultivo de Caña de Azúcar (Kcal)

EPRC1 = Potencial energético de Residuos del Cultivo de Caña de Azúcar (Tcal)

3,858.56 = Poder calorífico neto del olote en Kcal/Kg (cuadro 5.4)

3,735.38 = Poder calorífico neto de la tuza en Kcal/Kg (cuadro 5.4)

3,734.09 = Poder calorífico neto de hoja/caña en Kcal/Kg (cuadro 5.4)

3,688.58 = Poder calorífico neto de los residuos de  
caña de azúcar en Kcal/Kg (cuadro 5.1)

- 909.09 = Factor de conversión de Kg a Ton  
 CRO = Cantidad de Residuos de Olote (Ton)  
 CRT = Cantidad de Residuos de Tuza (Ton)  
 CRHC = Cantidad de Residuos de Hoja/Caña (Ton)  
 CRC = Cantidad de Residuos de Caña de Azúcar generados (Ton)

Ejemplo de cálculo, para el año 1994/95

- CRO = 114,680.8 Ton (cuadro 5.12)  
 CRT = 92,162.6 Ton (cuadro 5.12)  
 CRHC = 433,749.6 Ton (cuadro 5.12)  
 CRC = 538,509.32 Ton (cuadro 5.10)

$$\begin{aligned} \text{EPRM} &= 3858.56 \times 909.09 \times 114,680.8 + 3735.38 \times 909.09 \times 92,162.6 \\ &\quad + 3734.09 \times 909.09 \times 433,749.6 \\ &= 2.18766\text{E}+12 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EPRM1} &= 2.18766\text{E}+12 \times (1\text{Tcal}/1\text{E}+9 \text{ Kcal}) \\ &= 2,187.66 \text{ Tcal (cuadro 5.18)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EPRC} &= 3688.58 \times 909.09 \times 538,509.32 \\ &= 1.805757\text{E}+12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EPRC1} &= 1.805757\text{E}+12 \times (1\text{Tcal}/1\text{E}+9 \text{ Kcal}) \\ &= 1,805.76 \text{ Tcal (cuadro 5.18)} \end{aligned}$$

$$\text{EPR} = 2,187.66 + 1,805.76 = 3,993.42 \text{ Tcal}$$

**CUADRO 5.17**  
**OFERTA, DEMANDA Y DEFICIT DE ENERGIA PROVENIENTE DEL RECURSO LEÑA Y**  
**OFERTA DE RESIDUOS DE BAGAZO DE CAÑA Y CASCARILLA DE CAFE EN EL SALVADOR**

<b>Año</b>	<b>Demanda de Energía (leña)</b>	<b>Oferta de Energía (leña)</b>	<b>Déficit de Energía (leña)</b>	<b>Oferta de Energía (B yC.C)</b>
1988/89	10,340	7,862	2,478	1,290.5
1989/90	10,187.2	7,747	2,440.2	1,928.5
1990/91	10,353.5	7,609.6	2,743.9	2,539.5
1991/92	10,666.4	7,689.7	2,976.7	2,567.8
1992/93	15,006.3	11,771.9	3,234.4	2,425.2
1993/94	15,677.6	11,787.2	3,890.4	2,187.2
1994/95	16,029.8	11,765.8	4,265.0	2,320.7

B. E. N (1995)

B y C.C = BAGAZO DE CAÑA Y CASCARILLA DE CAFE

**CUADRO 5.18**  
**POTENCIAL ENERGETICO EVALUADO EN ESTE ESTUDIO PARA LOS RESIDUOS**  
**TOTALES GENERADOS Y DISPONIBLES DE LOS CULTIVOS DE CAÑA DE AZUCAR Y MAIZ**  
**EN EL SALVADOR (Tcal), PERIODO 1989-1995**

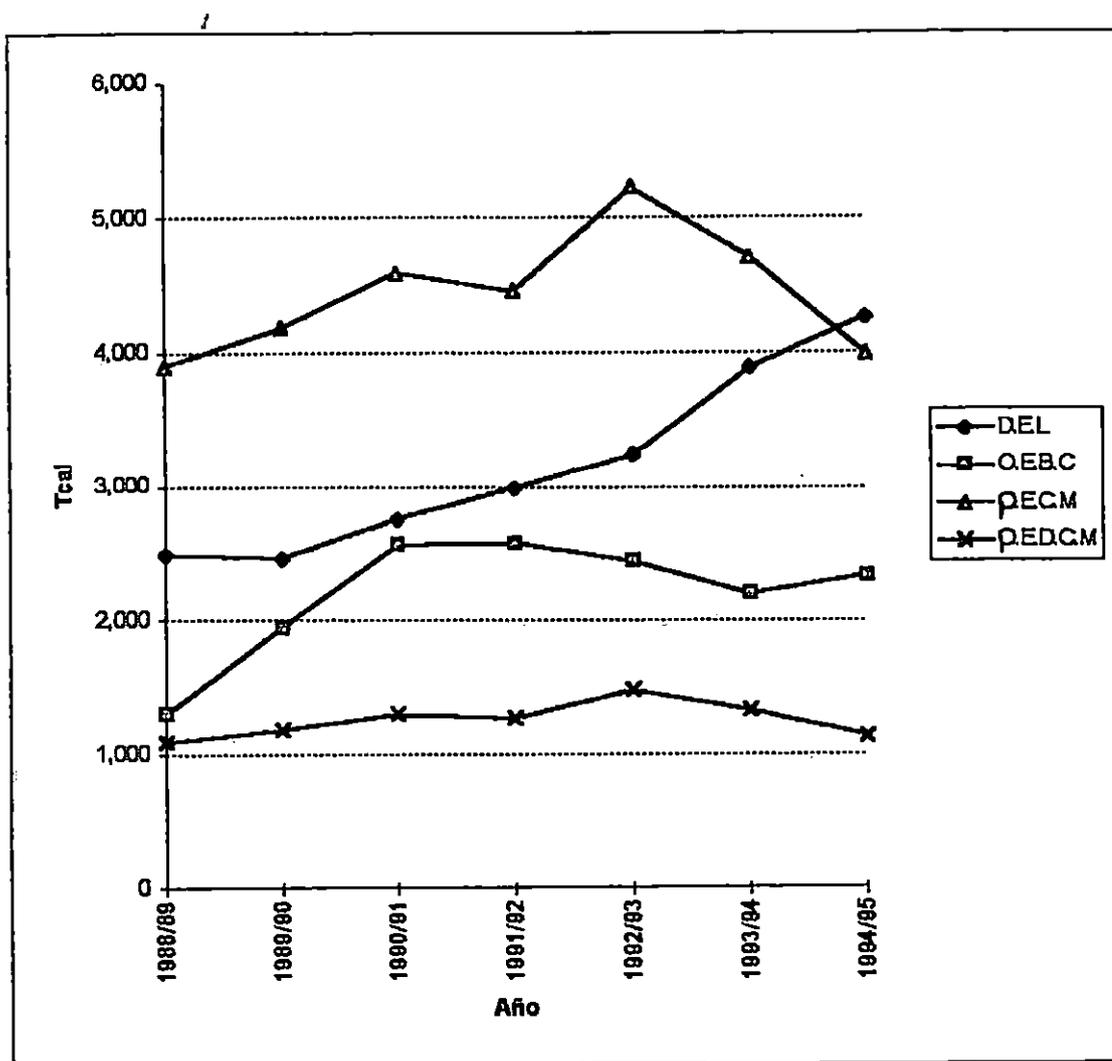
<b>Año</b>	<b>Potencial Energético de Residuos de maíz</b>	<b>Potencial Energético de Residuos Caña de Azúcar</b>	<b>Potencial Energético Total de Residuos Generados</b>	<b>Potencial Energético Disponible de los Residuos Generados</b>
1988/89	2,715.43	1,178.47	3,893.90	1,086.57
1989/90	2,677.35	1,512.54	4,189.89	1,181.06
1990/91	2,739.37	1,845.38	4,584.75	1,296.00
1991/92	2,292.49	2,164.75	4,457.24	1,267.04
1992/93	3,215.01	2,010.28	5,225.29	1,475.28
1993/94	2,870.82	1,835.88	4,706.7	1,329.35
1994/95	2,187.66	1,805.76	3,993.43	1,133.14

Al graficar (Figura 5.4) los resultados de la oferta energética de los residuos en estudio y compararlos con el déficit del consumo de leña y la oferta de bagazo y cascarilla, se tiene que el déficit del consumo de leña va en incremento en función del tiempo; mientras que la oferta de los residuos de bagazo de caña y cascarilla de café es fluctuante, al igual que la de residuos de caña de azúcar y maíz, pero sin tendencias marcadas a crecer o decrecer.

Si se utilizara el total de los residuos generados de los cultivos de caña de azúcar y maíz, como fuente primaria de energía, su potencial estaría superando prácticamente el déficit del consumo de leña; pero se centrará el análisis en la oferta energética de los residuos sobrantes disponibles caña de azúcar y maíz, según se estableció en la sección 5.3. Es decir aquellos residuos que actualmente no son utilizados para abono orgánico ni para forraje de ganado.

Se tiene también que la oferta de residuos agrícolas disponibles de los cultivos de la caña de azúcar y maíz resulta ser ligeramente menor que la oferta de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de café variando entre (1,086 y 1,475) la primera y entre (1,290 y 2,567) la segunda.

En el cuadro 5.19 se tiene que el porcentaje del déficit del consumo de leña que podría ahorrarse con el uso de los residuos actuales disponibles de caña de azúcar y maíz, varía entre un 26 y un 48% como mínimo y máximo respectivamente para ese período.



**FIGURA 5.4 COMPARACION DEL POTENCIAL ENERGETICO TOTAL Y DISPONIBLE DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR Y MAIZ CON EL DEFICIT DE POTENCIAL ENERGETICO POR DEMANDA EXESIVA DE LEÑA Y OFERTA ENERGETICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (BAGAZO DE CAÑA Y CASCARILLA DE CAFE)**

Donde:

- D. E. L = Déficit energético proveniente del consumo excesivo de leña
- O. E. B.C = Oferta energética de los residuos de bagazo de caña y cascarilla de café
- P. E. C.M = Potencial energético de residuos generados de cultivos de caña de azúcar y maíz
- P. E. D. C.M = Potencial energético de residuos disponibles de caña de azúcar y maíz

**CUADRO 5.19**  
**PORCENTAJE DEL POTENCIAL ENERGETICO QUE PODRIA CUBRIRSE DEL DEFICIT AL**  
**UTILIZAR LOS RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR Y MAIZ COMO ENERGETICO**

<b>Año</b>	<b>*Déficit de Energía (leña)</b>	<b>*Potencial Energético Disponible</b>	<b>% Déficit que se Puede Cubrir</b>
1988/89	2,478.0	1,086.57	43.85
1989/90	2,440.2	1,181.06	48.40
1990/91	2,743.9	1,296.00	47.23
1991/92	2,976.7	1,267.04	42.56
1992/93	3,234.4	1,475.28	45.61
1993/94	3,890.4	1,329.35	34.17
1994/95	4,265.0	1,133.14	26.57

\* En Tcal

## OBSERVACIONES

1. La ubicación geográfica de los cultivos de Caña de azúcar y Maíz, se logró por medio de la edición de un mapa de distribución de usos de suelos de El Salvador (anexo I), elaborado por la Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en el cual se muestran los lugares específicos donde se cultiva la caña de azúcar y los lugares aptos y extensiones de tierras donde se cultiva granos básicos.
2. El mapa de distribución de usos de suelos editado por la MAG-DGEA, sólo muestra las extensiones de tierra aptas para pastos y granos básicos, no logra definir y ubicar exactamente, que cantidad de tierra se destina para granos básicos, debido a la rotación a la cual éstos están sometidos (como ejemplo podemos citar el cultivo de maíz, que es un cultivo anual que un año puede que se siembre en un lugar determinado y el próximo año no).
3. La división por regiones en el cultivo de maíz y por estratos en el cultivo de caña de azúcar, dió resultados satisfactorios en los resultados globales a nivel de todo El Salvador al realizar la encuesta en los agricultores, ya que se tomó la opinión de todos los sectores, tanto los agricultores en pequeña, mediana y gran escala.
4. Los resultados finales de los pesos de residuos de cosechas para los cultivos de maíz y caña de azúcar, se logran por un muestreo directo, pesando todas las fracciones de la planta de maíz, incluyendo los granos, y para la caña de azúcar de igual manera. Luego se realizó el cálculo de razón peso de residuo a maíz y caña de azúcar, ya que se conocen los rendimientos de maíz y caña de azúcar por manzana y las manzanas cultivadas, de acuerdo esto último a estadísticas del MAG-DGEA..

5. La caña de azúcar es un cultivo que tiene la característica de sembrarse en terrenos planos, en grandes extensiones (relativos a los cultivos de granos básicos) y de fácil acceso a las zonas de producción; el maíz por su parte es el grano básico que más se cultiva en todo El Salvador, y se cosecha tanto en terreno plano como en accidentado.
  
6. La toma de muestras para el cultivo de maíz y caña de azúcar se realizó en todo El Salvador, auxiliándose del mapa de distribución de suelos y el mapa oficial, lo que garantiza que las muestras son representativas de los cultivos en estudio. Para lo que también se hizo uso de una metodología estadística de recolección de datos basada en muestreo probabilístico y no probabilístico.
  
7. Para calcular la oferta energética de los residuos de caña de azúcar y maíz se estimaron aquellos porcentajes de los residuos que se generan y que no tienen un uso actual definido, como lo son para abono ó para alimento animal; por lo que se estimó un 29.41% de residuos sobrantes disponibles del cultivo de caña de azúcar para ser utilizado como energético y un 27.498% para el cultivo de maíz. Representando estos porcentajes aquellos residuos que se desperdician ó queman a campo abierto y que por consiguiente generan problemas de contaminación ambiental.

## CONCLUSIONES

1. Con la caracterización de los residuos de cosechas de caña de azúcar y maíz, se logra conocer la ubicación geográfica de mayor concentración de estos cultivos y la cantidad de residuos generados que en promedio para el periodo 1984-1995 se estiman en 507,377.24 Ton para residuos de caña de azúcar y 744,739.17 Ton para residuos del cultivo de maíz; de los cuales sus principales usos son como abono orgánico y como alimento para ganado; existiendo altos porcentajes sobrantes que en su mayoría son quemados o se abandonan como desperdicio generando problemas de contaminación ambiental.
2. La encuesta realizada a los agricultores, indican que el 75.48% y el 66.67% de los productores están interesados en comercializar los residuos de caña de azúcar y maíz y cuentan con 46.16% y 45.83% de residuos sobrantes respectivamente; de los cuales 29.41% de residuos de caña de azúcar y 27.498% de residuos de maíz se estiman disponibles para su uso como energético, equivalentes de acuerdo a los resultados de este estudio a 154,490.88 Ton y 215,081,96 Ton de residuos respectivamente.
3. La oferta del potencial energético disponible de los residuos del cultivo de caña de azúcar y maíz estimada en un promedio de 1,252.63 Tcal para el periodo 1989-1995 es ligeramente menor que la oferta de biomásas agroindustriales que ya están siendo utilizadas como fuente energética (2,179.91 Tcal para ese mismo periodo) en El Salvador. Si son comparables ambos tipos de residuos en cuanto a su poder calorífico; 3,688.58 Kcal/Kg para residuos de caña de azúcar a un porcentaje de humedad de 12.25%; 3,858.56 Kcal/Kg para olote; 3,735.38 para la tuza; 3,734.09 para la hoja/caña y 3,721.57 Kcal/Kg para planta completa de residuos del cultivo de maíz con porcentajes de humedad de 9.56%, 12.32%, 11.12% y 10.67% respectivamente.

Mientras que el bagazo de caña al 12% de humedad posee 4,050 Kcal/Kg y la cascarilla de café al 3% de humedad 4,190 Kcal/Kg.

4. La oferta de potencial energético como fuente de energía primaria de residuos del cultivo de caña de azúcar y maíz (1,252.63 Tcal), determinada en este estudio, podría sustituir entre un 26.57% y un 48.58% del déficit energético proveniente de la leña.
5. Además de la determinación del poder calorífico de los residuos en estudio, se requirió de la caracterización de éstos a través de la evaluación de parámetros químicos, los cuales son base para definir el potencial energético que los mismos representan; siendo las características químicas evaluadas, los contenidos de celulosa, lignina y hemicelulosa en porcentajes p/p, resultando un contenido de lignina para residuos de caña de azúcar en un valor promedio de 12.04%; para tuza 10.82%; para olote 21.84%; para hoja/caña 13.18% y para planta completa 10.48% en residuos del cultivo de maíz. Los de celulosa para residuos del cultivo de caña de azúcar dieron un valor promedio de 12.49%; para tuza 11.97%; para olote 23.73%; para hoja/caña 13.76% y para planta completa 11.48% en los residuos del cultivo de maíz. Los de hemicelulosa para residuos del cultivo de caña de azúcar dieron un valor promedio de 30.78%; para tuza 46.75%; para olote 43.12%; para hoja/caña 35.10% y para planta completa 40.60% en los residuos del cultivo de maíz. Con lo que se tienen residuos de cultivo de caña de azúcar con un contenido de fibra promedio de 55.31% p/p; y para los residuos del cultivo de maíz el contenido de fibra promedio fue de 88.69% para el olote, 67.03% para la tuza, 62.05% para hoja/caña y 62.67% para planta completa. Lo que los convierte en una fuente potencial de energía.
6. La caracterización de los residuos del cultivo de caña de azúcar y maíz requirió también de parámetros físicos, los cuales son base para determinar la cantidad de residuos generados de ambos cultivos y el espacio que podrían ocupar éstos residuos en condiciones controladas de presión; siendo las características físicas evaluadas pruebas

de razón peso y densificación. En los residuos del cultivo de caña de azúcar se logra una disminución de volumen del 53.19% al aplicar una presión promedio de 112 Kg/cm<sup>2</sup> con respecto al volumen inicial de los residuos (sin aplicar presión). Mientras que para el cultivo del maíz la disminución de volumen es de 62.64% para la tuza a una presión de 50 Kg/cm<sup>2</sup>, para el olote 16.89% a una presión de 32 Kg/cm<sup>2</sup>, para hoja/caña 51.16% a una presión de 42 Kg/cm<sup>2</sup> y para planta completa 52.36% a una presión de 58 Kg/cm<sup>2</sup>. A las condiciones especificadas se tiene que las densidades iniciales (sin compactar) y finales (compactadas al aplicar presión) de los residuos en estudio fueron de 70.4 y 150.5 Kg/m<sup>3</sup> para residuos de caña de azúcar; para olote 143.7 y 172.9 Kg/m<sup>3</sup>; para tuza 40.5 y 108.4 Kg/m<sup>3</sup>; para hoja/caña 39.8 y 81.5; para planta completa 60.05 y 226.05 Kg/m<sup>3</sup> en los residuos del cultivo de maíz respectivamente.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe continuar el proyecto “Evaluación del potencial energético de residuos agrícolas vegetales en El Salvador. parte I: caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y maíz (*Zea mays*)” en la etapa de prefactibilidad técnico-económica, para definir los usos de estos residuos como fuente primaria de energía sustituto de leña y de otros combustibles que generan energía calorífica. Es necesario investigar el precio que se puede pagar a los agricultores por los residuos que generan sus cultivos y así evitar que los quemem ó desperdicien. Además se debe buscar la forma de acondicionar los residuos para reducir su tamaño combinando con las condiciones de presión que permitirán que al quemar los residuos en forma de briquetas no exista separación de partículas y así garantizar el grado de aceptación de los usuarios al poner a su disposición las briquetas formadas.
2. Entre los posibles usuarios de residuos agrícolas de caña de azúcar y maíz, acondicionados en forma de briquetas, se recomienda evaluar para cocinas de fuego abierto y tortillerías; industrias artesanales como quema de ladrillos y hornos para producir cal ( $\text{CaO}$ ), las que consumen leña principalmente y en algunos casos queman llantas; con lo que se estarían buscando alternativas energéticas que contribuyan a minimizar el problema de deforestación y a no utilizar combustibles que emiten gases nocivos a la salud como son los provenientes de la quema de llantas.
3. Se recomienda también evaluar la posibilidad del uso de briquetas de residuos agrícolas, en hornos industriales que consumen derivados del petróleo, dado que la capacidad calorífica de estos residuos es similar a la de residuos como bagazo de caña, cascarilla de café y algunas variedades de leña, los cuales ya están siendo utilizados en procesos industriales para generación de vapor en calderas y en hornos para secado de granos.

4. La caracterización de los residuos del cultivo de caña de azúcar y maíz no se realizó por variedad cultivada, por que al momento de utilizar los residuos como energéticos en algún centro de concentración no se separarían las variedades y se utilizarían mezclas de éstos, por llegar residuos de diferentes puntos a un centro de acopio. Pero si se desea realizar un estudio específico por variedad de cultivo de caña de azúcar, se recomienda las variedades Puerto Rico, Canal Point, Pindar y Barbados que se cultivan en porcentajes de 34.81%, 23.20%, 20.44% y 12.5% respectivamente; y para el cultivo de maíz las variedades H-5, H-53 y Nacional que se cultivan con porcentajes de 30.37%, 21.48% y 20.00%, siendo estas las más representativas de ambos cultivos.
5. Se recomienda caracterizar también los residuos de otros cultivos como frijol, arroz, maicillo, estopa de coco; ya que se siembran en extensiones de 96,500, 21,300, 97,300 y 8,000 manzanas para porcentajes de 3.21%, 0.71%, 3.24% y 0.266% del área total de El Salvador respectivamente. Estos cultivos también generan cantidades apreciables de residuos, que aunados al de los cultivos de caña de azúcar y maíz, incrementarían el potencial energético disponible para uso como fuente energética y además no se convertirían en desperdicios de las cosechas.
6. El cultivo de caña de azúcar se encuentra localizado en cuatro puntos de mayor concentración en todo El Salvador; mientras el cultivo de maíz se encuentra diseminado en todo El Salvador; por lo que para la finalidad de una posible ubicación de un centro de recolección se recomiendan en los puntos de concentración donde se cultiva la caña de azúcar y ahí recolectar los residuos del cultivo de maíz de los lugares periféricos. Según el mapa de uso actual de suelos de El Salvador, los centros de acopio de los residuos podrían localizarse en San Miguel, San Vicente, La Libertad y Sonsonate.
7. Es necesario contar con una legislación ambiental y si existe que se aplique en donde se obligue a los que generan residuos con potencial energético, que los utilicen para tales fines, ya que se ha detectado en este estudio que no existe conocimiento o conciencia

ambiental para hacer un uso integral de los recursos naturales con que contamos. Así se tiene que cantidades apreciables de los residuos de cosechas agrícolas se queman ó desperdician, incrementando así los problemas de contaminación ambiental. Se conoce además que buen número de empresas industriales utilizan derivados del petróleo como combustible para hornos y calderas, estando a disposición excedentes de combustible alternativo como lo son bagazo de caña, cascarilla de café y los mismos residuos agrícolas evaluados en este estudio. Para ello se requiere también de investigaciones orientadas a evaluar la tecnología de construcción de hornos que permitan utilizar eficientemente este tipo de energéticos, en busca de la sustitución del uso de derivados del petróleo.

