

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS



ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE AZUCAR POR MANEJO EN LOS PROCESOS DE QUEMA,  
TRANSPORTE, MANEJO EN PATIO Y FABRICACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR EN INGENIO LA  
UNION, ESCUINTLA.

DOCUMENTO DE GRADUACION