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Alvarado Rodríguez, H. G. y López Alfaro, K. P. (1995), **"Caracterización de Equipo de Secado de Café Existentes en Beneficios de El Salvador"**. Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
2. Alvarez Sánchez, J. A. (1983), **"Estudios Preliminares de Algunos Productos y Subproductos Agrícolas para la Alimentación Animal"**. Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
3. Archila Chiquillo, L., Guzmán Zaldaña, A. G., y Mejía Velázquez, H. E. (1993), **"Evaluación de la Eficiencia de las Estufas de Fuego Cerrado para Cocción de Alimentos en el Área Rural"**. Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
4. ASTM (1996), **"Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Iso-peribol Bomb Calorimeter"**. Designation: D 3286-96, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
5. Bermúdez, M.A. (1996), **Entrevista Personal**. Departamento de Biometría, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
6. Bonilla, G. (1995), **"Estadística: Elementos de Estadística Descriptiva y Probabilidades"**. Universidad Centroamericana Jose Simeón Cañas, UCA Editores, Segunda Edición, San Salvador, El Salvador.

7. Bonilla, G. (1988), **"Métodos Prácticos de Inferencia Estadística"**. Universidad Centroamericana José Simeon Cañas, UCA Editores, Primera Edición, San Salvador, El Salvador.
8. Cañas de Moreno, F. (1996), **"Marchas para los Análisis Químicos Bromatológicos de los Alimentos Según el Sistema de Van Soest"**. Unidad de Química, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.
9. Cañas Martínez, B. S. (1988), **"Manual para la Formulación y Evaluación de Proyectos Agroindustriales: Teórico-Práctico"**. Talleres de Centro Offset Profesional, San Salvador, El Salvador.
10. Carrasco, J. (s.f.p), **"La Biomasa: Fuente de Energía y Productos para la Agricultura y la Industria"**. -CEIMAT-IER, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España.
11. Castillo Machuca, N.A. (1996), **"Expectativas de Aprovechamiento de Biomasa en Canarias para la Producción de Electricidad por Gasificación"**. Tesis para Optar al Título de Master en Ingeniería Ambiental, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España.
12. Chávez, A.F. (1993), **"Biomasa Como Recurso Energético"**. Curso Técnico-Práctico, Departamento de Ingeniería Química, Universidad José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador.
13. CEL (1988-1995), Serie de **"Balance Energético Nacional"**. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, San Salvador, El Salvador.

14. CEL (1995a), **"Desarrollo del Sistema Eléctrico"**. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa , Subdivisión de proyectos, Gerencia de Planificación y Estudios, San Salvador, El Salvador.
15. Franconier, R. (1975), **"La Caña de Azúcar"**. Editorial Blume, Primera Edición, Barcelona, España.
16. García López, E. (1983), **"Conservación de la Producción Agrícola"**. Editorial AEDOS, Primera Edición, Barcelona, España.
17. Gómez Alvarez, F. (1975), **"Caña de Azúcar"**. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Caracas, Venezuela.
18. González Trabanino, A. M. (1995), **"Cuaderno de Cátedra, Aprovechamiento Industrial de Fuentes Renovables de Energía"**. Ciclo II, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
19. Henríquez, S. M. (1987), **"Evaluación Química de Alimentos Tradicionales Elaborados a Base de Maíz (Zea mays) en El Salvador"**. Trabajo de Graduación para Optar al Título de Ingeniero en Alimentos, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
20. Himmelblau, D. (1986), **" Principios y Cálculos Básicos de Ingeniería Química"**. Editorial Continental, S.A de C.V, Séptima impresión, México
21. Jugenheimer, R. W. (1990), **"Maíz: Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas"**. Noriega Editores, Editorial Limusa, S.A. de C.V., 4ta Reimpresión, México, Distrito Federal.

22. Lardé, G. y Salinas, G. (1993), **"Introducción a las Energías Renovables"**. Curso Técnico-Práctico, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador.
23. Martínez Maltez, J.A. (1971), **"Consideraciones Sobre la Fabricación de Celulosa a Partir de Desechos Agrícolas en El Salvador"**. Trabajo de Graduación para optar al título de Licenciado en Química Industrial, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
24. Meade, G. P. (1967), **"Manual del Azúcar de Caña"**. Editorial Montaner y Simon, Novena Edición, Barcelona, España.
25. MAG-UAP (1991), **"Informe de Coyuntura"**. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Unidad de Análisis Políticas Agropecuarias, San Salvador, El Salvador.
26. MAG-DGEA (1991), **"Estadísticas de Producción de Granos Básicos: Maíz, Maicillo, Frijol, Arroz, 1990-1991"**. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Economía Agropecuaria, División de Estadísticas Agropecuarias, San Salvador, El Salvador.
27. MAG-DGEA (1991a), **"Costos de Producción: Granos Básicos, Productos Tradicionales de Exportación, Hortalizas y otros Productos, (1990-1991)"**. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Economía Agropecuaria, División de Estadísticas Agropecuarias, San Salvador, El Salvador.
28. MAG-DGEA (1990-1991), **"Estadística de Producción de Granos Básicos: Maíz, Maicillo, Frijol, Arroz"**. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Economía Agropecuaria, San Salvador, El Salvador.

29. MAG-UAP (1992), "Hacia una Estrategia Integral de Seguridad Alimentaria en El Salvador". Revista Política Agrícola del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Unidad de Análisis Políticas Agropecuarias, San Salvador, El Salvador.
30. MAG-DGEA (1995), "Anuario de Estadística Agropecuaria 1994/95". Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Economía Agropecuaria, División de Estadísticas Agropecuarias, San Salvador, El Salvador.
31. MAG-DGEA (1996), " Mapa: Uso Actual del Suelo". Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Economía Agropecuaria, San Salvador, El Salvador.
32. Molina, G. (1997), Entrevista Telefónica, Gerencia de Recursos Geotérmicos de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa CEL, San Salvador, El Salvador.
33. Muñoz Vela, M.A. (1977), "Determinación del Calor de Combustión de Desechos Industriales". Trabajo de Graduación para optar al título de Licenciado en Química, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
34. Perry, R. et al (1995), "Manual del Ingeniero Químico". Sexta Edición, Editorial Mc Graw-Hill, México D.F
35. Porta Arqued, A. (1955), "Fabricación del Azúcar". Editorial Salvat, Primera Edición, Barcelona, España..
36. Rico, M. (1974), "Las Nuevas Clasificaciones y los Suelos de El Salvador". Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Editorial Universitaria, Primera Edición, San Salvador, El Salvador.

37. Serrano, J.E. (1983), **"Alternativas de Procesamiento en el Desarrollo de Agro-Industrias en El Salvador"**. Trabajo de Graduación, para Optar al Título de Ingeniero Químico, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
38. Spencer, G. L. (1932), **"Manual de Fabricantes de Azúcar de Caña y Químicos Azucareros"**. Editorial John Wiley, Octava Edición, New York
39. Spiegel, M. R. (1988), **"Probabilidad y Estadística"**. Mc Graw-Hill, Primera Edición en español, México.
40. Spiegel, M.R. (1988a), **"Teoría y Problemas de Probabilidad y Estadística"**. Serie de Compendidos Schaum, Editorial Mc Graw - Hill, Primera Edición en Español, México D.F
41. White, A. (1968), **"Principies of Biochemistry"**. 4ta. Edición. Mc Graw-Hill.

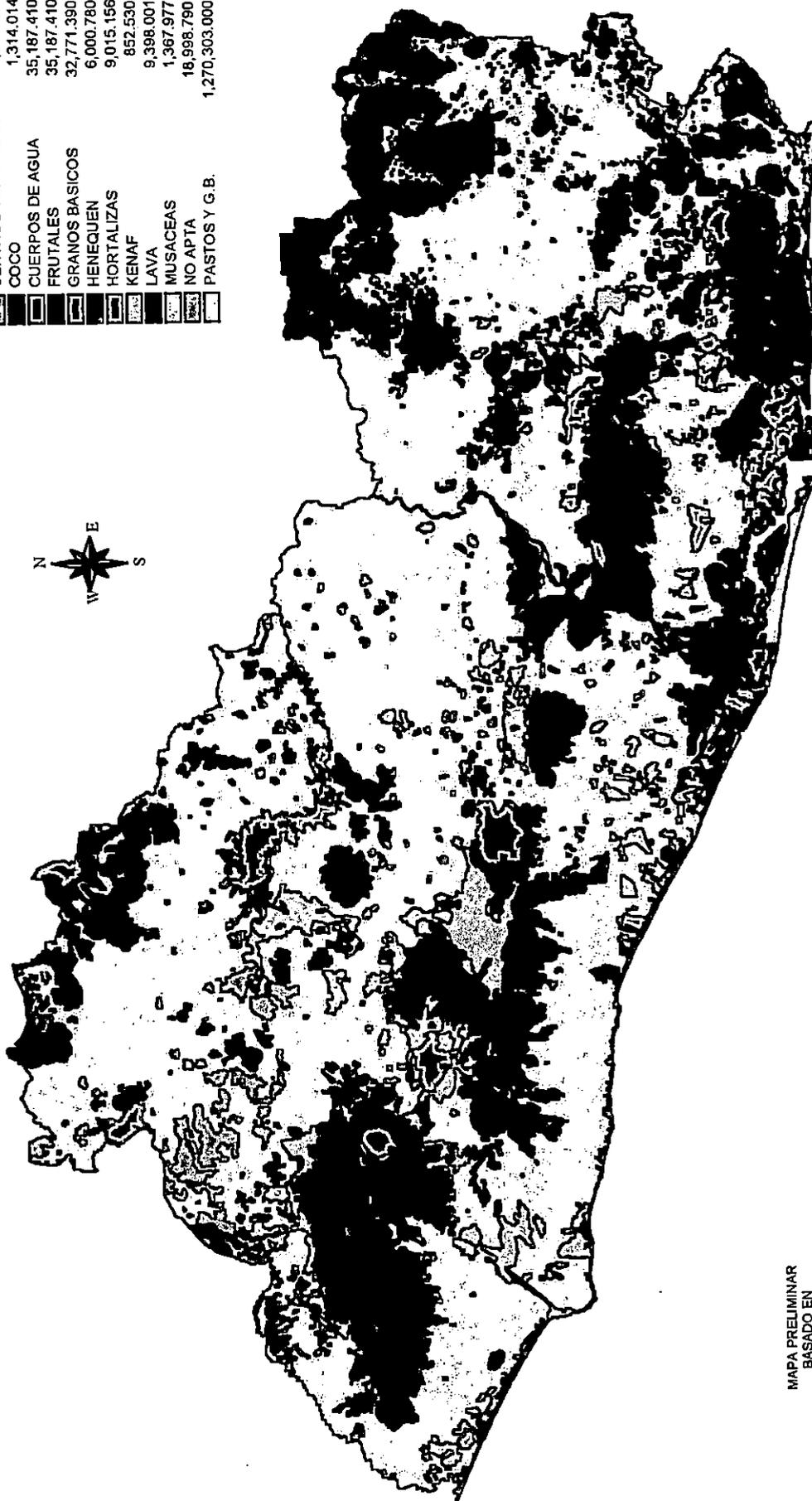
# ANEXOS

**ANEXO I**  
**MAPA DE USO ACTUAL DEL SUELO EN EL SALVADOR**

# USO ACTUAL DEL SUELO

FIGURA I.1

Mapuso	Mapuso	HECTARIAS
0100	AREAS URBANAS	44,217.700
0200	ARROZ	4,887.818
0300	BOSQUES NATURALES	320,441.900
0400	BOSQUES SALADOS	38,344.480
0500	CAFE	195,709.400
0600	CAÑA DE AZUCAR	66,820.480
0700	CENTROS TURISTICOS	4,693.217
0800	COCO	1,314.014
0900	CUERPOS DE AGUA	35,187.410
1000	FRUTALES	35,187.410
1100	GRANOS BASICOS	32,771.390
1200	HENEQUEN	6,000.780
1300	HORTALIZAS	9,015.156
1400	KENAF	852.530
1500	LAVA	9,398.001
1600	MUSACEAS	1,367.977
1700	NO APTA	18,998.790
1800	PASTOS Y G.B.	1,270,303.000



MAPA PRELIMINAR  
BASADO EN  
INFORMACION  
RECOGIDA DEL CAMPO  
Y CUADRANTES IGN 1:50.000.  
AGOSTO 1996

**ANEXO II**  
**ENCUESTA DE PROPOSITOS MULTIPLES PARA LOS CULTIVOS DE CAÑA**  
**DE AZUCAR Y MAIZ EN EL SALVADOR**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**ENCUESTA SOBRE RESIDUOS AGRICOLAS**

INVESTIGACION DE CAMPO PARA LA REALIZACION DEL TRABAJO DE GRADUACION DENOMINADO "EVALUACION DEL POTENCIAL ENERGETICO DE RESIDUOS AGRICOLAS VEGETALES EN EL SALVADOR. PARTE I: RESIDUOS DE CAÑA DE AZUCAR (Saccharum officinarum) Y MAIZ (Zea mays)"

**1.0 UBICACION GEOGRAFICA**

- 1.1 Nombre: \_\_\_\_\_  
 1.2 Región: \_\_\_\_\_  
 1.3 Departamento: \_\_\_\_\_  
 1.4 Municipio o jurisdicción: \_\_\_\_\_  
 1.5 Localidad: \_\_\_\_\_  
 1.6 Topografía del terreno: Accidentado \_\_\_\_\_ Plano \_\_\_\_\_

**2.0 GENERALIDADES SOBRE LOS CULTIVOS**

- 2.1 Marque con una " x " el tipo de cultivo y escriba a la par la variedad de los mismos.
- | CULTIVO                 | VARIEDAD |
|-------------------------|----------|
| a) Maíz _____           | _____    |
| b) Caña de azúcar _____ | _____    |
- 2.2 Indique a la par de cada cultivo el número de cosechas por año que realiza:  
 Maíz: \_\_\_\_\_ Caña de Azúcar: \_\_\_\_\_
- 2.3 Conteste la siguiente pregunta solamente si cultiva caña de azúcar ¿Cuántos cortes lleva? \_\_\_\_\_
- 2.4 ¿ Cuánto tiempo dura la recolección tradicionalmente (meses, semanas, días) para cada cultivo ?  
 Maíz: \_\_\_\_\_ Caña de Azúcar: \_\_\_\_\_
- 2.5 Fecha aproximada de la recolección: \_\_\_\_\_

### 3.0 INFORMACION REFERENTE A LOS RESIDUOS AGRICOLAS.

3.1 Marque con una " x " el residuo agrícola generado y especifique la cantidad del mismo.

Cultivo	Tipo de Residuo	X	Cantidad
Maíz	Hoja y Caña de Maíz		
	Tuza		
	Olote		
Caña de Azúcar	Cogollo de Caña		
	Hojas de Caña		

3.2 Mencione los usos actuales de sus residuos agrícolas y las cantidades estimadas que emplea para cada uno de esos usos.

Cultivo		
Maíz		
Caña de Azúcar		

3.3 ¿ Tiene residuos sobrantes? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿ Cuanto ? \_\_\_\_\_

3.4 ¿ Si tienen sobrantes que hacen con ellos ?

\_\_\_\_\_

3.5 ¿Conoce usted otros posibles usos para los residuos?  
Indique cuales: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3.6 ¿Que ventaja o desventaja le traería el utilizar los residuos agrícolas para fines distintos de los actuales?

- a) Ninguna \_\_\_\_\_
- b) Mayores costos en fertilizantes \_\_\_\_\_
- c) Mayores costos en alimentación animal \_\_\_\_\_
- d) Perdida de suelos y de humedad en estos \_\_\_\_\_
- e) Otros, Explique \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

3.7 ¿Estaría interesado en comercializar sus residuos?  
Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

3.8 ¿Qué dificultad encuentra en el manejo de sus residuos vegetales agrícolas?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### 4.0 ASPECTOS VARIOS.

4.1 ¿Cuál es el principal combustible que utiliza en sus actividades cotidianas (iluminación, cocina, etc.)?  
a) Leña \_\_\_\_\_ b) Gas propano \_\_\_\_\_  
c) Keroseno \_\_\_\_\_ d) Carbón de leña \_\_\_\_\_  
e) Otros, especifique \_\_\_\_\_

4.2 ¿ Tiene acceso a electricidad en la zona ?  
Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4.3 Los caminos a su zona de producción ¿ permiten la entrada de vehículos ?  
Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

4.4 Indique con una " X " los medios de transporte usados por las personas de la zona.  
a) Buses \_\_\_\_\_ b) Pick-ups \_\_\_\_\_  
c) Camiones \_\_\_\_\_ d) Bicicletas \_\_\_\_\_  
e) Otros, especifique \_\_\_\_\_

4.5 ¿Cuáles son los principales problemas que tiene para cultivar?  
a) Falta de insumos agrícolas \_\_\_\_\_  
b) Falta de financiamiento \_\_\_\_\_  
c) Costo de la mano de obra \_\_\_\_\_  
d) Otros, indique cuales \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**ANEXO III**  
**TECNICAS DE MUESTREO ESTADISTICO**

### 3.0 Diseño Estadístico de Muestreo

#### Definiciones

Los diseños muestrales en estadística se definen como los distintos procedimientos que existen para extraer muestras de poblaciones con el objeto de conocer sus características promedio. Es interesante saber como a través del análisis de solo una parte representativa de la población se puede inferir lo que está ocurriendo en toda la población. Antes de seleccionar el diseño muestral más adecuado se definirán algunos conceptos básicos de muestreo, tomados de Bonilla, (1995).

#### 3.1 Conceptos Básicos de Muestreo

*Población* es un agregado de unidades individuales, compuesto de personas o cosas, que se hayan en una temática determinada. Las unidades individuales se llaman unidades elementales. Definir una población es limitar el alcance de las unidades elementales de acuerdo al interés que se tiene respecto a alguna característica de la población. Tanto la definición de una población como la característica a ser observada de sus unidades elementales dependen de la naturaleza del problema. Por ejemplo, si el problema es “camisas para personas adultas de El Salvador” se trata de determinar la cantidad adecuada de producción de camisas de acuerdo con las diversas medidas. La población es todas las personas adultas de El Salvador. La característica de interés son las medidas del cuello de las personas adultas.

Veamos otro ejemplo. La cuota diferenciada para alumnos de la Universidad de El Salvador. El problema a decidir es la asignación de las cuotas a los estudiantes. La población son los ingresos de todos los alumnos (o sus padres) de la Universidad de El Salvador, la característica de interés es el monto de los ingresos de dichos estudiantes.

Las poblaciones pueden ser infinitas o finitas. Una población infinita es la que contiene un número infinitamente grande de unidades elementales; por ejemplo las piezas producidas en proceso productivo; todos los posibles resultados al lanzar una moneda continua e infinitamente.

Una población es finita, cuando tiene un número finito de unidades elementales. Por ejemplo los estudiantes de una determinada universidad; el número de escuelas que existen en una determinada ciudad; el número de árboles de coco sembrados en una determinada parcela; etc.

*La muestra* es una parte de la población, por ejemplo cuando se desea hacer un estudio relativo al rendimiento académico de alumnos de cierta universidad, y se toma solo un grupo de estudiantes de esa universidad. Todos los estudiantes de ella son la población y el grupo escogido constituye la muestra. Es importante hacer notar que para hacer una investigación mediante el análisis de una parte de la población, o sea mediante una muestra, ésta tiene, necesariamente, que ser representativa. La representatividad de la muestra, implica que cada unidad de la población, tiene que tener iguales probabilidades de ser seleccionadas. En estas condiciones se dice que la muestra es *aleatoria*. El obtener una muestra representativa es uno de los componentes más importantes de la teoría estadística. Incluye preguntas como, ¿Qué tan grande debe ser la muestra? ¿Qué tipo de datos deben de ser recolectados? ¿Cómo serán recogidos los datos?

*El muestreo* es el proceso de seleccionar una parte del todo.

*La medición* es la etapa intermedia que consiste en contar, medir y formular preguntas.

*La estimación* es el proceso de hacer soluciones sobre el grupo total, partiendo de la información de la muestra. El muestreo y la estimación conforme el diseño de la muestra.

*El muestreo probanalístico* es un proceso de selección de muestras en el cual los elementos son escogidos por métodos aleatorios. Existen numerosas variaciones en el muestreo probabilístico, pero todas comparten un rasgo común: La selección de las unidades para la muestra se realizan por procedimientos al azar y con probabilidades conocidas.

*El muestreo no probabilístico* incluye todos los métodos en que las unidades elementales de la población no se seleccionan por procedimientos al azar.

*Las listas* son un inventario de unidades de una población o subpoblación, que tiene una correspondencia directa, uno a uno entre cada ítem listado y la unidad que representa. Un ejemplo de una lista son todos los alumnos de una universidad identificados, cada uno por su nombre. Si las unidades de las listas son elementos de población, ésta es una lista de elementos. A veces las unidades de listado pueden ser grupo de elementos ubicados en conglomerados naturales convenientes, identificables y concretos, como por ejemplo los departamentos de un edificio, grupos de escuelas, grupos de fábricas etc. En estos casos, el inventario consiste en una lista de conglomerados.

*Las unidades de muestreo* son aquellos elementos o grupos de elementos que forman la base de una selección de muestras. Pueden o no ser idénticas al listado de las unidades. Cuando se dispone de una lista completa de elementos de la población, en general, es más conveniente extraer una muestra directa de la lista, en cuyo caso el muestreo sería lo mismo que el listado de unidades.

*La estructura de muestreo* está constituida por los materiales y procedimientos utilizados para contabilizar la población cuando no se dispone de una lista completa de elementos. La estructura del muestreo consistirá. En general, de mapas, croquis, listas, fotografías aéreas e instrucciones sobre la forma, como estos elementos deben utilizarse. Se trata básicamente del procedimiento operacional y de los materiales usados para instrumentar la población al diseñar la muestra.

Generalmente hay dos criterios para evaluar un diseño de muestreo: Fiabilidad y efectividad. Es de esperar que en el muestreo haya errores. Un error de muestreo es la diferencia entre estadístico y parámetro, y se mide por su fiabilidad, o por la precisión del muestro, la cual está relacionado con la varianza de la estadística muestral. Cuanto mayor sea la varianza, menos fiabilidad en el resultado de la muestra. El criterio de efectividad está asociado al costo del muestreo. Un diseño de muestreo se considera efectivo, si se obtiene el mismo grado de fiabilidad al menor costo posible.

### **3.2 Diseño de Muestreos Alternativos**

Los diseños de muestreo se dividen en dos grandes grupos: Muestreos aleatorios y muestreos no aleatorios. El muestreo aleatorio se denomina también muestreo probabilístico, ya que se puede emplear las leyes de la probabilidad. El termino muestreo aleatorio se utiliza para el proceso empleado para seleccionar la muestra; por consiguiente, la aleatoridad es una propiedad del procedimiento muestral que puede entrar en un proceso de muestreo de distintas formas, y, por lo tanto, las muestras aleatorias pueden ser de varios tipos.

El muestreo no aleatorio es un proceso de selección muestral sin intervención de la aleatoridad; es decir, una muestra no aleatoria se selecciona de acuerdo al juicio experto del investigador.

### 3.3 Muestreos Aleatorios

#### 3.3.1 Muestreo Aleatorio Simple

El muestreo aleatorio simple es un procedimiento de selección de una muestra por el cual todo y cada uno de los elementos de la población tienen igual probabilidad de ser incluidos en la muestra; entonces, si toda unidad disponible para observación (llamada unidad de muestreo) tienen la misma probabilidad de ser escogida, se sigue que, “toda muestra aleatoria de igual tamaño, tomada de una población dada ha de tener la misma probabilidad de ser tomada.”

¿Cómo escoger una muestra aleatoria simple ? Uno de los métodos más sencillos consiste en numerar todos los elementos de la población, escribir los números en tarjetas o fichas o bolas, poner luego en una caja o bolsa estos objetos numerados y mezclarlos completamente. Se determina entonces, el tamaño  $n$  de la muestra y se sacan los objetos al azar, uno por uno, hasta tener el número deseado de partidas para anotar.

Otro método más técnico y confiable consiste en usar tablas de números aleatorios. En la mayor parte de los libros de estadística aparece este tipo de tablas; sin embargo, uno mismo puede elaborar sus tablas, haciendo uso de una urna con diez bolas, de ping pong por ejemplo, numerarlas del 0 al 9; se sacan las bolas con reemplazamiento y se anotan los números que salgan formando bloques de números con los dígitos que uno desee. El proceso es eminentemente aleatorio ya que cada dígito tiene la misma probabilidad de  $1/10$  de salir. Con un ejemplo ilustraremos el uso de la tabla 1 de números aleatorios.

Supongamos que tenemos una población de tamaño  $N = 100$  y deseamos tomar una muestra de tamaño  $n = 15$ . Lo primero es numerar la población de la siguiente manera: Por ser  $N = 100$  potencia de 10, la numeración de la población queda así: 00 - 01 - 02 - 03 - 04 - 05 - 06 - 07 - 08 - 09 - 10 - 11 - 12 ..... 99. Una vez numerados los elementos de la

población, se toman los primeros dos dígitos de los bloques de números de la tabla, con un comienzo aleatorio. Supongamos que el comienzo fue a partir del tercer bloque y quinta fila, es decir:

58854  
56144  
01148  
78742  
61504  
81933 .....

Los números escogidos -siguiendo hacia abajo- son: 58 - 56 - 78 - 61 - 81 59 - 79 - 07 - 82 - 17 - 22 - 89 - 21 y 70. Obsérvese que después del 22 sigue el 59, el cual no se tomó, porque ya había sido seleccionado.

Supongamos ahora que la población tiene  $N = 825$  elementos de los cuales tomaremos una muestra de  $n = 20$ . Por no ser potencia de 10 el tamaño de la población, y constar de tres cifras, los elementos de la población se numeran así: 001- 002 -003 - 004 - 005 - 006 - 007 - 008 - 009 -010 - 011 - 012 - 013 .... 825. Ya numerados los elementos de la población, se toman de la tabla, números de tres cifras, sin pasar de 825. Supongamos que el comienzo aleatorio es el sexto bloque y la onceava fila; es decir:

58446  
332910  
76159....

Los números seleccionados -siguiendo hacia abajo- son: 584 - 329 - 761 - 386 -001 - 678 - 823 - 772 - 304 - 815 - 489 - 443 - 727 - 196 - 627, y así sucesivamente hasta completar la muestra. Obsérvese que después del número 386 sigue el 904 que no se tomó por ser mayor a 825; lo mismo se hizo con los números 888 - 876, mayores al tamaño de la población.

Vamos a suponer, esta vez, que  $N = 6645$ , y la muestra tomada es  $n = 400$ . Los elementos de la población quedan numerados así: 0001 - 0002 - 0003 - 00004 ..... 3645. Supongamos que el comienzo aleatorio es el octavo bloque y la veintiava fila, es decir:

55627

14812

44428.....

Esta vez los números serán escogidos siguiendo hacia arriba; estos números son: 5562 - 0038 - 0614 - 4524 - 5111 - 0567 - 4990 - 3878- 1391 - 5620 - 5448 - 4570 3050 3738 - 2145. En éste número termina el bloque octavo. Los siguientes números se pueden escoger siguiendo, ya sea en el séptimo o en doceavo bloque de números; si optamos por el séptimo , los números que se siguen seleccionando son: 1228 - 3156 - 5620 - 5893 - 0844 y así sucesivamente, hasta escoger la muestra.

### 3.3.2 Muestreo Sistemático

según el procedimiento sistemático, se obtiene una muestra tomando cada  $k$ -ésima unidad de la población, tras enumerar las unidades elementales de la población o haberlas ordenado de alguna manera. La  $k$  representa un número entero, que es aproximadamente la "razón de muestreo" entre el tamaño de la población  $N$  y el tamaño de la muestra  $n$ ; es decir,  $k = N/n$ . Así la población consta de 3600 unidades de muestreo, y se desea tomar una muestra de tamaño  $n = 400$  unidades, entonces, la razón de muestreo  $k = 3600/400 = 9$ , y la muestra se obtiene tomando una unidad de cada 9 de la población. Para lograr la aleatoriedad, el procedimiento debe de empezar al azar. Así como es nuestro ejemplo  $k = 9$ , se escriben en 9 papelitos numerados del 1 al 9; luego se extrae uno al azar. Supongamos que salió el papelito con el número 5, ésta será la primera unidad que formará la muestra; el siguiente es  $5 + k$  o sea  $5 + 9 = 14$ ; el tercero es  $14 + 9 = 23$  y así sucesivamente, hasta completar los 400 de la muestra.

### 3.3.3 Muestreo Aleatorio Estratificado

El proceso consiste en dividir la población en grupos llamados estratos. Dentro de cada estrato están los elementos situados de manera más homogénea con respecto a las características en estudio. Para cada estrato se toma una submuestra mediante el procedimiento aleatorio simple, y la muestra global se obtiene combinando las submuestras de todos los estratos.

La escogitación de los elementos de cada estrato puede ser proporcional o no.

El muestreo por estrato puede ser más efectivo si se trata de poblaciones heterogéneas. Al hacer la estratificación, las clases se establecen de modo que las unidades de muestreo tienden a ser uniformes dentro de cada clase, y las clases tienden a ser diferentes entre sí.

Si la desviación típica de la característica observada de cada estrato es menor que la de toda la población, como lo es lo usual, debido a la mayor uniformidad dentro del estrato, resultará que la finalidad aumenta para un tamaño de muestra dado o bien la efectividad para un grado de fiabilidad.

El aumento de fiabilidad y efectividad se puede incrementar clasificando todavía más los estratos en subestratos, si ello fuese posible. Por ejemplo, al hacer una encuesta sobre una elección se puede tomar como estratos los partidos políticos. Como las preferencias electorales están influidas a menudo por factores como el sexo, la edad, la profesión, la religión etc., se podrían subdividir los estratos tomando estos factores. Este procedimiento de doble clasificación se llama estratificación *cruzada*. El muestreo por estratos es, por consiguiente, una combinación de submuestras de los estratos.

¿Cómo escoger las unidades elementales de cada estrato?. Se puede hacer de dos maneras: 1. por muestreo aleatorio simple, utilizando tablas de números aleatorios y 2. por muestreo aleatorio sistemático.

### 3.3.4 Muestreo por Conglomerados

Muestreo por conglomerados es lo contrario al muestreo por estratos. Consiste en seleccionar, primero, al azar grupos, llamados conglomerados de elementos individuales de la población, y en tomar luego todos los elementos o una submuestra de ellos dentro de cada conglomerados, para constituir así la muestra global. Para lograr los mejores resultados en el plan de muestreo por conglomerados, las diferencias entre ellos se hacen tan pequeños como sea posible; en tanto que, las diferencias entre los elementos individuales dentro de cada conglomerado se hacen tan grande como sea posible. Lo ideal sería que cada conglomerado fuera una miniatura de toda la población y así un solo conglomerado sería una muestra satisfactoria. Con frecuencia los conglomerados se llaman unidades de muestreo primario. Si todos los elementos o unidades elementales de los conglomerados seleccionados se incluyen en la muestra, el muestreo se llama muestreo de una etapa. Si se saca una submuestra aleatoria de elementos de cada conglomerado seleccionado, se tiene lo que se llama muestreo en dos etapas. Si intervienen más de dos etapas en la obtención de muestra total, se dice que es un muestreo de etapas múltiples o multietápico. Por ejemplo en una encuesta sobre actitudes de los estudiantes de la Universidad de El Salvador, se toman como conglomerados las distintas facultades (que constituyen unidades de muestreo primarias). Esta es la primera etapa. La segunda etapa podría ser la selección de departamentos dentro de la facultad. Por último, en la tercera etapa, se toman estudiantes de todos los departamentos seleccionados para constituir la muestra global. Desde luego, los métodos de muestreo se emplean en cada etapa.

La ventaja principal del muestreo por conglomerados es la gran reducción de costos para un grado dado de fiabilidad.

### **3.4 Muestreo No Aleatorio**

#### **3.4.1 Muestreo Dirigido**

este tipo de muestreo también recibe el nombre de muestreo adaptado y consiste en seleccionar las unidades elementales de la población según el juicio de los encuestadores quienes creen que las unidades seleccionadas gozan de despreciabilidad. En el muestreo dirigido la probabilidad de que una unidad elemental sea elegida, es desconocida; en consecuencia, no se puede construir intervalos de confianza; sino que solo se pueden hacer estimaciones puntuales. Tampoco se pueden aplicar los principios de la teoría del muestreo. Sin embargo muchas situaciones, resulta más ventajoso echar mano del muestreo dirigido que de cualquier tipo de muestreo aleatorio. La selección aleatoria simple puede perder los elementos más importantes, mientras que el muestro dirigido con seguridad las incluirá en la muestra. Un estudio de bebidas en el país sería dudoso, si no toma en cuenta “La Constancia y la Embotelladora Tropical.”

El muestreo dirigido bien manejado puede ser de utilidad práctica para resolver problemas comerciales cotidianos y para tomar decisiones de política pública.

Cuando queremos estudiar algunas particularidades desconocidas de una población , algunas de cuyas características conocemos, podemos estratificar esa población de acuerdo con esas propiedades conocidas y seleccionar las unidades muestrales de cada estrato, basándonos en el juicio personal. Es aconsejable usar el muestreo dirigido para realizar estudios pilotos o de sondeo. La confiabilidad de los conocimientos o del juicio del investigador.

### **3.4.2 Muestreo Deliberado**

Consiste en tomar un segmento o fracción de la población por su cómoda accesibilidad. Por ejemplo, una muestra obtenida de las listas fácilmente disponibles, como las guías de teléfonos, constituye una muestra deliberada. Por la comodidad o facilidad en tomar la muestra se sacrifica cierto grado de representatividad de las características poblacionales; sin embargo, este tipo de muestreo puede ser de alguna utilidad para estudios pilotos o de sondeo.

**CUADRO III.1**  
**NÚMEROS ALEATORIOS PARA SELECCIONAR UNA MUESTRA DE UNA POBLACION PARA**  
**SER ENCUESTADA**

55034	81217	90564	81943	11241	84512	12288	89862	00760	76159
25521	99536	43233	48786	49221	06960	31564	21458	88199	06312
85421	72744	97242	66383	00132	05661	96442	57671	57671	27916
61219	48390	47344	30413	39392	91365	56203	05330	05330	31196
20230	03147	58854	11650	28415	12821	58931	65989	65989	26675
95776	83206	56144	55953	89787	64426	08448	45707	80364	60262
07603	17344	01148	83300	96955	65027	31713	89013	79557	49755
00645	17459	78742	39005	36027	98807	72666	72666	68262	38827
62950	83162	61504	31557	80590	47893	72360	72360	08396	33674
79350	10276	81933	26347	08068	67816	06659	06659	74166	85519
48339	69834	59047	82175	92010	58446	69591	56205	95700	86211
05842	08439	79839	50957	32059	32910	15842	13918	41365	80115
25855	02209	07307	59942	71389	76389	11263	38787	61541	22606
25272	16152	82323	70718	98081	38631	91956	49909	76253	33970
73003	29058	17605	49298	47675	90445	68919	05676	23823	84892
81310	94430	22663	96584	38142	00146	17496	51115	61458	65790
10024	44713	59832	80721	63711	67882	25100	45245	55743	67618
84671	52806	89124	37691	20897	82339	22627	06142	05773	03547
29296	58162	21858	33732	94056	88806	54603	00384	66340	69232
51771	94074	70630	41286	90583	87680	13661	55627	23670	35109
42166	56251	60770	51672	36031	77273	85218	14812	90758	23677
78355	67041	22492	51522	31164	30450	27600	44428	96380	26772
09552	51347	33864	89018	73418	81538	77399	30448	97740	18158
15771	63127	34847	05660	06156	48970	55699	61818	91763	20821
13231	99058	93754	36730	44286	44326	15729	37500	47269	13333

PASA.....

## CONTINUACION DE CUADRO III.1

50583	03570	38472	73236	67613	72780	78174	18718	99092	64114
99485	57330	10634	74905	90671	19643	69903	60950	17968	37217
54676	39524	73785	48864	69835	62798	65205	69187	05572	74741
99343	71549	10248	76036	31702	76868	88909	69574	27642	00336
35492	40231	34868	55356	12847	68093	52643	32732	67016	46784
98170	25384	03841	23920	47954	10359	70114	11177	63298	99903
02670	86165	56860	02592	01646	42200	79950	37764	18234	71952
36934	42879	81637	79952	07066	41625	96804	92388	88860	68580
56851	12778	24309	73660	84264	24668	16686	02239	66022	64133
05464	28892	14271	23778	88599	33884	33884	88783	39015	57118
15025	20237	63386	71122	06620	07415	94982	32324	79427	70387
95610	08030	81469	91066	88857	56583	01224	28097	19726	71465
09026	40378	05731	55128	74298	49196	31669	42605	30368	96424
81431	99955	52462	67667	97322	69808	21240	65921	12629	92896
21431	59335	58627	94822	65484	09641	41018	85100	16110	32077

Compilada de Rand Corporation, A million random digits with 100.000 normal deviates.

The Free Press. Glencoe, Ill., 1995.

## 2.5 Cuadros Estadísticos

**CUADRO III.2**  
**CUADRO DE DISTRIBUCION t DE STUDENT**

GI	Numero de promedio de tratamiento																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5 .05	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17	7.32	7.47	7.60	7.73	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21
.01	3.70	6.57	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24	10.46	10.70	10.85	11.08	11.24	11.40	11.55	11.65	11.81	11.53
6 .05	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.98	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.43	7.51	7.59
.01	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.63	8.87	9.10	9.30	9.49	9.65	9.87	9.95	10.08	10.27	10.32	10.43	10.54
7 .05	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30	6.45	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.09	7.17
.01	4.95	5.92	6.54	7.07	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55	8.71	8.86	9.00	9.12	9.24	9.35	9.46	9.55	9.65
8 .05	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.80	6.87
.01	4.74	5.63	6.20	6.63	6.95	7.24	7.47	7.68	7.87	8.03	8.18	8.31	8.44	8.55	8.66	8.76	8.85	8.94	9.03
9 .05	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87	5.96	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64
.01	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.32	7.49	7.65	7.78	7.91	8.03	8.13	8.23	8.32	8.41	8.49	8.57
10 .05	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11	6.20	6.27	6.34	6.40	6.47
.01	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21	7.36	7.48	7.60	7.71	7.81	7.91	7.99	8.07	8.15	8.22
11 .05	3.10	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61	5.71	5.81	5.90	5.99	6.06	6.14	6.20	6.26	6.33
.01	4.39	5.14	5.62	5.97	6.25	6.48	6.57	6.84	6.99	7.13	7.25	7.36	7.46	7.56	7.65	7.73	7.81	7.88	7.95
12 .05	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51	5.62	5.71	5.80	5.88	5.95	6.03	6.09	6.15	6.21
.01	4.32	5.04	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81	6.94	7.06	7.17	7.26	7.36	7.44	7.52	7.59	7.66	7.73
13 .05	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	6.00	6.05	6.11
.01	4.26	4.96	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67	6.29	6.90	7.01	7.10	7.19	7.27	7.34	7.42	7.48	7.55
14 .05	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.72	5.79	5.85	5.92	5.97	6.03
.01	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54	6.66	6.77	6.87	6.95	7.05	7.12	7.20	7.2	7.33	7.39
15 .05	3.01	3.67	4.08	4.37	4.60	4.78	4.94	5.06	5.20	5.31	5.40	5.49	5.58	5.65	5.72	5.79	5.85	5.90	5.96
.01	4.13	4.83	5.25	5.56	5.88	5.99	6.16	6.31	6.44	6.55	6.55	6.75	6.84	6.93	7.00	7.07	7.14	7.20	7.26
16 .05	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.72	5.79	5.84	5.90
.01	4.13	4.78	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35	6.46	6.56	6.66	6.74	6.83	6.90	6.97	7.03	7.09	7.15
17 .05	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.71	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.55	5.61	5.68	5.74	5.79	5.84
.01	4.10	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27	6.38	6.48	6.57	6.66	6.73	6.90	6.87	6.94	7.00	7.05
18 .05	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.36	5.45	5.50	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79
.01	4.07	4.70	5.09	5.38	5.60	5.79	5.94	6.00	6.20	6.31	6.41	6.50	6.58	6.65	6.72	6.79	6.85	6.91	6.96

Continuación CUADRO III.2

GI	Numero de promedio de tratamiento																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
19 .05	2.96	3.59	3.90	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.32	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.70	5.75
.01	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14	6.25	6.34	6.43	6.51	6.58	6.65	6.72	6.78	6.84	6.89
20 .05	2.95	3.58	3.96	4.25	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01	5.11	5.20	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71
.01	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09	6.19	6.29	6.37	6.45	6.52	6.59	6.65	6.71	6.76	6.82
24 .05	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.10	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.50	5.54	5.59
.01	3.96	4.54	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92	6.02	6.11	6.19	6.26	6.33	6.39	6.45	6.51	6.56	6.61
30 .05	2.89	3.49	3.84	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.83	4.92	5.00	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.48
.01	3.89	4.45	4.80	5.05	5.24	5.40	5.54	5.65	5.76	5.85	5.93	6.01	6.08	6.14	6.20	6.26	6.31	6.36	6.41
40 .05	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.74	4.82	4.91	4.98	5.05	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36
.01	3.82	4.37	4.70	4.93	5.11	5.27	5.39	5.50	5.60	5.69	5.77	5.84	5.90	5.96	6.02	6.07	6.12	6.17	6.21
60 .05	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73	4.81	4.88	4.94	5.00	5.06	5.11	5.16	5.20	5.24
.01	3.76	4.28	4.60	4.82	4.99	5.13	5.25	5.36	5.45	5.53	5.60	5.67	5.73	5.79	5.84	5.89	5.93	5.98	6.02
120 .05	2.80	3.36	3.69	3.92	4.10	4.24	4.36	4.48	4.56	4.64	4.72	4.78	4.84	4.90	4.95	5.00	5.05	5.09	5.143
.01	3.70	4.20	4.50	4.71	4.87	5.01	5.12	5.21	5.30	5.38	5.44	5.51	5.56	5.61	5.66	5.71	5.75	5.79	5.83

Esta tabla es un extracto de la tabla 29 BIOMETIA FOR STATISTICIAMS, Vol. I, Cambridge University Press, 1954.

**CUADRO III.3**  
**FACTOR DE PROBABILIDAD Z PARA DISTRIBUCION NORMAL**

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3986	0.3984	0.3982	0.3980	0.3977	0.3973
0.1	0.3970	0.3965	0.3961	0.3956	0.3951	0.3945	0.3939	0.3932	0.3925	0.3918
0.2	0.3910	0.3902	0.3894	0.3885	0.3876	0.3867	0.3857	0.3847	0.3836	0.3825
0.3	0.3814	0.3802	0.3790	0.3778	0.3765	0.3752	0.3739	0.3725	0.3712	0.3697
0.4	0.3683	0.3668	0.3653	0.3637	0.3621	0.3605	0.3589	0.3572	0.3555	0.3538
0.5	0.3521	0.3503	0.3485	0.3467	0.3448	0.3420	0.3410	0.3391	0.3372	0.3352
0.6	0.3332	0.3312	0.3295	0.3271	0.3251	0.3230	0.3209	0.3187	0.3166	0.3111
0.7	0.3123	0.3101	0.3079	0.3056	0.3034	0.3011	0.2989	0.2966	0.2913	0.2920
0.8	0.2897	0.2874	0.2850	0.2827	0.2803	0.2780	0.2756	0.2732	0.2709	0.2685
0.9	0.2661	0.2637	0.2613	0.2589	0.2565	0.2541	0.2516	0.2192	0.2468	0.2411
1.0	0.2420	0.2396	0.2371	0.2347	0.2323	0.2299	0.2275	0.2251	0.2227	0.2203
1.1	0.2179	0.2155	0.2131	0.2107	0.2083	0.2059	0.2036	0.2012	0.1989	0.1965
1.2	0.1942	0.1919	0.1895	0.1872	0.1849	0.1826	0.1804	0.1781	0.1758	0.1736
1.3	0.1714	0.1691	0.1669	0.1647	0.1626	0.1604	0.1582	0.1561	0.1539	0.1518
1.4	0.1497	0.1476	0.1456	0.1435	0.1415	0.1394	0.1374	0.1354	0.1334	0.1315
1.5	0.1295	0.1276	0.1257	0.1238	0.1219	0.1200	0.1182	0.1163	0.1145	0.1127
1.6	0.1109	0.1092	0.1074	0.1057	0.1040	0.1023	0.1006	0.0989	0.0973	0.0957
1.7	0.0940	0.0925	0.0909	0.0893	0.0878	0.0863	0.0818	0.0833	0.0818	0.0801
1.8	0.0790	0.0775	0.0761	0.0748	0.0734	0.0721	0.0707	0.0694	0.0681	0.0669
1.9	0.0656	0.0644	0.0632	0.0620	0.0608	0.0596	0.0581	0.0573	0.0562	0.0551
2.0	0.0540	0.0529	0.0519	0.0508	0.0498	0.0488	0.0478	0.0468	0.0459	0.0449
2.1	0.0440	0.0431	0.0422	0.0413	0.0404	0.0396	0.0387	0.0379	0.0371	0.0363
2.2	0.0355	0.0347	0.0339	0.0332	0.0325	0.0317	0.0310	0.0303	0.0297	0.0290
2.3	0.0283	0.0277	0.0270	0.0261	0.0258	0.0252	0.0246	0.0211	0.0235	0.0229
2.4	0.0224	0.0219	0.0213	0.0208	0.0203	0.0198	0.0194	0.0189	0.0184	0.0180
2.5	0.0175	0.0171	0.0167	0.0163	0.0158	0.0154	0.0151	0.0147	0.0143	0.0139
2.6	0.0136	0.0132	0.0129	0.0126	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110	0.0107
2.7	0.0104	0.0101	0.0099	0.0096	0.0093	0.0091	0.0088	0.0086	0.0084	0.0081
2.8	0.0079	0.0077	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0067	0.0065	0.0063	0.0061
2.9	0.0060	0.0058	0.0056	0.0055	0.0053	0.0051	0.0050	0.0048	0.0047	0.0046
3.0	0.0044	0.0043	0.0042	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036	0.0035	0.0034
3.1	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026	0.0025	0.0025
3.2	0.0024	0.0023	0.0022	0.0022	0.0021	0.0020	0.0020	0.0019	0.0018	0.0018
3.3	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014	0.0013	0.0013
3.4	0.0012	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010	0.0010	0.0009	0.0009
3.5	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0006
3.6	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004
3.7	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
3.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
3.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001

**ANEXO IV**  
**ALMACENAMIENTO DE RASTROJOS DE CAÑA DE AZUCAR Y MAIZ**

#### **4.0 ALMACENAMIENTOS DE RASTROJOS DE CULTIVOS DE MAÍZ Y CAÑA DE AZÚCAR**

Por su naturaleza orgánica, los productos agrícolas son irremisiblemente perecederos. Los procesos que intervienen en su destrucción pueden considerarse perfectamente normales y forman parte del conjunto de fenómenos biológicos que rigen el orden y equilibrio del mundo vivo.

Emilio García López, en su estudio sobre la "Conservación de la producción agrícola", plantea una serie de factores responsable del deterioro de las cosechas de origen agrícola y recomienda los métodos más adecuados para la conservación de éstos productos, aplicándose estos métodos de igual manera a la conservación de rastrojos de cosechas. Estos métodos se describen en la sección 4.1 a la 4.2

##### **4.1 Factores Responsables del Deterioro Post-Cosechas**

La putrefacción, último escalón en el proceso de deterioro de cualquier producto, no es más que un estado de intensa actividad biológica, en la que los seres más rudimentarios de la naturaleza celebran la victoria conseguida sobre los organismos superiores en la lucha por los alimentos. Ya sean grandes o pequeños, los organismos vivos que intervienen en el deterioro de las cosechas necesitan para su metabolismo dos elementos indispensables, oxígeno y agua, que determinan inexorablemente los requisitos básicos para que pueda existir la vida en una planta cualquiera.

Factores que intervienen directa o indirectamente, en el deterioro de los alimentos y forrajes:

**a. Oxígeno**

Es en su forma gaseosa como componente del aire (20%), o disuelto en el agua, que interviene en la respiración y en la oxidación y putrefacción de los productos agrícolas. Así por ejemplo, por debajo del 2% en volumen, la mayoría de insectos no pueden vivir, y con menos del 0.2% ni los hongos pueden proliferar.

**b. Agua**

Por debajo del 15% de humedad difícilmente se deterioran los cereales y pastos almacenados si se toman las mínimas precauciones generales necesarias; con menos del 12% de humedad y con granos o pastos bien secos la conservación es perfecta.

**c. Contenido Hídrico y Temperatura**

El contenido hídrico y la temperatura, son dos valores que no pueden separarse por separado al estudiar el fenómeno del desarrollo de calor en la masa de grano o pasto almacenado. Efectivamente cuanto más alta sea la temperatura ambiente y más elevado el contenido de humedad del pasto o grano, mayor será el peligro de desencadenar la alteración del producto. Así, por ejemplo, a 10 °C de temperatura puede tolerarse un grado de humedad del 18%, a los 20 °C el margen de humedad permisible no llega al 15%, y por encima de los 40 °C se necesitaría reducir la humedad del grano al 12%.

#### **d. Hongos y Mohos**

Otros responsables de la alteración de los productos vegetales son los hongos, plantas de estructuras muy simple, desprovistas de clorofila y especializada en la vida parasitaria. Por su falta de clorofila no son capaces de asimilar el carbono del anhídrido carbónico atmosférico y lo captan de los otros vegetales; esta deficiencia respecto a las plantas superiores les evita la dependencia de la luz, elemento indispensable para la función clorofílica, lo que las hace peligrosas para los productos almacenados.

#### **e. Insectos**

Entre los enemigos animales de las cosechas y forrajes, los insectos ocupan el primer lugar. Su resistencia es de sobra conocida, así como su prolífica reproducción, por lo que deberán extremarse las precauciones para combatirlos eficazmente. Las larvas de los insectos comen vorazmente, por lo que puede ser la más peligrosa para el agricultor si sus hábitos de vida están hacia el consumo de los productos de sus cosechas.

### **4.2 Almacenamiento de los Residuos de Cosechas Caña de Azúcar y Maíz**

Las muestras de residuos de los cultivos de caña de azúcar y maíz se les dió un tratamiento de almacenamiento y secado al aire libre durante 4 semanas, para lograr en este proceso hacer descender el contenido acuoso del forraje hasta los límites necesarios para hacer posible su conservación; el sistema es sencillo porque se efectúa bajo la simple acción del sol y del aire, aunque no todas las especies vegetales admiten este tratamiento; prácticamente queda limitado a los pastos y plantas forrajeras con contenido bajo de humedad y alto en fibra bruta. Este tipo de desecación se hace al aire libre, y debe conseguirse un contenido de humedad de 15-29%, solamente.

**ANEXO V****MARCHAS DE ANÁLISIS FÍSICOS, QUÍMICOS Y FÍSICOQUÍMICOS**

## **5.0 MARCHAS DE ANALISIS FISICOS, QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS APLICADOS A RESIDUOS DE MAIZ Y CAÑA DE AZUCAR**

Con los análisis químicos que se describen en este anexo, se pretende determinar el poder calorífico neto real, que contienen los residuos de las cosechas de caña de azúcar y maíz, esto es en cuanto a los análisis químicos; por otra parte con la densificación de estos rastrojos (prueba física) se trata de visualizar el espacio que ocuparán los residuos en estudio durante su almacenamiento.

### **5.1 Prueba de Densificación para Residuos de Maíz y Caña de Azúcar**

La densificación de los residuos se hará de una manera sencilla, la cual permitirá conocer la relación masa/volumen de estos en función de una presión determinada.

#### **5.1.1 Equipo.**

- a. Prensa hidráulica con manómetro incorporado
- b. Tubo de metal con fondo cerrado y embolo
- c. Tijeras de Jardinería
- d. Balanza Granataria

#### **5.1.2 Procedimiento.**

- a. Reducir la muestra a un tamaño menor de 8 pulgadas
- b. Pesar la muestra (m)

- c. Colocar la muestra dentro del tubo medidor de volumen y determinar el volumen inicial ocupado por la muestra ( $v_1$ )
- d. Colocar el embolo sobre la muestra
- e. Colocar el tubo con la muestra y embolo en la prensa hidráulica y aplicarle un gradiente de presión de 1 Kklogramo masa por centímetro cuadrado  $\text{Kg/cm}^2$  . Anote el nivel que la muestra alcanza a medida que se le aplica el gradiente de presión hasta que alcance un volumen constante ( $v_2$ ).
- f. Con ls datos de  $m$ ,  $v_1$  y  $v_2$  determinar  $D_i = m/v_1$  y  $D_f = m/v_2$ ; donde  $D_i$  y  $D_f$  es la densidad inicial y final respectivamente

**5.2 Marchas para los Análisis Químico Bromatológico de los Alimentos Aplicados a Residuos de Matz y Caña de Azúcar Según el Sistema de Van Soest (Cañas de Moreno, F. (1996) Unidad de Química, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador)**

Como un comentario, el sistema Weende no separa correctamente las fracciones digeribles e indigeribles de los hidratos de carbono al valorar los contenidos del alimento en fibra bruta y materias extractivas libres de nitrógeno. La razón fundamental de este error se debe a que la lignina es valorada como material extractivo libre de nitrógeno y, como es sabido, es una sustancia hidrocarbonada totalmente indigerible. Debido a este hecho, la digeribilidad de la fibra bruta de los forrajes resulta a veces tener un valor igual, incluso ligeramente superior, al de los materiales libres de nitrógeno.

En el método o por Van Soest (1963) se intenta separar estas dos fracciones mediante el uso de dos tipos de detergentes: uno en medio neutro, el sulfato de lauril sódico, y otro en medio ácido, el bromuro de cetil trimetil amonio. Distintas fracciones glucificas de los alimentos de origen vegetal (cuadro V.1). En estos apuntes nos

centraremos únicamente en el método de Van Soest, que es el que mayor aceptación y difusión ha tenido hasta el momento.

#### **a) Fibra Neutro Detergente (FND)**

El tratamiento del material vegetal con sulfato de lauril sódico disuelve el contenido celular y deja como residuo insoluble la fracción FND, que contiene los componentes de la pared celular a excepción de las pectinas.

Se puede considerar a la fibra neutro detergente como un estimador del contenido de la pared celular.

#### **b) Técnica Original (Van Soest y Wine, 1967).**

La técnica que a continuación se describe corresponde a la propuesta originalmente por Van Soest y Wine (1967) con la excepción de que la solución neutro detergente no se incluye decalina ni sulfito sódico.

La no adición de decalina (antiespumante) se debe a que estudios posteriores realizados por Van Soest (1973) han demostrado que origina un incremento del valor real de la fibra, a la vez que dificulta el proceso de filtrado.

El sulfito sódico también se incluía en la técnica original con el objeto de poder romper los enlaces disulfuro de las proteínas, facilitando así su solubilización. Sin embargo, su inclusión produce pérdidas de lignina (Hartley, 1972), por lo que recientemente Robertson y Van Soest (1981) han sugerido la no inclusión de esta sal en la solución neutro detergente.

**CUADRO V.1**  
**APLICACIONES DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS**

<b>Localización</b>	<b>Denominación</b>	
Contenido celular	azúcares libres	Glucosa fructosa sacarosa galactosa
	Polisacaridos de reserva	almidón fructosanas
	Heteropolisacaridos	Hemicelulosa Pectinas Gomas Mucilagos
Pared celular	β - polímeros de glucosa	Celulosa
	No glúcidos	Lignina Cistina

FF.CCAA.-UES (1997)

Esta técnica es aplicable a forrajes y subproductos agrícolas, excepto aquellos que puedan contener una elevada cantidad de almidón, de pectinas o de taninos (Matz forrajero, girasol forrajero, subproductos de molinería, pulpa de remolacha, pulpa de cítricos, etc.).

**c) Técnica Modificada (Robertson y Van Soest, 1977)**

Esta técnica es aplicable a los alimentos concentrados en general y a los forrajes y subproductos agrícolas con elevado contenido en almidón, pectinas o taninos. No obstante para aquellos alimentos ricos en pectinas es más recomendable emplear la técnica de Giger et al (1981), mediante la cual la muestra es sometida a una hidrólisis previa con lo que se facilita la solubilización de estos compuestos pépticos.

La dificultad más frecuente que aparece en el curso de la determinación de la fibra neutro detergente es el proceso de filtración, debido a las concentraciones de almidón, mucilagos y gomas que pueden superar la capacidad solubilizante de la solución neutro detergente. Este problema se agrava como es lógico para los alimentos anteriormente mencionados. Para resolver este problema se puede realizar un tratamiento de la muestra previo a la extracción (Baker, 1977; Mc Queen y Nicholson, 1979; Giger et al, 1981) o bien durante la extracción con la solución detergente (Robertson y Van Soest, 1981). Los distintos tratamientos consisten en una hidrólisis enzimática, siendo el tipo de enzima y su concentración lo que difiere de unos métodos a otros.

#### **d) Fibra Ácido Detergente (FAD)**

Van Soest (1965) define la fibra ácido detergente como el residuo que queda después de tratar una muestra de alimento con una solución de bromuro de cetil trimetil amonio en ácido sulfúrico 1N . Este residuo corresponde a una fracción de lignocelulosa, minerales, algunas hemicelulosas, pectinas y taninos.

Al analizar el nitrógeno Kjeldahl sobre el residuo de fibra ácido detergente se puede determinar la proteína formada como productos de Maillard y como complejos de proteína-taninos. Los productos de maillard se forman por la reacción entre hidratos de carbono y proteínas, durante el proceso de desecado en la estufa.

#### **e) Lignina Sulfúrico**

La lignina sulfúrico, también denominada lignina ácido detergente (LAD) o lignina Klason, se determina según la técnica propuesta por Robertson y Van Soest (1971).

Al tratar el residuo de fibra ácido detergente con ácido sulfúrico al 72% se disuelve la celulosa y la cutina y deja como residuo la lignina con productos de Maillard y cenizas.

A manera de comentario restando de la lignina sulfúrico así determinada, el valor de la proteína bruta ( $n \times 6.25$ ) del residuo de FAD que comentamos en el apartado anterior, se estimaría un valor más correcto de la lignina sulfúrico. A este valor de la proteína bruta del residuo de FAD se le suele denominar como "lignina artificial".

En aquellos alimentos que contienen una elevada cantidad de cutina (orujo de uva, orujo de aceituna, etc.) puede ocurrir que la solución de ácido sulfúrico al 72% no la disuelva, quedando como residuo y por lo tanto se sobrestima el valor de la LAD. Para poder evitar este problema se puede restar del valor obtenido, el contenido en cutina, el cual se determina con la técnica que describe en la sección 4.1.6.

#### **f) Lignina Permanganato y Sílice**

Una solución saturada de permanganato potásico solubiliza la lignina contenida en el residuo FAD, quedando como productos insolubles la celulosa, cutina y sílice.

##### **f.1) Sílice**

Si el peso de las "cenizas" residuales fuese superior al 1% de la materia seca de la muestra, es muy posible que fuera debido a la presencia de sílice en la misma y resulta totalmente necesario su determinación.

## f.2) Hemicelulosa

Como anteriormente se expuso en la sección a), la FND disuelve las pectinas y los taninos mientras que la FAD retiene parte de las pectinas, taninos y Hemicelulosa. Por tanto, un estimado del contenido de Hemicelulosa se obtiene por diferencia entre los valores de FND Y FAD

Una estimación del contenido en Hemicelulosa más correcta puede lograrse mediante el análisis secuencial recomendado por Bailey y Ulyatt (1970) que disuelve taninos (Robbins et al, 1975) y sílice (FF.CC.AA.-UES, 1996)

La marcha para los análisis bromatológicos para el tratamiento de residuos de cosechas de caña de azúcar y maíz se incluyen en la sección 5.2.1

### 5.2.1 Marchas para Realizar los Análisis Aplicados a Muestras de Residuos de Maíz y Caña de Azúcar

#### 5.2.1.1 Fibra Neutro Detergente (FND). Van Soest y Weende 1967

##### A. Solución Neutro Detergente

###### *I Reactivos*

a. Sulfato lauril sódico ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$ ).....	30.0 gr
b. EDTA, Sal sódica dihidratada ( $\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).....	18.6 gr
c. Borato Sódico ( $\text{NaB}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).....	6.8 gr
d. Fosfato disódico ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ).....	4.6 gr
e. 2 - Etoxietanol [etilenglicol] ( $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$ ).....	10.0 ml
d. Agua destilada ( $\text{H}_2\text{O}$ ).....	1.0 L

Se disuelve en agua caliente y en distintos Beakers

- a1. El EDTA y el Borato sódico
- b1. El sulfato lauril sódico añadiendo al 2 - etoxietanol levemente con el fin de que se reduzca la formación de espuma.
- c1. El fosfato disódico

Mezclar las soluciones a1, b1 y c1 en un balón y aforar hasta 1000 ml, ayudándose con lavados de H<sub>2</sub>O y aforar a 1 L; comprobar al día siguiente de preparada la solución, el pH debe ser 6.9 - 7.1 . Ajustar pH con solución de NaOH o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

## B. Acetona

### *1 Procedimiento.*

- a. Pesar en balanza analítica 1 gramo de muestra previamente molida a través de un molino wiley milley, que contenga tamiz de acero inoxidable de un mm de diámetro, colocar en beaker Berzelius.
- b. Añadir 100 ml de solución neutro detergente, calentar en el aparato hasta ebullición durante 5 - 6 minutos. Evitar la excesiva formación de espuma. Ajustar el calor para que la ebullición sea suave y continuar calentando durante 1 hora desde su iniciación.
- c. Retirar el beaker del calor y verter el contenido en un crisol de vidrio, provisto de placa filtrante de porosidad entre 90 y 150 micras.
- d. Conectar previamente el crisol a un frasco kitazato para realizar la filtración al vacío.
- e. Tener cuidado al agregar la muestra, al crisol filtrante (solo ponerle 3/4 partes de su capacidad y no agregar con el vacío conectado).

- f. Lavar con agua destilada caliente (90 a 100°C)
- g. Agregar sobre el residuo Acetona ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CO) ( ± 10 ml) y filtrar hasta que el residuo este seco.
- h. Repetir varias veces esta última operación hasta que la Acetona este totalmente incolora
- i. Secar en estufa los crisoles a una temperatura de 103 °C durante toda la noche
- j. Enfriar en un desecador durante media hora, anotar el peso como “crisol + fibra “
- k. Calcinar en horno de muffle a 500 °C durante 3 horas; enfriar en desecador, pesar, anotar el peso como “ crisol + cenizas ”

## II Cálculos:

$$\text{Ec) V.1} \quad \% \text{ FND} = \frac{(\text{crisol} + \text{fibra}) - (\text{crisol.vacio})}{\text{peso.muestra.(gr)}} * 100$$

$$\text{Ec) V.2} \quad \% \text{ FND (libre de ceniza)} = \frac{(\text{crisol} + \text{fibra}) - (\text{crisol} + \text{cenizas})}{\text{peso.muestra.(gr)}} * 100$$

### 5.2.1.2 Fibra Ácido Detergente (FAD)

#### *I Reactivos*

#### **A. Solución Ácido Detergente**

- a. Preparar 1 litro de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1 N; medir 51.08 ml de ácido sulfúrico, concentrado, densidad 1.84 y pureza 96%, aforar a 1 L con agua destilada; llevando a volumen de 1000 ml.
  
- b. En un frasco de más de 1 litro poner el ácido sulfúrico 1 N y agregar 20 gr de bromuro cetil trimetil amonio. Agitar

#### **B. ACETONA R. A.**

#### *II Procedimiento:*

- a. Pesar un gramo de muestra molida en molino wiley que tenga un tamiz de 1 mm de diámetro y colocarlo en un beaker Berzelius.
- b. Añadir 100 ml de solución ácido detergente, calentar en el aparato digestor hasta ebullición ( 5 - 6 minutos ), continuar calentando durante 1 hora a temperatura suave. Tomar en cuenta los primeros minutos de ebullición.
- c. Conectar un crisol de vidrio previamente tarado de porosidad 2 (40 a 90 micras) al sistema de filtración al vacío.
- d. Filtrar el contenido del beakers al vacío, lavar con agua caliente.
- e. Lavar el residuo del crisol con acetona, siempre al vacío, hasta que la acetona no

tenga ningún color.

f. Calentar los crisoles en la estufa a temperatura de 103°C durante toda la noche.

g. Enfriar en un desecador durante media hora. Pesarse y anotar el peso como "crisol + fibra"

h. Calcinar los crisoles en mufla a 500°C. Durante 3 horas. Enfriar en un desecador durante 1 hora.

i. Pesarse y anotar el peso como "crisol + cenizas".

### III Calculo

$$\text{Ec) V.3} \quad \text{FAD\%} = \frac{(\text{crisol} + \text{fibra}) - (\text{crisol.vacio})}{\text{muestra.(grs)}} * 100$$

$$\text{Ec) V.4} \quad \text{FAD(\% libre de cenizas)} = \frac{(\text{crisol} + \text{fibra}) - (\text{crisol} + \text{cenizas})}{\text{muestra.(grs)}} * 100$$

NOTA: Guardar el residuo para la determinación de lignina

#### 5.2.1.3 Determinación de Lignina Permanganato y Sílice

##### I Reactivos

##### A. Solución Saturada de Permanganato de Potasio

Permanganato de potasio (KMnO <sub>4</sub> ).....	100.0 gr
Sulfato de plata (Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ).....	1.0 gr

Agua destilada C.S.P (H<sub>2</sub>O).....2.0 L

Preparar 2 litros de solución de Permanganato de potasio de la manera siguiente:

- a. Disolver el permanganato de potasio y el sulfato de plata, con el agua destilada en un recipiente claro o transparente
- b. Agregar lentamente las sales al agua, porque hay tendencia a que se sature. Guardar en frasco ámbar, para protegerlos de la luz.

#### B. Solución tampón (un litro)

Nitrato férrico (Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O).....6.00 gr  
 Nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>).....0.15 gr  
 Ácido acético glacial (CH<sub>3</sub>-COOH).....500.00 ml  
 Acetato potásico (CH<sub>3</sub>-COOK).....5.00 gr  
 Alcohol butílico terciario (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>COH.....400.00 ml  
 Agua destilada (H<sub>2</sub>O).....100.00 ml

Disolver primero el nitrato de férrico y el nitrato de plata en los 100.00 ml de agua destilada(en un beaker) . Añadir el ácido acético, el acetato potásico y mezclar; Finalmente agregar el alcohol butílico terciario.

#### C. Solución Desmineralizadora (1 litro)

*Objetivo:* Disolver las sales de magnesio, que han podido precipitar durante la oxidación de la lignina.

Ácido Oxálico (HOCOCOOH·2H<sub>2</sub>O).....50.0 gr

Alcohol etílico 95 % (CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> O).....	700 ml
Ácido clorhídrico concentrado (HCL).....	50.0 ml
Agua destilada (H <sub>2</sub> O).....	250 ml

Disolver el ácido oxálico en el etanol; a continuación añadir el agua destilada y el ácido clorhídrico. Mezclar.

#### D. Alcohol Etilico al 80% (1 litro)

Alcohol etílico al 95% (CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> O).....	895 ml
Agua destilada cantidad suficiente para completar 1000 ml.	
Ácido sulfúrico 72% (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	
Acetona p.A ((HC <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO)	

## II Procedimiento

### 5.2.1.4 Lignina Permanganato y Celulosa

- a. Mezclar las soluciones de permanganato potásico y tampón en proporción 2:1 (calcular 40 ml por muestra). “Esta solución solo es estable durante 24 horas”
- b. Los crisoles que tienen el residuo de FAD se colocan en una bandeja y un agitador de vidrio adentro del crisol.
  - b1. Añadir agua fría a la bandeja hasta alcanzar un nivel inferior al de la placa filtrante de los crisoles (usar agua destilada)
  - b2. Añadir a cada crisol 25 ml de la solución permanganato tampón. Añadir más agua fría a la bandeja para impedir la filtración a través de los crisoles (usar agua destilada)

b3. mezclar con el agitador el contenido de cada crisol, añadir más solución de permanganato tampón hasta  $3/4$  partes de su capacidad.

b4. Dejar en la bandeja 90 minutos.

b5 Precauciones durante este proceso

b5.1 El laboratorio debe tener una temperatura entre 20 y 25 °C

b5.2 La solución de permanganato tampón debe permanecer en un color púrpura durante los 90 minutos que ocurre el proceso de deslignificación.

b5.3 Si el color del permanganato cambia indica que todo ha sido completamente reducido, entonces deberá filtrarse y añadir más solución .

b5.4. Normalmente esto sucede con muestras de elevada concentración de lignina.

c. Después de los 90 minutos, filtrar los crisoles al vacío y colocar en una bandeja limpia. A continuación añadir 20 ml de solución desmineralizadora, dejar durante 15 minutos, filtrar, y agregar otros 20 ml de solución desmineralizadora. Reposar 15 minutos y filtrar. Repetir esta operación hasta que el residuo tome un color blanco(normalmente es suficiente con dos tratamientos)

**Observaciones:**

Puede ocurrir que la solución de permanganato potásico no filtrase y en este caso comenzará la desmineralización con el crisol en el dispositivo de filtrado.

d. El color blanco o grisáceo (celulosa) indica que la desmineralización ha sido completa. Filtrar y lavar dos veces con etanol al 80% y dos veces con acetona, hasta que el residuo aparezca seco.

- e. Secar los crisoles en una estufa a 103°C durante toda la noche; Sacar los crisoles, enfriar en un desecador durante media hora, pesar, anotar el peso como "crisol+residuo"
- f. Calcinar en una muflla a 500°C durante tres horas, enfriar en un desecador durante una hora, pesar, anotar el peso como "crisol+cenizas".

El contenido de lignina permanganato y celulosa se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Ec) V.5} \quad \% \text{Lignina permanganato} = \frac{(\text{crisol} + \text{fibra}) - (\text{crisol} + \text{residuo})}{\text{muestra. (grs)}} * 100.$$

$$\text{Ec) V.6} \quad \% \text{Celulosa} = \frac{(\text{crisol} + \text{residuo}) - (\text{crisol} + \text{cenizas})}{\text{muestra. (grs)}} * 100$$

### ✓ 5.3 **Marcha para las Pruebas Calorimétricas Aplicadas a Residuos de Cultivos de Maíz y Caña de Azúcar (ASTM, 1996)**

La prueba calorimétrica consiste, en la determinación del poder de combustión de los residuos de maíz y caña de azúcar y por otra parte la estandarización de la bomba calorimétrica se realiza para poder calcular la energía equivalente de la bomba calorimétrica, utilizando tabletas estandarizadas de ácido benzoico. Estas pruebas se tienen que realizar a temperatura constante y menores a los 27° C.

La marcha para las pruebas calorimétricas, así como la estandarización de la bomba calorimétrica Parr 1341 se presenta en la sección 5.3.1

### **5.3.1 Manejo y Estandarización de la Bomba Calorimétrica**

#### **5.3.1.1 Operando el Calorímetro.**

En operaciones requeridas para medir una muestra desconocida o estandarizada en el sencillo calorímetro 1341, proceda con pasos prudentes de la manera siguiente:

#### **A. Preparación de Muestra y Carga de Bomba**

Preparación de la muestra y carga de la bomba de oxígeno.

##### **a. muestra.**

Nunca usar una muestra con masa mayor que 1.1 gramo, cuando se analiza una muestra desconocida ( que no se conoce su poder calorífico), no trabajar con un peso de muestra mayor que 1.0 gramos.

Usar 1 ml de agua en el fondo de la bomba, el cual sirve como absorbente.

Cuidado debe ser tomado para no molestar la muestra , cuando mueva la cabeza de la bomba de el soporte al cilindro de la bomba. Observe el aro navegador para estar seguro que esta en buena condición y humedecida con un poco de agua de tal manera que se deslice libremente en el cilindro, luego deslice la cabeza dentro del cilindro y empujar hasta donde llegue (tope).

El tamaño de las partículas cuando la muestra es sólida es de 60 mesh, o más pequeña y comprimida dentro de un pellet con un prensador pellet parr. Puede trabajarse con muestras toscas si hacen ignición y se queman completamente.

La humedad en las muestras es tolerada hasta un 20%. Si la muestra se encuentra en base seca y la humedad a de ser adherida, gotee agua dentro de la muestra o dentro del pellet, después que la muestra ha sido pesada y dejar por un rato para obtener distribución uniforme.

La muestra puede tener 0.5 pulgadas de diámetro.

#### **b. Llenado de la bomba**

El oxígeno para la bomba puede ser llenado de un tanque comercial standard, destornille la copa protectora del tanque e inspeccione las tuercas en la válvula para estar seguro que estan limpias y en buenas condiciones.

Abra la válvula de control de la conexión de llenado y observe como la bomba de presión se eleva a la presión deseable(usualmente 30 atm pero nunca más de 40 atm), luego cierre el control de la válvula. La perilla interior de la bomba verificadora se cerrará automáticamente cuando el flujo de oxígeno sea cortado, dejando la bomba llenada a la presión mas alta indicada 0-55 atm, calibrada. Libere la presión residual en la manguera de llenado , empujando hacia abajo el sostenedor de nivel de la válvula.

### **B. Método de Operación de la Bomba Calorimétrica**

#### **a- Calibrar Balanza**

- b- Llenar el balde del calorímetro, pero primero tare el balde seco sobre una solución o sobre una balanza. Entonces agregar 2000 (+/- 0.5) gramos de agua. Es preferible agua destilada, pero agua desmineralizada o de grifo conteniendo cantidades menores a 250 ppm. de sólidos disueltos es satisfactoria. La temperatura del agua debe estar aproximadamente 1.5 °C bajo el cuarto de temperatura, pero esta puede ser variada o acomodada a preferencia del operador. Si no es necesario usar exactamente 2000 gramos, pero la cantidad seleccionada debe ser duplicada dentro de +/- 0.5 gramos por cada corrida. Otra consideración es llevar la cubeta de una forma pipeteada automáticamente o de algún otro mecanismo volumétrico si las repeticiones del sistema de llenado están dentro de un rango de +/- 0.5 ml. y la temperatura del agua se mantiene dentro de un rango de 1°C.
- c- Colocando la cubeta en el calorímetro, unir el asa a los dos hoyos en el sitio de la armella superior y bajar la bomba introduciéndola al agua, con estos pasos en el espacio patrón circular en el fondo de la cubeta. Manipule la bomba cuidadosamente durante esta operación así la muestra no será desarreglada. Remueva la asa agite o tire unas gotas de agua dentro de la cubeta; entonces presione los dos alambres guías de ignición en el enchufe terminal en la cabeza de la bomba, sea cuidadoso no remueva el agua de la cubeta con los dedos.
- d- Colocar la cubierta sobre la chaqueta con el termómetro cara hacia el frente. Girar el agitador con la mano para estar seguro de que corre libremente; entonces deslice la cinta conductora sobre la polea y encienda el motor.
- e- Permitir al agitador correr por 5 minutos para llegar a un equilibrio, antes de arrancar una corrida moderada o de medida. Al final de este período registra el tiempo o enciende un cronómetro y lee la temperatura a 1-10 de la escala de

división pequeña. Siempre de unos golpecitos al termómetro con un lápiz o varilla para que vibre el mercurio antes de tomar una lectura.

- f- Leer y registrar las temperaturas en un minuto de intervalo por 5 minutos. Entonces en el encendido de el sexto minuto.
  
- g- Colocarse tras el calorímetro y encender la bomba pero presionando el botón de ignición y retenerlo abajo hasta que la luz indicadora se apague. Normalmente la luz brilla solamente por medio segundo pero el botón puede soltarse en 5 segundos sin hacer caso de la luz. Precaución: No tenga la cabeza, manos o cualquier parte del cuerpo sobre el calorímetro, cuando la bomba encienda, y continúe situado libre por 30 segundos después del encendido.
  
- h- La temperatura de la cubeta ascenderá o subirá dentro de 20 segundos después de el encendido. Esta subida será rápida durante los primeros pocos minutos, entonces quedaria lenta así la temperatura se acercará a una máxima estabilidad, lo que es mostrado por la curva de temperatura típica de subida en el anexo No 4. Esto no es necesario para crear una curva similar para cada medida, pero a cierto tiempo las observaciones de temperatura deben ser recordadas para identificar ciertos puntos necesarios para calcular el valor calorífico de la muestra.
  
- i- Medir el tiempo requerido para alcanzar el 60% de subida total, pero estimando la temperatura en el 60% de los puntos y observando el tiempo cuando suba el mercurio y camine a tocar ese nivel. Si el 60% de los puntos no pueden ser estimados antes de la ignición, tome la temperatura leyendo en 45, 60, 75, 90 y 105 segundos después de encendido y interpole entre esas lecturas para identificar el 60% de los puntos, después el total de subida tuvo que ser medida.

Estas lecturas pueden ser tomadas sin una exagerada estimación cercanos a 0.02 °C, son suficientes en estos puntos.

- j- Después del periodo de subida rápida (cerca de 4 o 5 minutos después de la ignición), ajuste el lente de lectura y registre la temperatura en la escala de pequeña división de 1 a 10 en intervalos de un minuto hasta que la diferencia entre las lecturas sucesivas se haga constante por 5 minutos. Usualmente la temperatura alcanza un máximo; entonces cae muy lentamente. Pero esto no siempre es cierto, a bajas temperaturas de encendido puede resultar en una lenta continuación de subida sin alcanzar un máximo. Como el estado sobre las diferencias entre las lecturas sucesivas debe ser anotadas las lecturas continuaran en intervalos de un minuto hasta que la razón de cambio de temperatura sea constante sobre un periodo de 5 minutos.
  
- k- Después de la última lectura de temperatura parar el motor, remueva la banda y levante la cubierta del calorímetro. Limpie el bulbo del termómetro, limpie con un paño limpio y coloque la cubierta sobre el soporte vertical A37A. Destape la bomba fuera de la cubeta, remueva las guías de ignición y limpie la bomba con una toalla limpia.
  
- l- Abra la cabeza de la bomba, pase los terminales de conexión, pero descargue la presión del gas antes de intentar remover la tapadera. Esta descarga procederá lentamente por un periodo no menor de un minuto para evitar perder los residuos internos. Después que toda la presión es descargada, destornillar la tapadera; levantar la cabeza fuera del cilindro y colocarla en el lugar sobre el soporte. Examine el interior de la bomba por el hollín u otras evidencias de combustión incompletas. Si tales evidencias son encontradas la prueba tiene que ser descartada.

m- Lavar toda la superficie interior de la bomba con un chorro de agua destilada y colecte el lavado en un beaker.

n- Remueva todas las partes quemadas del alambre fusible de los electrodos de la bomba; arreglarlos y medir las longitudes combinadas en centímetros. Sustraiga esta longitud de la longitud original de 10 centímetros y coloque esta cantidad sobre la hoja de datos como la suma neta del alambre quemado.

o- Titular el lavado de la bomba con una solución de carbonato de sodio estandarizada, usando naranja de metilo o rojo de metilo como indicador. Una solución 0.0709 N de carbonato de sodio es recomendable para esta titulación y simplifica los cálculos. Esto es preparado disolviendo 3.76 gramos de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) en agua y diluyendo a un litro. Soluciones de Hidróxido de sodio (NaOH) o Hidróxido de potasio (KOH) pueden ser usadas normalmente.

p- Analice el lavado de la bomba para determinar el contenido de sulfuro de la muestra. Si excede el 0.1%. El método para la determinación de sulfuro están discutidos en la los literales p.1) a p.13)

#### **p.1 Determinación de Azufre**

p.2 Lavar toda la parte interior de la bomba, incluyendo la cápsula de combustión y paso de válvula y electrodos, con un chorro fino de agua destilada conteniendo 1 ml de solución saturada de anaranjado de metilo por litro. Lavar hasta que la reacción no ácida sea observada.

p.3 Recolectar el lavado en un beaker.

- p.4 Neutralizar la solución adicionando 1 ml de hidróxido de amonio. Calentar la solución a ebullición y filtrar a través de un papel adecuado.
- p.5 Rápidamente lavar el residuo y filtrar en papel adecuado con agua destilada caliente.
- p.6 Adicionar suficiente agua llevando a un volumen total de solución de aproximadamente de 250 ml.
- p.7 Neutralizar con ácido clorhídrico concentrado adicionando 2 ml en exceso.
- p.8 Adicionar 10 ml de solución de bromo saturada y evaporar aproximadamente 200 ml en un heat plate u otro recipiente de calefacción.
- p.9 Ajustar a ebullición lenta y de menear constantemente, hasta que se adicionen 10 ml de una solución al 10 % de cloruro de bario con una pipeta, continúe meneando por dos minutos. Cubrir o tapar con una flauta de vidrio (vidrio reloj) y mantener una ebullición baja con un heat plate, hasta que el volumen sea reducido a 75 ml.
- p.10 Dejar el precipitado asentar por una hora hasta que enfrie.
- p.11 Filtrar y lavar con agua caliente, hasta que quede libre de cloruros.
- p.12 Transmitir el papel y precipitado a un crisol pesado, secar a calor bajo. Calcinar el papel fuera del flameado.
- p.13 Calentar en muffla hasta 925 °C hasta peso constante.

$$\text{Ec) V.7} \quad \% \text{Azufre} = \frac{W_{\text{BaSO}_4} * 13.743}{W_{\text{sample}}}$$

## C. Cálculo del Calor de Combustión

### c.1) Organización de Datos

Los datos siguientes deben estar disponibles para la completación de las pruebas en el calorímetro 3141.

**a** = Tiempo de encendido

**b** = Tiempo( para acercar 0.1 min.) cuando la temperatura alcance el 60% del total de salida

**c** = Tiempo comenzando el periodo( después de la temperatura de subida) en que la estimación del cambio de temperatura sea constante.

**T<sub>a</sub>** = Temperatura en el tiempo de encendido, corregida por el error de escala del termómetro

**T<sub>c</sub>** = Temperatura en tiempo C, corregida por el error de la escala del termómetro.

**r<sub>1</sub>** = Valoración (Temperatura unidas por minuto) en que la temperatura estuvo subiendo durante los 5 minutos. Periodo antes del encendido.

**r<sub>2</sub>** = Valoración (Temperaturas unidas por minuto). en que la temperatura estuvo subiendo durante 5 minutos. Después de tiempo C, si la temperatura cae en

lugar de subir después del tiempo C,  $r_2$  es negativa y debe ser adicionada cuando calcule la corrección de temperatura de subida.

$C_1$  = mililitros de solución alcalina estandarizada, usada en la titulación ácida.

$C_2$  = Porcentaje de azufre en la muestra

$C_3$  = Centímetros de alambre fusible consumidos en el encendido.

$W$  = Energía equivalente del calorímetro, determinado bajo estandarización.

$m$  = Masa de muestra en gramos.

### c.2) Temperatura de Subida.

Calcular las correcciones de temperatura de subida,  $t$ , para sustituirlos en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ec) V.8} \quad t = t_c - t_a - r_1 * (b - a) - r_2 * (c - b)$$

### c.3) Correcciones Termoquímicas.

Calcule lo siguiente para cada medición:

$e_1$  = Corrección en calorías para el calor de formación de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) =  $C_1$  si un álcali de 0.0709 N, fue usado en la titulación

$$e_2 = \text{Corrección en calorías para el calor de formación de ácido sulfúrico (H}_2\text{SO}_4) \\ = (13.7)(C_2)(m)$$

$$e_3 = \text{Corrección en calorías para el calor de combustión del alambre fusible} \\ = (2.3)(C_3) \text{ cuando use alambre fusible de níquel y cromo Parr 45C10} \\ = (2.7)(C_3) \text{ cuando use alambre fusible de hierro No. 34 B \& S}$$

#### c.4) Calor total de Combustión.

Calcule el calor total de combustión, Hg, en calorías por gramo, sustituyendo en la siguiente ecuación:

$$\text{Ec) V.9} \quad Hg = \frac{tw - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

Ejemplo.

$$a = 1:44:00 = 1:44.0$$

$$b = 1:45:24 = 1:45.2$$

$$c = 1:52:00 = 1:52.0$$

$$t_a = 24.428 + .004 = 24.432 \text{ C}$$

$$t_c = 27.654 + .008 = 27.662 \text{ C}$$

$$r_1 = + .010 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ min.} = + .002 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min.}$$

$$r_2 = - .004 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ min.} = - .001 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min.}$$

$$C_1 = 23.9 \text{ ml}$$

$$C_2 = 1.02\% \text{ de Azufre}$$

$$C_3 = 7.6 \text{ cm., alambre Parr 45c10}$$

$$W = 2426 \text{ calorías / }^\circ\text{C}$$

$$m = .9936 \text{ gramos}$$

$$t = 27.662 - 24.432 - (.002)(1.4) - (-.001)(6.6) = 3.234 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$e1 = 23.9 \text{ calorías}$$

$$e2 = (13.7) (1.02)(.9936) = 13.9 \text{ calorías}$$

$$e3 = (2.3)(7.6) = 17.5 \text{ calorías}$$

$$Hg = \frac{(3.234)(2426) - 23.9 - 13.9 - 17.5}{0.9936}$$

$$= 7841 \text{ calorías/gramo}$$

$$= (1.8)(7841) = 14,114 \text{ Btu/lb.}$$

### c.5) Conversión a otras Bases

El cálculo descrito anteriormente tiene el valor calorífico de la muestra con humedad existente cuando fue pesada. Por ejemplo, si una muestra de aire-seco de carbón fue medida, el resultado sería en términos de unidades caloríficas por peso de muestra de aire-seco. Esto puede ser convertido a una unidad de humedad libre u otra base seca para determinar la unidad libre, u otra base seca para determinar la humedad contenida de la muestra de aire-seco y usando la fórmula de conversión publicada en la ASTM Method D3180 y en otras referencias sobre tecnologías de combustibles.

El valor calorífico obtenido y evaluado en la bomba calorimétrica, representa el calor total de combustión de la muestra. Este es el calor producido cuando la muestra se quema, más el calor cedido sube cuando nuevamente se forma un condensado de vapor de agua y se baja la temperatura de la bomba. En casi todas las operaciones industriales este vapor de agua escapa como vapor en los gases de chimenea y el calor latente de vaporización que contiene no está disponible para trabajo útil.

El calor neto de combustión obtenido por sustracción del calor latente del valor calorífico total es por lo tanto una forma importante en el cálculo del poder de la planta. Si el porcentaje de hidrógeno,  $H_2$ , en la muestra es conocido, el calor neto de combustión,  $H_n$ , en Btu por libra puede ser calculado de la forma siguiente:

$$\text{Ec) V.10 } H_n = 1.8 \cdot H_g - 91.23 \cdot H$$

#### **D. Estandarización del Calorímetro.**

##### **d.1) El Factor Equivalente de Energía.**

El término estandarización es utilizado aquí para indicar la operación del calorímetro con una muestra estándar de que la energía equivalente o capacidad calorífica efectiva determinada por el sistema. El factor equivalente de energía ( $W$ ) representa la energía requerida para subir la temperatura del calorímetro un grado, expresado usualmente como calorías por grado Celcius. Este factor por el calorímetro 1341 con una bomba de oxígeno 1108, puede usarse dentro de un rango de 2410 a 2430 calorías por grado C, con el valor exacto para cada instalación para ser determinado por el usuario. Esto requiere una serie de mínimo cuatro medidas de estandarización (y preferiblemente más) para que un promedio pueda ser tomado o represente el verdadero valor de  $W$  por el calorímetro del usuario. Esto suministrará un factor que pueda ser usado con confiabilidad en las subsiguientes pruebas de un material desconocido. La prueba de estandarización será siempre repetida después de cambiar cualquier parte de el calorímetro, y ocasionalmente como una medida para el calorímetro y su operación técnica.

## **d.2) Muestra Estándar.**

Un frasco con 10 tabletas de un gramo de ácido benzoico es proveído con cada calorímetro, para propósitos de estandarización, adicionar tabletas o polvo de ácido benzoico para obtener de Parr alta precisión en la medición, un estándar primario de polvo de ácido benzoico puede ser comprado en el National Bureau of Standard, Washington, D.C. El NBS también ofrece estándares como 2,2,4-trimetilpentano (Isocetano), como un estándar calorífico, para medir combustibles volátiles.

### **d.2.1) Precaución**

El ácido benzoico debe siempre ser comprimido en una tableta antes de quemarse en una bomba de oxígeno para evitar posibles daños de combustión rápida por las pérdidas de polvos. Esto es mejor realizado usando tabletas prensadas Parr 2811. Si una tableta prensada no está disponible, fundir el polvo a un trozo, calentando cuidadosamente hasta el punto de fusión, pero no sobrecalentar el polvo, por que este cambiaría su poder calorífico.

### **d.3) Proceso de Estandarización.**

El proceso de estandarización es exactamente el mismo como para evaluar una muestra combustible.

Use una tableta grado calorífico de ácido benzoico pesando no menos de 0.9 ni más de 1.25 gramos. Determine correctamente la temperatura de subida,  $t$ , del observe y mida el dato, también titule el lavado de bomba para determinar el ácido

nítrico correctamente y mida el alambre fusible quemado. Calcule la energía equivalente sustituyendo en la siguiente ecuación:

$$\text{Ec) V.11} \quad W = \frac{H * m + e1 + e3}{t}$$

W = energía equivalente del calorímetro en calorías por grado Celcius (Centígrado)

H = calor de combustión de la muestra estándar de ácido benzoico en calorías por gramo

m = masa de la muestra de ácido benzoico en gramos

t = corrección neta de temperatura de subida en grados centígrados C

e1 = corrección para el calor de formación de ácido nítrico en calorías

e3 = corrección para el calor de combustión de el quemado de alambre en calorías

Ejemplo. Estandarización con una muestra de ácido benzoico de 1.1651 gramos (6318 cal/gm), produjo una corrección neta de temperatura de subida de 3.047 °C. La titulación ácida requirió 11.9 ml de álcali estandarizado y 8 cm de alambre fusible fueron consumidos en el encendido. Sustituyendo en la ecuación de estandarización:

$$H = 6318 \text{ cal/gramo}$$

$$m = 1.1651 \text{ gram}$$

$$e1 = (11.9 \text{ ml})(1 \text{ cal/cm}) = 11.9 \text{ cal}$$

$$e3 = (8 \text{ cm})(2.3 \text{ cal/cm}) = 18.4$$

$$t = 3.047 \text{ c}$$

$$W = \frac{(6318)(1.1651) + 11.9 + 18.4}{3.047} = 2426 \text{ cal / } ^\circ\text{C}$$

#### d.4) Corrección de Termómetro.

Los termómetros proporcionados con calorímetros Parr 1341, son medidos con precisión en intervalos de no menos de 1.5 °C sobre toda la escala graduada. Las correcciones a ser aplicadas a cada uno de estos puntos de medición son reportados sobre un certificado y ploteados sobre una carta de corrección. La corrección por algunas temperaturas observadas puede leerse de la carta, y deben ser adicionadas o sustraídas como se indicó.

Durante la operación de un calorímetro sencillo de chaqueta la diferencia entre la temperatura de calorímetro dentro de la chaqueta y la temperatura del cuarto (alrededores), usualmente es menos de 1.5 °C. Entonces esta diferencia está dentro de un intervalo de medición de un termómetro, y una precisión adecuada para que más medidas calorimétricas puedan ser obtenidas sin aplicar un diferencial a la corrección. Sin embargo, si la mayor precisión obtenida de el equipo es deseado, o si es una diferencia regular de más de 1.5 ° C entre la chaqueta y los alrededores, entonces una diferencia contra la corrección sería hecha y aplicada a la corrección de temperatura de subida,  $t$ , en todas las pruebas, incluyendo la estandarización.

Esta corrección es calculada de la siguiente manera:

$$E_c) V.12 \text{ Contra corrección} = K * (t_c - t_a) * (t_c + t_a - L - T)$$

cuando:

$K$  = coeficiente de expansión diferencial para mercurio en cristales = 0.00016 para termómetros en centígrados ó 0.00009 para termómetros en Fahrenheit.

$L$  = Lectura de escala con el termómetro inmerso

$T$  = Temperatura media de contra salida

$t_a$  = Lectura de temperatura inicial

$t_c$  = lectura de temperatura final

Cuando use termómetros Beckmann, ambos, colocada una diferencial de corrección de contra salida y corrección debe ser aplicada al inicio y al final de la lectura de la temperatura del calorímetro.

#### **d.5) Fiabilidad del Termómetro.**

Esto es esencialmente para que las temperaturas puedan ser usadas el termómetro del calorímetro con confianza y que la corrección de escala se aplique cuando sea pertinente. El manejo tosco en el embarque o por el usuario puede causar separación en el mercurio y debe ser eliminada antes de operar bien el termómetro. Los detalles de instrucciones para chequear y corregir estas condiciones son suministradas con cada termómetro Parr. El mismo termómetro que se usó cuando la energía equivalente fue determinada se debe mantener para todas las siguientes muestras desconocidas. Si es necesario reemplazar el termómetro debe ser revisado.

#### **d.6) Corrección ácida.**

Mientras la combustión tiene lugar en la bomba en una atmósfera de casi oxígeno puro a alta presión y temperatura, algunas reacciones tienen lugar, que no ocurrirían en quemados del mismo material a bajo de las condiciones normales atmosféricas. Estas reacciones son importantes porque generan una apreciable cantidad de calor que no puede ser acreditado a la muestra y por la cual tiene que hacerse una corrección.

Por ejemplo en la combustión normal de carbón, todo el azufre es oxidado y liberado como  $\text{SO}_2$  pero el nitrógeno en el material usualmente no es afectado. Del mismo modo, no ocurre cambio en el nitrógeno del aire requerido para la combustión normal. Pero, cuando el mismo carbono es quemado en la bomba de oxígeno, la oxidación del azufre es convertida hasta una oxidación de  $\text{SO}_3$  la cual combinada con vapor de agua forma  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , y alguna parte del nitrógeno es oxidado y combinado con vapor de agua forma  $\text{HNO}_3$ . Estas dos reacciones se convierten en ácidos dentro de la bomba, y requiere una corrección por la cantidad de calor liberado en sus respectivas formaciones.

En el cálculo de esta corrección para la formación de ácido se asume que todo el ácido titulado es ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y que el calor para la formación de 0.1 N de  $\text{HNO}_3$  bajo estas condiciones de la bomba es  $-14.1$  Kcal/mol. Obviamente si el ácido sulfúrico está también presente, parte de la corrección para el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  está también presente en la corrección del ácido nítrico. La corrección del azufre descrita abajo toma la diferencia entre el calor de formación del ácido nítrico y sulfúrico.

#### d.7) Corrección de Azufre.

Una corrección de 1.4 Kcal debe ser aplicada por cada gramo de azufre convertido a ácido sulfúrico. Esto se basa sobre el calor de formación de 0.17 N de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  el cual es  $-72.2$  Kcal / mol. pero una corrección de  $2 \times 14.1$  Kcal / mol es incluido en la corrección de ácido nítrico. Por lo tanto la corrección adicional que debe ser aplicada para el azufre será de  $72.2 - (2 \times 14.1)$  ó  $44.0$  Kcal / mol, ó  $1.37$  Kcal / gramo de azufre.

Por conveniencia esto es expresado como 13.7 cal por punto por ciento de azufre por gramo de muestra.

#### **d.8) Corrección de Alambre Fusible.**

El alambre usado para la ignición de la muestra es consumida parcialmente en la combustión. De esta manera la generación de calor por parte del fusible y la resistencia ofrecida a la corriente eléctrica de encendido y por el calor de combustión de esta porción de alambre que es quemado. Si se asume que el calor que es introducido por la corriente eléctrica de encendido sería la misma que la estandarización del calorímetro como cuando se evalúe una muestra desconocida y este pequeño aumento de energía por lo tanto no requiere corrección. Sin embargo, se encontraría que el aumento por alambre consumido variaría de evaluación a evaluación, por lo tanto una corrección debe ser hecha a cuenta por el calor de combustión de el metal.

La suma de la parte del alambre tomado en la combustión es determinado sustrayendo la longitud recobrada de la porción quemada de la longitud original de 10 cm. La corrección es entonces calculada por la porción quemada por asunción de un calor de combustión de 2.3 calorías por cm. para alambre Parr 45C10 (No. 34B & S garantía "Chromel C") ó 2.7 calorías por cm. para alambre garantizado de Hierro Parr No. 34B & S.

#### **d.9) Corrección de Radiación**

El método recomendado para el cálculo de corrección por calor ganado o perdido de un calorímetro simple está especificado por la Sociedad Americana para Pruebas y materiales publicados bajo las designaciones D240 y D3286 ASTM. Está basado bajo el trabajo del Dr. H. C. Dickinson de la National Boreau of Standards quien demostró que la cantidad de calor que sale durante la prueba, puede ser aproximado asumiendo que el calorímetro calentó los alrededores durante los primeros 63% de la temperatura alcanzada y un rango igual a la

medida durante las 5 minutos de preperiodo. El método asume que el enfriamiento (o calentamiento) durante los restantes 37% del alcance es el mismo que el rango observado durante los 5 minutos de postperiodo. Para más trabajos experimentales el punto dividido entre estos dos periodos, está tomado como punto en el tiempo,  $b$ , cuando la temperatura ha alcanzado 6/10 (del total alcanzado) note que estos dos intervalos de tiempo deben ser expresados en minutos y fracciones decimales (Ejemplo: 1.4 min. y 6.4 min.)

### E. Pruebas de Estandarización de la Bomba Calorimétrica Parr 1341

Definiciones:

$t$  = Corrección neta de temperatura de subida en °C

$m$  = Masa de la muestra de ácido benzoico en gr.

$e_1$  = Corrección para el calor de formación de ácido nítrico en calorías

$e_3$  = Corrección para el calor de combustión del quemado de alambre en calorías

$w$  = Energía equivalente del calorímetro en cal/°C

Al utilizar la Ec) V.11 se genera el cuadro V.2

**CUADRO V.2**  
**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ESTANDARIZACION DE LA BOMBA**  
**CALORIMETRICA PARR 1341**

No de Prueba	$t$	$m$	$e_1$	$e_3$	$w$
1	2.5753	0.9904	3.45	11.04	2435.35
2	2.6269	1.0109	3.95	17.71	2439.57
3	2.5923	0.9955	2.53	18.17	2434.25
4	2.6137	1.0067	3.32	19.78	2442.26
<b>Promedio</b>					<b>2437.85</b>

Ejemplo de Cálculo de corrida número cuatro de la estandarización del calorímetro de anexo VI

Datos:

Peso de muestra  $m = 1.0067$  gr

Alambre gastado  $a = (10-1.4)\text{cm} = 8.6$  cm

Volumen de titulante  $v = 6.64$  ml

Temperatura de encendido  $T_{1a} = 25.92$  °C

Temperatura cuando ya no se observan cambios  $T_{1c} = 28.55$ °C

Tiempo de encendido = 6 min. = a

Tiempo cuando alcanza el 60% de elevación = 6.36 min. = b

Tiempo de temperatura constante = 9.91 min = c

Elevación de temperatura por minuto inicial =  $r_1 = (25.92 - 25.9)/5 = 0.004$

Elevación de temperatura por minuto final =  $r_2 = (28.555 - 28.55)/6.3 = 0.000796$

Corrección por lectura en termómetro

$T_{1i} = 25.90$ °C

$T_{1f} = 28.555$ °C

$T_1 = (T_{1i} + T_{1a})/2 = 25.91$ °C

$T_2 = (T_{1f} + T_{1c})/2 = 28.5225$ °C

Corrección de  $T_a$

$\text{corr} = (T_{1f} - T_{1i}) \cdot (T_{1f} - T_1) \cdot 0.0016 = 0.0122$

Corrección de  $T_c$

$\text{corr} = (T_{1f} - T_{1i}) \cdot (T_{1f} - T_2) \cdot 0.0016 = 0.00001062$

$$T_a = T_{1a} + \text{corr} = 25.932$$

$$T_c = T_{1c} + \text{corr} = 28.550$$

$$\text{Corrección por alambre quemado} = 8.6 \text{ cm} * 2.3 = 19.78$$

$$\text{Corrección por volumen de titulante} = 6.64 / 2 = 3.32$$

$$T = (T_c - T_a) - r_1 * (b - a) - r_2 * (c - b) = 2.6137342$$

$$W = (6318 * m + \text{corr alambre} + \text{corr por volumen}) / T = 2442.26$$

**ANEXO VI**  
**RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS Y FISICOQUIMICOS EN**  
**MUESTRAS DE MAIZ Y CAÑA DE AZUCAR**

## 6.1 Cultivo de Caña de Azúcar

## a) Análisis Químicos

**CUADRO VI.1**  
**DATOS OBTENIDOS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA FIBRA ÁCIDO**  
**DETERGENTE (FAD) EN RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Región	Análisis No	Muestra gr.	Crisol Vacío gr.	Crisol + Fibra gr.	Crisol + Ceniza gr.
I	mI1	1.0033	18.6430	19.1452	18.7197
	mI2	1.0021	19.5141	20.0173	19.5854
II	mII1	1.0072	17.6952	18.1966	17.7545
	mII2	1.0695	17.1184	17.6488	17.1863
III	mIII1	1.0019	20.3967	20.8824	20.4588
	mIII2	1.0092	16.2690	16.7577	16.3349
IV	mIV1	1.0100	19.1166	19.5979	19.1840
	mIV2	1.0158	17.8781	18.3707	17.9446

**CUADRO VI.2**  
**DATOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE FIBRA NEUTRO**  
**DETERGENTE (FND) EN RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Región	Análisis No	Muestra gr.	Crisol Vacío gr.	Crisol + Fibra gr.	Crisol + Ceniza gr.
I	mI1	1.0052	19.4233	20.2433	19.4948
	mI2	1.0026	17.8795	18.6865	17.9458
II	mII1	1.0010	18.3884	19.1703	18.4366
	mII2	1.0340	19.1146	19.9212	19.1768
III	mIII1	1.0191	18.8813	19.7062	18.9358
	mIII2	1.0100	18.9410	19.7571	19.0183
IV	mIV1	1.0178	16.2884	17.0801	16.3493
	mIV2	1.0043	17.1221	17.9121	17.1804

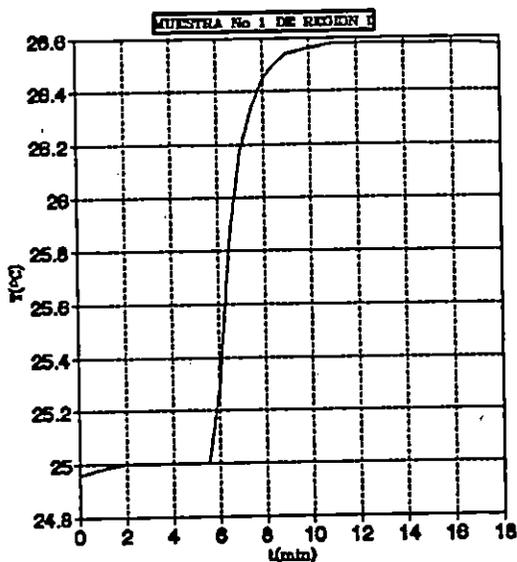
**CUADRO VI.3**  
**DATOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE CELULOSA Y**  
**LIGNINA EN RESIDUOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

Región	Análisis No	muestra gr	Crisol Vacío gr	Crisol+Fibra gr	Crisol Vacío gr	Crisol + Residuo (gr)	Crisol+Ce niza gr
I	mI1	1.0033	186.430	187.197	186.933	187.688	187.684
	mI2	0.10021	195.141	195.854	195.935	196.637	196.633
II	mII1	0.10072	176.952	177.545	177.758	178.338	178.322
	mII2	0.10695	171.184	171.863	172.016	172.679	172.658
III	mIII1	0.10019	203.967	204.588	204.946	205.557	205.546
	mIII2	0.10092	162.690	163.349	159.251	164.126	164.110
IV	mIV1	0.10100	191.166	191.840	191.845	192.509	192.497
	mIV2	0.10158	178.781	179.446	179.889	180.540	180.522

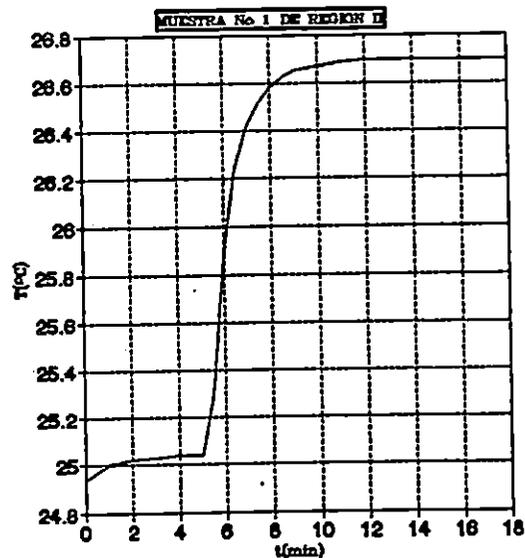
b. Pruebas Calorimétricas

CUADRO VIA  
DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CALORIMÉTRICAS  
PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

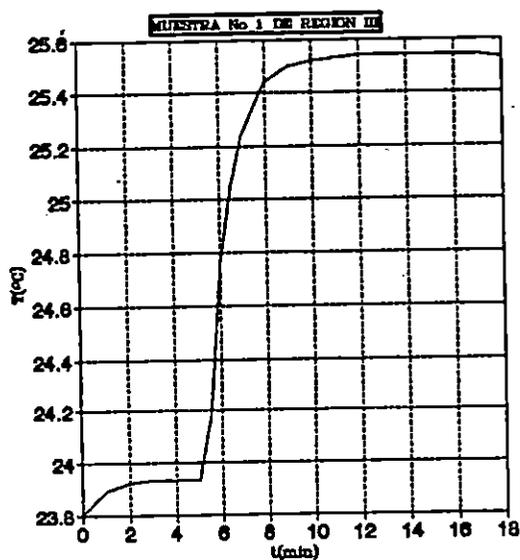
Muestra	ml1	ml2	ml1	ml2	ml1	ml2	ml1	ml2	mlV1	mlV2
0.0	24.96	24.52	24.94	25.08	23.80	25.52	25.00	24.94	25.00	24.94
1.0	24.98	24.53	25.00	25.18	23.89	25.61	25.04	25.00	25.04	25.00
2.0	25.00	24.54	25.02	25.20	23.92	25.62	25.07	25.02	25.07	25.02
3.0	25.00	24.54	25.03	25.20	23.93	25.63	25.09	25.03	25.09	25.03
4.0	25.00	24.54	25.04	25.20	23.93	25.63	25.09	25.04	25.09	25.04
5.0	25.00	24.54	25.04	25.21	23.93	25.64	25.10	25.05	25.10	25.05
5.5	25.00	24.90	25.30	25.48	24.18	25.82	25.30	25.18	25.30	25.18
6.0	25.28	25.52	25.90	26.06	24.76	26.40	25.93	25.94	25.93	25.94
6.5	25.86	25.86	26.24	26.37	25.06	26.76	26.26	26.16	26.26	26.16
7.0	26.18	26.08	26.42	26.56	25.25	26.94	26.43	26.36	26.43	26.36
7.5	26.34	26.10	26.52	26.66	25.35	27.05	26.54	26.47	26.54	26.47
8.0	26.45	26.12	26.58	26.73	25.44	27.10	26.60	26.54	26.60	26.54
8.5	26.50	26.14	26.62	26.78	25.47	27.16	26.64	26.58	26.64	26.58
9.0	26.54	26.15	26.65	26.80	25.50	27.18	26.66	26.60	26.66	26.60
10.0	26.56	26.16	26.67	26.83	25.52	27.20	26.69	26.64	26.69	26.64
11.0	26.58	26.16	26.69	26.84	25.53	27.21	26.70	26.65	26.70	26.65
12.0	26.58	26.16	26.70	26.85	25.54	27.22	26.71	26.66	26.71	26.66
13.0	26.58	26.16	26.70	26.85	25.54	27.22	26.72	26.66	26.72	26.66
14.0	26.58	26.16	26.70	26.85	25.54	27.22	26.72	26.66	26.72	26.66
15.0	26.58	26.16	26.70	26.85	25.54	27.22	26.72	26.66	26.72	26.66
16.0	26.58	26.16	26.70	26.85	25.54	27.22	26.72	26.66	26.72	26.66
17.0	26.58	26.16	26.70	26.84	25.54	27.22	26.72	26.67	26.72	26.67
18.0	26.57	26.16	26.70	26.84	25.53	27.22	26.72	26.67	26.72	26.67



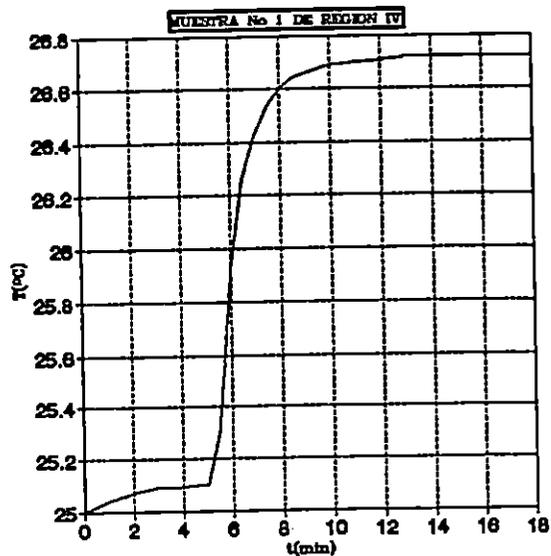
a. Región I



b. Región II



c. Región III



d. Región IV

FIGURA VI.1 GRAFICAS TEMPERATURA VERSUS TIEMPO PARA DETERMINAR EL PODER CALORIFICO (Hg) DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR

## 6.2 Cultivo del Maíz

## a. Análisis Químicos

**CUADRO VI.5**  
**DATOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE FIBRA NEUTRO**  
**DETERGENTE (FND) EN RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAÍZ**

Región	Residuo	Análisis No	muestra gr.	Crisol vacío gr.	Crisol + Fibra gr.	Crisol+Ceniza gr.
I	Tuza	mIt1	1.0141	18.8968	19.7843	18.9100
		mIt2	1.0272	19.3530	20.1814	19.3715
		mIt3	1.0280	17.4730	18.2915	17.4904
	Olote	mIo1	1.0012	18.7032	19.5767	18.7042
		mIo2	1.0100	19.3132	20.1825	19.3200
		mIo3	1.0013	18.9407	19.7534	18.9474
	Hoja y Caña	mIhc1	1.0288	18.6980	19.4653	18.7412
		mIhc2	1.0079	19.5974	20.4000	19.6400
		mIhc3	1.0157	19.3326	20.0942	19.3824
	P. Completa	mIpc	1.0222	17.9363	18.7655	17.9663
II	Tuza	mIIo1	1.0174	16.3472	17.2000	16.3586
		mIIo2	1.0156	17.4625	18.3257	17.4789
		mIIo3	1.0127	18.5390	19.3622	18.5515
	Olote	mIIo1	1.0000	18.6986	19.5565	18.7018
		mIIo2	1.0012	19.4690	20.3712	19.4743
		mIIIhc3	1.0210	19.4064	20.3275	19.4119
	Hoja y Caña	mIIIhc1	1.0212	19.3378	20.1545	19.3800
		mIIIhc2	1.0201	19.3062	20.1160	19.3430
		mIIIhc3	1.0000	20.4255	21.2193	20.4707
	P. Completa	mIIpc	1.0294	17.1726	18.0456	17.2031
III	Tuza	mIIIIt1	1.0080	19.5538	20.4454	19.5681
		mIIIIt2	1.0185	21.0508	21.9100	21.0600
		mIIIIt3	1.0103	20.4288	21.3239	20.4389
	Olote	mIIIo1	1.0142	20.5700	21.4735	20.5731
		mIIIo2	1.0433	16.3884	17.3143	16.3934
		mIIIo3	1.0126	19.1675	20.0270	19.1778
	Hoja y Caña	mIIIhc1	1.0060	17.7492	18.5359	17.7800
		mIIIhc2	1.0113	18.6993	19.5124	18.7290
		mIIIhc3	1.0222	18.9418	19.7600	18.9776
	P. Completa	mIIIpc	1.0584	18.9889	19.8200	19.0335
IV	Tuza	mIVt1	1.0187	17.4735	18.3422	17.4864
		mIVt2	1.0178	19.5533	20.3709	19.5739
		mIVt3	1.0323	19.1760	20.0535	19.1880
	Olote	mIVo1	1.0026	17.4710	18.3571	17.4743
		mIVo2	1.0020	18.6460	19.4700	18.6500
		mIVo3	1.0002	17.7446	18.6417	17.7534
	Hoja y Caña	mIVhc1	1.0000	18.6454	19.4293	18.6984
		mIVhc2	1.0276	19.1666	19.9562	19.2138
		mIVhc3	1.0100	19.7168	20.5412	19.7400
	P. Completa	mIVpc	1.0439	18.4176	19.2759	18.4430

**CUADRO VI.6**  
**DATOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DE FIBRA ÁCIDO**  
**DETERGENTE (FAD) EN RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ**

Región	Residuo	Análisis No	muestra gr.	Crisol vacío gr.	Crisol + Fibra gr.	Crisol+ Ceniza gr.
I	Tuza	mIt1	1.0000	19.3305	19.7028	19.3441
		mIt2	1.0013	18.6661	19.0464	18.6796
		mIt3	1.0120	19.5319	19.9214	19.5463
	Oloze	mIo1	1.0000	19.3415	19.7910	19.3487
		mIo2	1.0155	19.3663	19.9213	19.3689
		mIo3	1.0012	20.4163	20.8122	20.4193
	Hoja y Caña	mIhc1	1.0016	20.7260	21.1365	20.7844
		mIhc2	1.0023	19.4722	19.9136	19.5194
		mIhc3	1.0082	17.4625	17.9027	17.5115
	P.Completa	mIpc	1.0044	17.7053	18.1112	17.7488
II	Tuza	mIIo1	1.0033	19.1330	19.4949	19.1467
		mIIo2	1.0013	18.8909	19.2989	18.9023
		mIIo3	1.0150	20.4326	20.8211	20.4439
	Oloze	mIIo1	1.0211	18.6455	19.1085	18.6505
		mIIo2	1.0000	18.9754	19.4265	19.0000
		mIIhc3	1.0230	18.4070	18.8315	18.4093
	Hoja y Caña	mIIhc1	1.0034	17.1697	17.6214	17.2245
		mIIhc2	1.0060	18.4255	18.8697	18.4685
		mIIhc3	1.0053	16.3514	16.8107	16.3919
	P.Completa	mIIpc	1.0000	20.6734	20.7690	20.7087
III	Tuza	mIIIIt1	1.0047	16.3021	16.5461	16.3162
		mIIIIt2	1.0255	18.3949	18.7481	18.4087
		mIIIIt3	1.0040	17.4670	17.8427	17.4760
	Oloze	mIIIo1	1.0000	17.1710	17.6277	17.1758
		mIIIo2	1.0000	19.5489	19.9827	19.5593
		mIIIo3	1.0027	17.4667	17.8982	17.4718
	Hoja y Caña	mIIIhc1	1.0000	17.7369	18.1825	17.7781
		mIIIhc2	1.0072	18.6938	19.1698	18.7352
		mIIIhc3	1.0000	19.2485	19.6910	19.2634
	P.Completa	mIIIpc	1.0007	17.1223	17.5437	17.1633
IV	Tuza	mIVt1	1.0002	17.4081	17.7798	17.4191
		mIVt2	1.0325	17.8912	18.2793	17.9070
		mIVt3	1.0071	18.6313	19.0378	18.6461
	Oloze	mIVo1	1.0198	20.7040	21.1705	20.7084
		mIVo2	1.0026	17.9305	18.3685	17.9363
		mIVo3	1.0197	19.1800	19.6369	19.1826
	Hoja y Caña	mIVhc1	1.0016	19.0068	19.4580	19.0582
		mIVhc2	1.0000	21.0444	21.4809	21.0876
		mIVhc3	1.0221	19.7399	20.0808	19.6221
	P.Completa	mIVpc	1.0000	18.9540	19.4035	19.0032

**CUADRO VI.7**  
**DATOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS PARA DETERMINAR LIGNINA Y CELULOSA EN**  
**RESIDUOS DEL CULTIVO DEL MAÍZ**

Región	Residuo	Análisis No	muestra gr.	Crisol Vacío gr.	Crisol+Fibra gr.	Crisol Vacío gr.	Crisol+Residuo gr.	Crisol+Ceniza gr.
I	Tuza	mIt1	0.10000	193.305	193.441	194.038	194.167	194.159
		mIt2	0.10013	186.661	186.796	187.088	187.214	187.205
		mIt3	0.10120	195.319	195.463	184.555	184.689	184.678
	Olote	mIo1	0.10000	193.415	193.487	180.453	180.502	180.479
		mIo2	0.10155	193.663	193.689	194.686	194.687	194.658
		mIo3	0.10012	204.163	204.193	208.050	208.069	208.049
	Hoja y Caña	mIhc1	0.10016	207.260	207.844	207.808	208.377	208.360
		mIhc2	0.10023	194.722	195.194	195.125	195.583	195.568
		mIhc3	0.10082	174.625	175.115	175.571	176.046	176.032
	P.Comp	mIpc	0.10044	177.053	177.488	177.198	177.622	177.610
II	Tuza	mIIo1	0.10033	191.330	191.467	191.804	191.932	191.922
		mIIo2	0.10013	188.909	189.023	189.422	189.526	189.515
		mIIo3	0.10150	204.326	204.439	205.238	205.342	205.331
	Olote	mIIo1	0.10211	186.455	186.505	187.419	187.448	187.425
		mIIo2	0.10000	189.948	190.000	190.914	190.947	190.927
		mIIhc3	0.10230	184.070	184.093	195.441	195.442	195.418
	Hoja y Caña	mIIhc1	0.10034	171.697	172.245	172.218	172.756	172.745
		mIIhc2	0.10060	184.255	184.685	184.857	185.274	185.261
		mIIhc3	0.10053	163.514	163.919	164.552	164.943	164.930
	P.Comp	mIIpc	0.10000	206.734	207.087	207.375	207.706	207.693
III	Tuza	mIII t1	0.10047	163.021	163.162	163.423	163.555	163.545
		mIII t2	0.10255	183.949	184.087	196.113	196.239	196.226
		mIII t3	0.10040	174.670	174.760	175.404	175.483	175.471
	Olote	mIIIo1	0.10000	171.710	171.758	172.745	172.771	172.746
		mIIIo2	0.10000	195.489	195.593	196.421	196.503	196.480
		mIIIo3	0.10027	174.667	174.718	176.18	176.149	176.128
	Hoja y Caña	mIIIhc1	0.10000	177.369	177.781	177.895	178.291	178.274
		mIIIhc2	0.10072	186.938	187.352	188.000	188.400	188.385
		mIIIhc3	0.10000	192.485	192.634	211.130	211.267	211.256
	P.Comp	mIIIpc	0.10007	171.223	171.633	171.791	172.192	172.182
IV	Tuza	mIVt1	0.10002	174.081	174.191	174.613	174.708	174.691
		mIVt2	0.10325	178.912	179.070	179.409	179.554	179.539
		mIVt3	0.10071	186.313	186.461	187.117	187.248	187.230
	Olote	mIVo1	0.10198	207.040	207.084	208.051	208.069	208.039
		mIVo2	0.10026	179.305	179.363	178.530	178.565	178.540
		mIVo3	0.10197	191.800	191.826	192.804	192.807	192.783
	Hoja y Caña	mIVhc1	0.10016	190.068	190.582	190.545	191.048	191.036
		mIVhc2	0.10000	210.444	210.876	210.846	211.267	211.256
		mIVhc3	0.10221	197.399	196.221	197.248	197.234	197.216
P.Comp	mIVpc	0.10000	189.540	190.032	190.038	190.520	190.509	

b. Pruebas Calorimétricas

CUADRO VI.6

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS CALORIMÉTRICAS PARA EL CULTIVO DE MAIZ  
REGIÓN I

Residuo	OLOTE			TUZA			CAÑA Y HOJA			PC
Muestra	mlo1	mlo2	mlo3	mit1	mit2	mit3	mlhc1	mlhc2	mlhc3	mlpc
t(min)	T(C)	T(C)	T(C)	T(C)						
0.0	21.79	21.68	21.60	23.00	23.60	23.04	22.66	24.22	22.48	25.21
1.0	21.92	21.81	21.74	23.25	23.70	23.26	22.80	24.41	22.66	25.29
2.0	21.96	21.86	21.74	23.30	23.75	23.31	22.83	24.44	22.71	25.31
3.0	21.98	21.87	21.74	23.31	23.78	23.33	22.84	24.45	22.72	25.32
4.0	21.99	21.88	21.75	23.31	23.79	23.34	22.85	24.46	22.73	25.32
5.0	22.00	21.88	21.76	23.31	23.79	23.34	22.85	24.47	22.74	25.32
5.5	22.30	22.16	22.16	23.33	24.10	23.72	23.06	24.66	22.91	25.46
6.0	22.92	22.81	22.71	23.52	24.66	24.23	23.62	25.19	23.53	26.09
6.5	23.22	23.12	23.02	24.13	24.98	24.55	23.99	25.60	23.90	26.45
7.0	23.45	23.32	23.21	24.50	25.16	24.72	24.16	25.80	24.07	26.63
7.5	23.55	23.42	23.30	24.68	25.25	24.82	24.27	25.89	24.18	26.75
8.0	23.62	23.49	23.36	24.79	25.32	24.89	24.33	25.96	24.26	26.81
8.5	23.66	23.52	23.40	24.86	25.37	24.93	24.37	26.00	24.30	26.85
9.0	23.68	23.56	23.42	24.90	25.39	24.95	24.40	26.02	24.33	26.88
10.0	23.71	23.59	23.45	24.93	25.42	24.98	24.42	26.06	24.36	26.91
11.0	23.73	23.60	23.46	24.96	25.43	24.99	24.44	26.06	24.37	26.92
11.0	23.73	23.60	23.46	24.97	25.44	25.00	24.44	26.07	24.37	26.92
13.0	23.73	23.60	23.46	24.97	25.45	25.00	24.44	26.07	24.38	26.93
14.0	23.74	23.61	23.46	24.98	25.45	25.00	24.44	26.08	24.38	26.93
15.0	23.74	23.61	23.46	24.98	25.45	25.00	24.44	26.08	24.38	26.93
16.0	23.74	23.61	23.46	24.98	25.45	25.00	24.44	26.08	24.38	26.93
17.0	23.74	23.61	23.46	24.98	25.45	25.00	24.44	26.08	24.38	26.93
18.0	23.74	23.61	23.46	24.98	25.42	25.00	24.44	26.07	24.38	26.92

PASA...

## CONTINUACION DEL CUADRO VI.8

## REGION II

Residuo	OLOTE			TUZA			CAÑA Y HOJA			'PC
Muestra	milo1	milo2	milo3	mlt1	mlt2	mlt3	mlhc1	mlhc2	mlhc3	mlpc
t(min)	T(C)	T(C)	T(C)	T(C)						
0.0	21.76	22.34	21.59	25.18	23.72	23.19	23.82	24.51	22.20	24.06
1.0	21.99	22.44	21.86	25.19	23.86	23.36	23.96	24.64	22.42	24.18
2.0	22.04	22.44	21.90	25.20	23.89	23.39	24.01	24.64	22.47	24.20
3.0	22.06	22.53	21.91	25.20	23.91	23.41	24.02	24.77	22.48	24.21
4.0	22.07	22.53	21.92	25.20	23.92	23.41	24.04	24.78	22.49	24.21
5.0	22.07	22.53	21.92	25.20	23.93	23.42	24.04	24.78	22.49	24.21
5.5	22.23	22.78	22.16	25.58	24.14	23.70	24.28	25.00	22.70	24.45
6.0	22.95	23.42	22.80	26.16	24.78	24.30	24.88	25.59	23.25	25.00
6.5	23.31	23.80	23.15	26.46	25.09	24.62	25.20	25.85	23.63	25.34
7.0	23.49	23.96	23.37	26.58	25.29	24.67	25.39	26.13	23.81	25.54
7.5	23.61	24.07	23.47	26.68	25.39	24.89	25.50	26.24	23.94	25.65
8.0	23.68	24.14	23.55	26.74	25.45	24.95	25.56	26.29	24.01	25.71
8.5	23.73	24.18	23.58	26.77	25.50	25.00	25.60	26.34	24.06	25.75
9.0	23.75	24.20	23.62	26.80	25.52	25.01	25.62	26.36	24.08	25.79
10.0	23.78	24.23	23.65	26.82	25.55	25.02	25.65	26.38	24.11	25.81
11.0	23.80	24.24	23.66	26.82	25.56	25.05	25.66	26.39	24.13	25.82
11.0	23.80	24.25	23.66	26.83	25.57	25.06	25.67	26.40	24.13	25.82
13.0	23.80	24.25	23.67	26.83	25.58	25.06	25.68	26.40	24.13	25.82
14.0	23.80	24.25	23.67	26.83	25.58	25.06	25.68	26.40	24.14	25.82
15.0	23.80	24.25	23.67	26.83	25.58	25.06	25.68	26.40	24.14	25.82
16.0	23.80	24.25	23.67	26.83	25.58	25.06	25.68	26.40	24.14	25.82
17.0	23.80	24.25	23.67	26.83	25.58	25.06	25.68	26.40	24.14	25.82
18.0	23.80	24.25	23.67	26.83	25.58	25.06	25.68	26.40	24.13	25.82

PASA..

## CONTINUACION DEL CUADRO VI.8

## REGION III

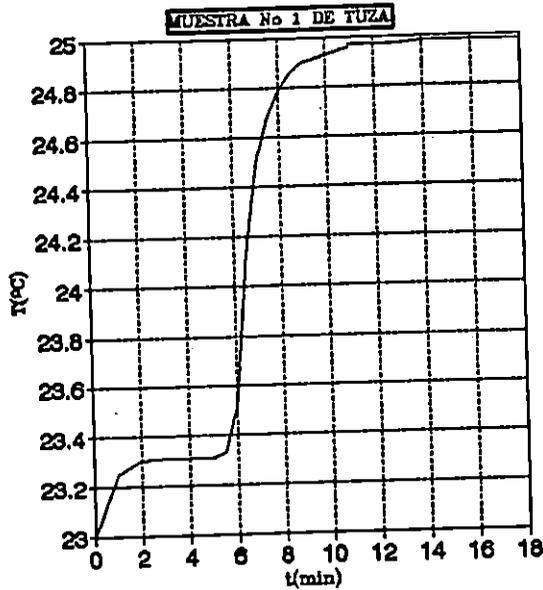
Residuo	OLOTE			TUZA			CAÑA Y HOJA			PC
	millot	millo2	millo3	millt1	millt2	millt3	millhc1	millhc2	millhc3	
Muestra	TCQ	TCQ	TCQ	TCQ						
t(min)										
0.0	21.95	21.80	21.78	24.54	23.70	23.02	22.44	23.14	21.70	23.88
1.0	22.21	22.02	21.92	24.68	23.84	23.22	22.65	23.45	22.03	24.06
2.0	22.27	22.08	21.95	24.72	23.89	23.26	22.68	23.45	22.09	24.09
3.0	22.29	22.10	21.96	24.73	23.91	23.28	22.70	23.47	22.11	24.10
4.0	22.30	22.11	21.96	24.75	23.92	23.29	22.71	23.48	22.12	24.11
5.0	22.31	22.12	22.00	24.75	23.93	23.30	22.71	23.48	22.13	24.11
5.5	22.57	22.42	22.22	25.08	24.10	23.63	22.92	23.72	22.30	24.26
6.0	23.21	23.06	22.87	25.63	24.74	24.18	23.55	24.34	22.94	24.92
6.5	23.55	23.36	23.19	25.96	25.10	24.50	23.88	24.68	23.31	25.26
7.0	23.63	23.55	23.40	26.13	25.30	24.68	24.06	24.85	23.49	25.45
7.5	23.86	23.72	23.51	26.24	25.43	24.78	24.18	24.96	23.62	25.56
8.0	23.93	23.76	23.58	26.28	25.49	24.84	24.24	25.02	23.69	25.63
8.5	23.98	23.79	23.62	26.32	25.53	24.88	24.29	25.07	23.72	25.68
9.0	24.00	23.82	23.64	26.35	25.57	24.90	24.32	25.09	23.75	25.70
10.0	24.04	23.82	23.67	26.37	25.60	24.94	24.35	25.12	23.78	25.73
11.0	24.05	23.83	23.68	26.38	25.61	24.95	24.36	25.13	23.80	25.74
11.0	24.05	23.83	23.69	26.39	25.62	24.95	24.37	25.14	23.80	25.74
13.0	24.06	23.83	23.69	26.39	25.62	24.96	24.37	25.14	23.81	25.74
14.0	24.06	23.83	23.69	26.39	25.62	24.96	24.37	25.14	23.81	25.74
15.0	24.06	23.83	23.69	26.39	25.62	24.96	24.37	25.14	23.81	25.74
16.0	24.06	23.83	23.69	26.39	25.63	24.96	24.37	25.14	23.81	25.74
17.0	24.06	23.83	23.69	26.39	25.63	24.96	24.37	25.14	23.81	25.74
18.0	24.06	23.83	23.69	26.39	25.63	24.96	24.37	25.14	23.81	25.74

PASAA...

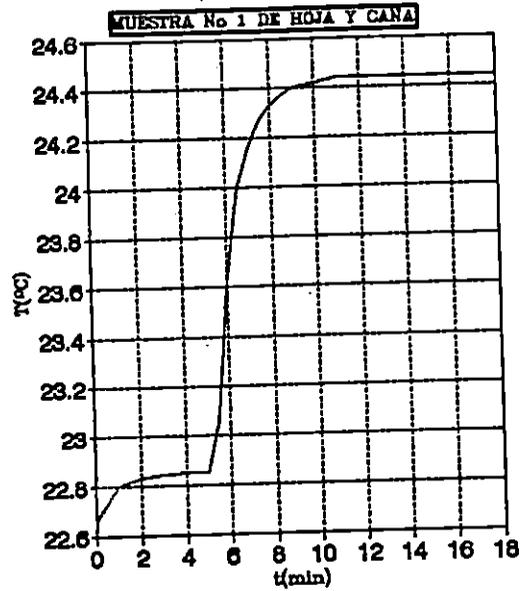
REGION IV

CONTINUACION DEL CUADRO VI.8

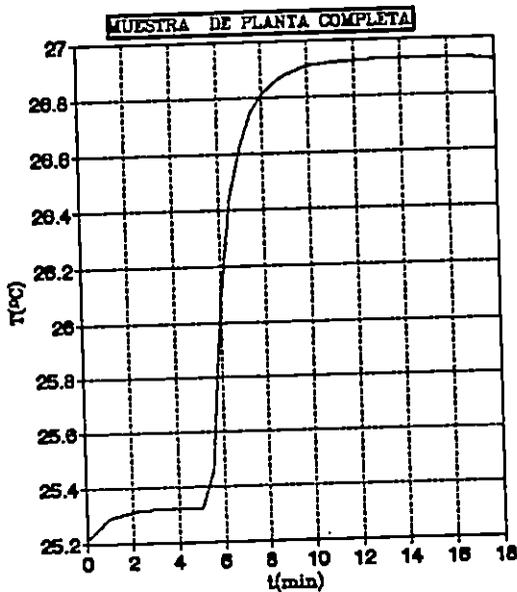
Residuo	LOTE		TUZA						CAÑA Y HOJA						PC
	mV <sub>o1</sub>	mV <sub>o2</sub>	mV <sub>o3</sub>	mV <sub>t1</sub>	mV <sub>t2</sub>	mV <sub>t3</sub>	mV <sub>hc1</sub>	mV <sub>hc2</sub>	mV <sub>hc3</sub>	mV <sub>pc</sub>	T(C)	T(C)	T(C)	T(C)	
0.0	22.00	21.60	22.16	24.42	23.82	23.24	25.13	22.40	25.15	23.20					
1.0	22.14	21.79	22.16	24.48	23.99	23.38	25.25	22.63	25.12	23.38					
2.0	22.19	21.84	22.19	24.52	24.04	23.39	25.27	22.70	25.14	23.38					
3.0	22.21	21.85	22.20	24.54	24.04	23.39	25.28	22.72	25.15	23.40					
4.0	22.22	21.86	22.21	24.55	24.05	23.40	25.28	22.73	25.15	23.40					
5.0	22.22	21.86	22.21	24.78	24.06	23.66	25.28	22.74	25.15	23.41					
5.5	22.48	22.09	22.46	25.40	24.16	24.30	25.50	22.96	25.50	23.60					
6.0	23.10	22.73	23.12	25.75	24.83	24.57	26.09	23.58	26.06	24.23					
6.5	23.45	23.10	23.46	25.90	25.24	24.74	26.43	23.93	26.42	24.61					
7.0	23.66	23.30	23.65	26.02	25.40	24.85	26.60	24.10	26.59	24.77					
7.5	23.77	23.41	23.77	26.09	25.52	24.92	26.72	24.22	26.70	24.88					
8.0	23.84	23.48	23.78	26.13	25.59	24.96	26.79	24.27	26.77	24.94					
8.5	23.89	23.52	23.87	26.16	25.63	24.98	26.82	24.31	26.81	24.99					
9.0	23.92	23.56	23.90	26.18	25.66	25.01	26.85	24.34	26.84	25.01					
10.0	23.95	23.58	23.92	26.19	25.69	25.03	26.87	24.36	26.86	25.04					
11.0	23.96	23.60	23.94	26.19	25.70	25.03	26.88	24.38	26.88	25.05					
11.0	23.96	23.60	23.95	26.20	25.70	25.03	26.88	24.38	26.88	25.06					
13.0	23.97	23.60	23.95	26.20	25.71	25.03	26.89	24.38	26.88	25.06					
14.0	23.97	23.60	23.95	26.20	25.71	25.03	26.89	24.38	26.88	25.06					
15.0	23.97	23.60	23.94	26.20	25.71	25.03	26.89	24.38	26.88	25.06					
16.0	23.97	23.60	23.94	26.20	25.70	25.03	26.88	24.38	26.88	25.06					
17.0	23.97	23.60	23.94	26.19	25.70	25.03	26.88	24.38	26.88	25.06					
18.0	23.97	23.60	23.94	26.19	25.70	25.03	26.87	24.38	26.88	25.06					



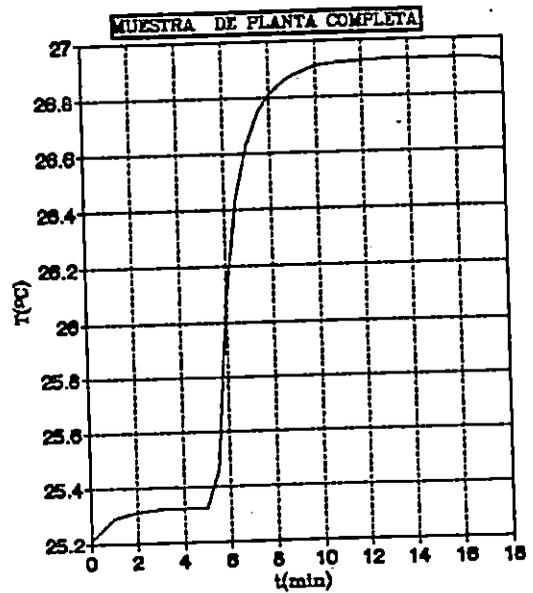
a. Tuza



b. Hoja y Cafia

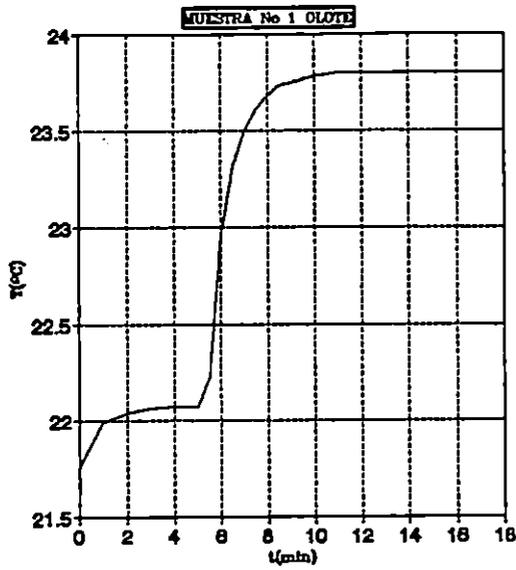


c. Planta Completa

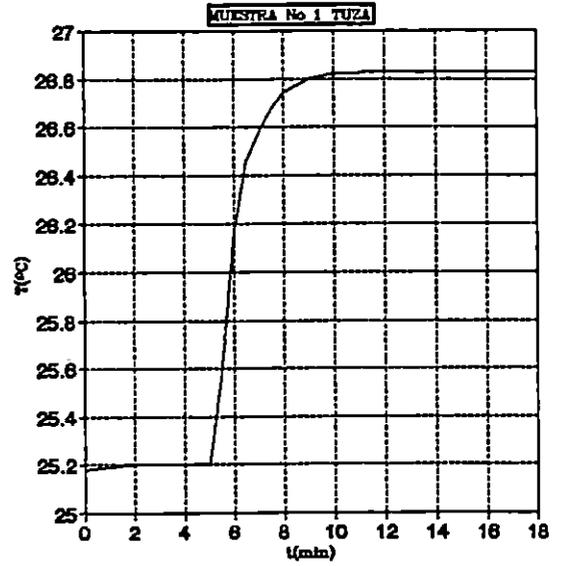


d. Planta Completa

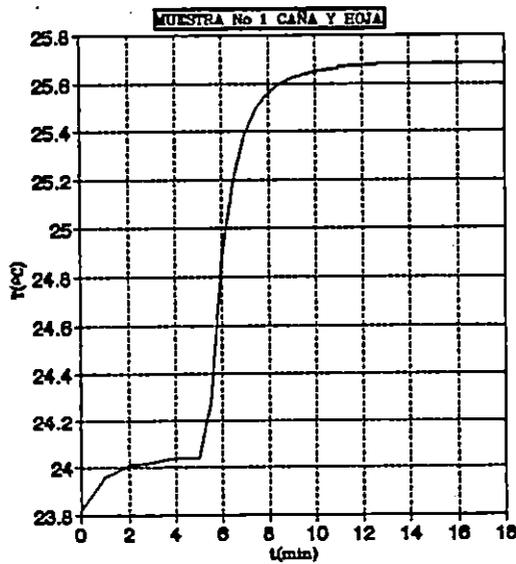
FIGURA VI.2 GRAFICAS TEMPERATURA VERSUS TIEMPO PARA DETERMINAR EL PODER CALORIFICO (Hg) DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ EN LA REGION I



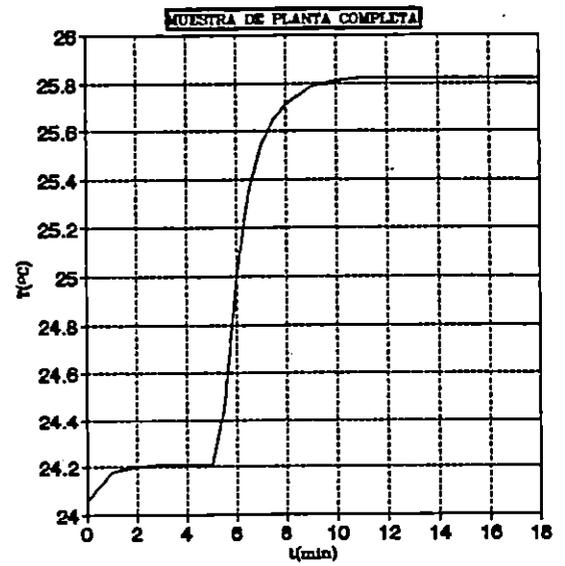
a. Olole



b. Tuza



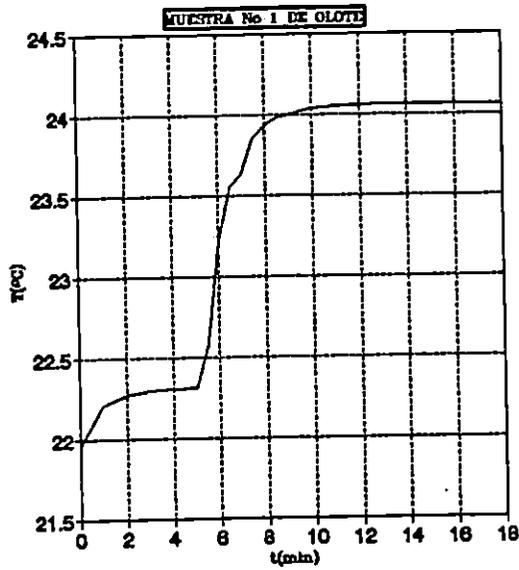
c. Hoja y Caña



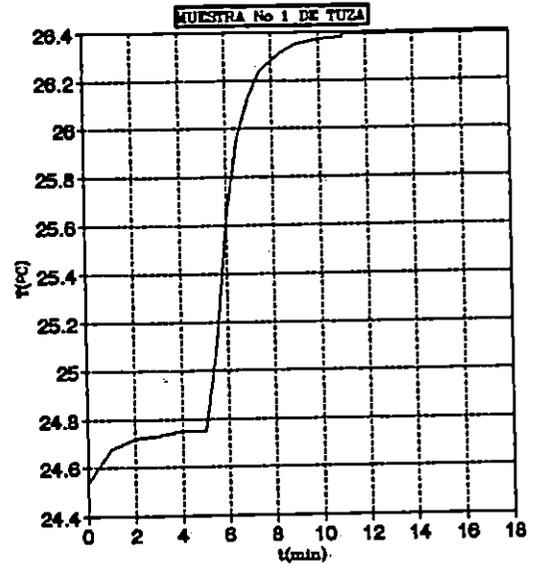
d. Planta Completa

FIGURA VI.2 GRAFICAS TEMPERATURA VERSUS TIEMPO PARA DETERMINAR EL PODER CALORIFICO (Hg) DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ EN LA REGION II

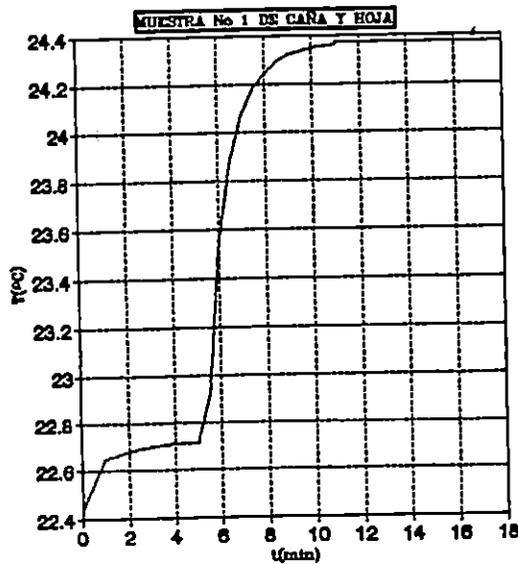
43



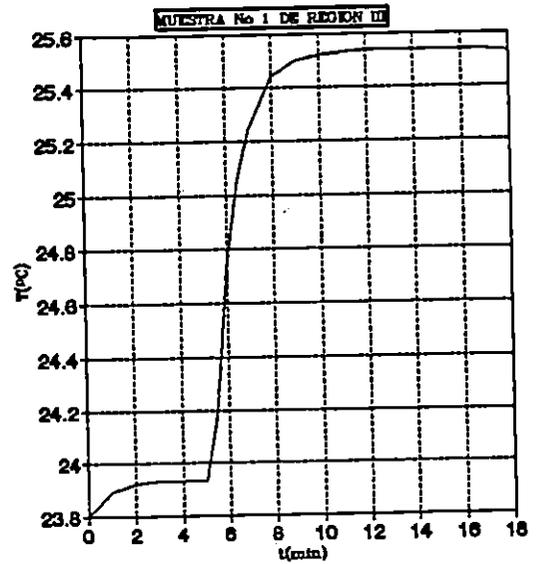
a. Olole



b. Tuza



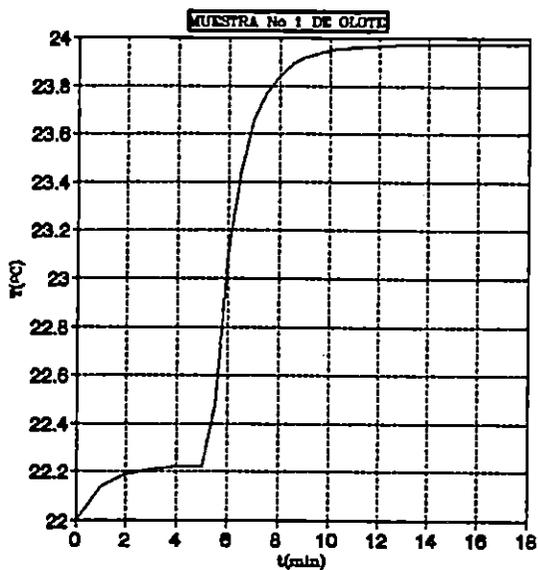
c. Hoja y Caña



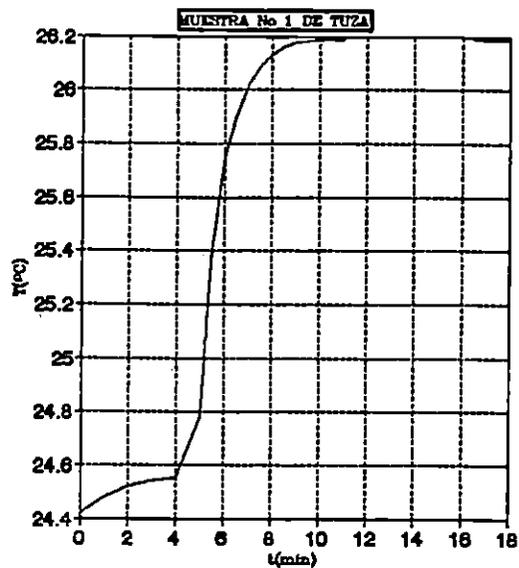
d. Planta Completa

FIGURA VL2 GRAFICAS TEMPERATURA VERSUS TIEMPO PARA DETERMINAR EL PODER CALORIFICO (Hg) DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ EN LA REGION III

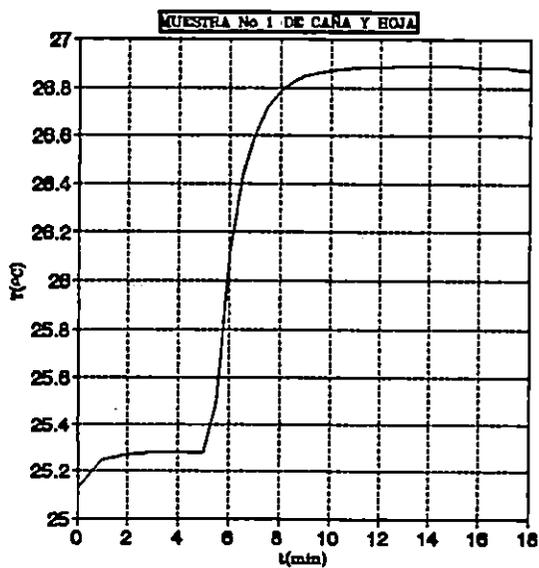
13



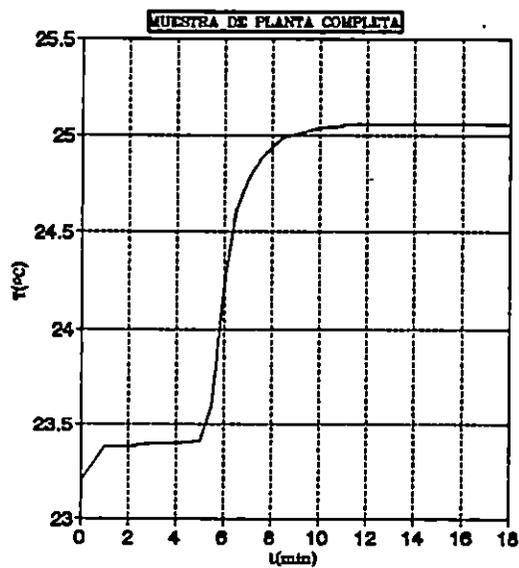
a. Oloje



b. Tuza



c. Hoja y Caña



d. Planta Completa

FIGURA VL2 GRAFICAS TEMPERATURA VERSUS TIEMPO PARA DETERMINAR EL PODER CALORIFICO (Hg) DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE MAIZ EN LA REGION IV

CUADRO VI.9  
ESTANDARIZACION DEL CALORIMETRO

t(min)	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	1	2	3	4
0.0	25.70	25.52	27.42	25.90
1.0	25.66	25.62	27.40	25.86
2.0	25.66	25.66	27.44	25.90
3.0	25.67	25.66	27.46	25.90
4.0	25.66	25.67	27.47	25.91
5.0	25.66	25.68	27.48	25.92
5.5	26.60	25.90	27.66	26.94
6.0	26.94	26.96	28.82	27.22
6.5	27.52	27.56	29.42	27.80
7.0	27.80	27.86	29.66	28.10
7.5	27.98	28.04	29.84	28.25
8.0	28.08	28.12	29.92	28.36
8.5	28.16	28.21	29.99	28.44
9.0	28.20	28.26	30.03	28.48
10.0	28.23	28.29	30.05	28.50
11.0	28.26	28.31	30.07	28.52
12.0	28.26	28.32	30.08	28.53
13.0	28.26	28.32	30.09	28.54
14.0	28.26	28.32	30.09	28.55
15.0	28.26	28.32	30.09	28.55
16.0	28.26	28.32	30.10	28.55
17.0	28.26	28.32	30.10	28.55
18.0	28.27	28.32	30.10	28.55

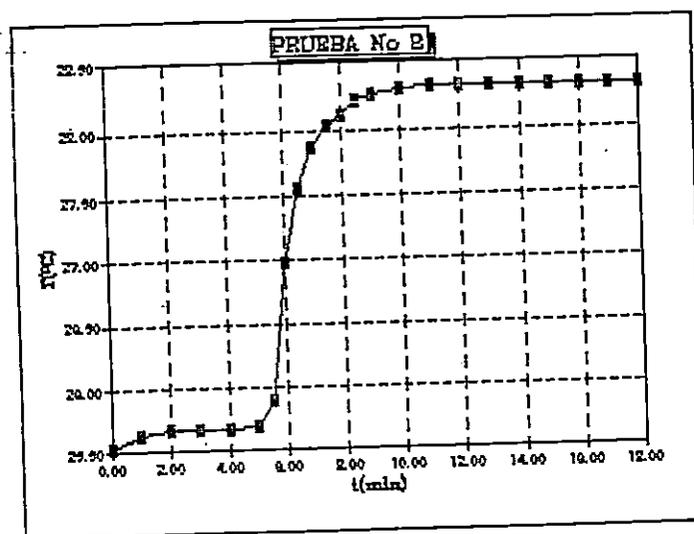
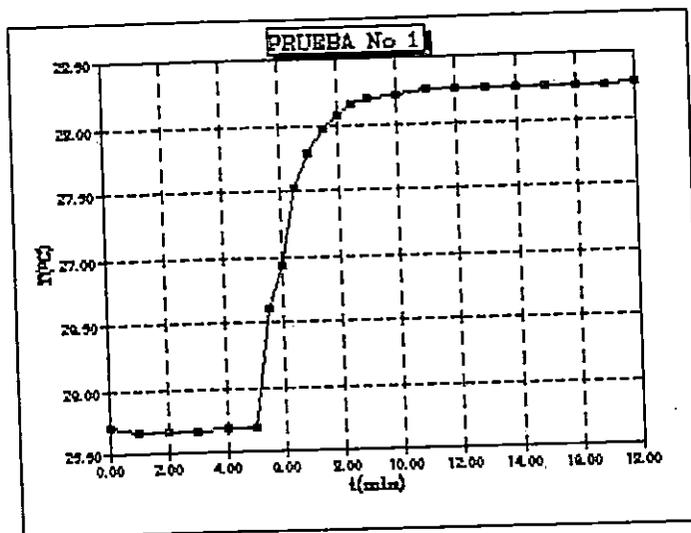


FIGURA VI.3 GRAFICAS DE TEMPERATURA VERSUS TIEMPO  
PARA LA ESTANDARIZACION DEL CALORIMETRO

PASA...

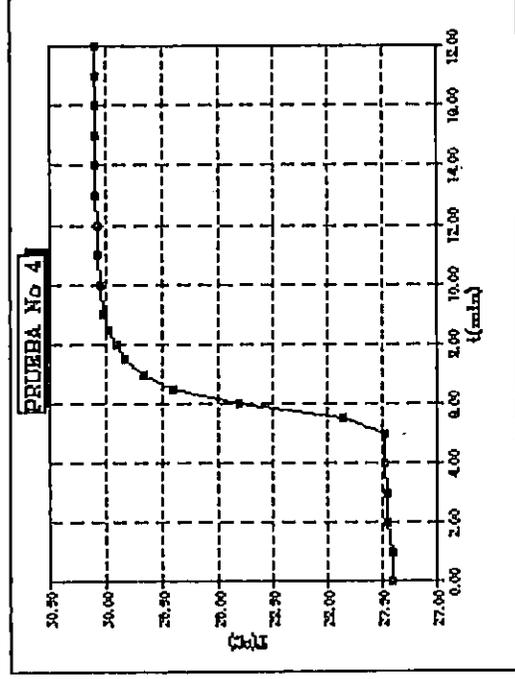
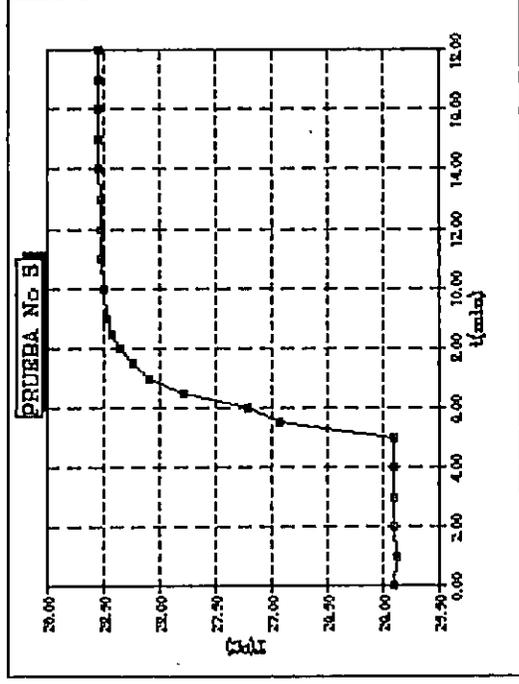


FIGURA VI.3 GRAFICAS DE TEMPERATURA VERSUS TIEMPO  
PARA LA ESTANDARIZACION DEL CALORIMETRO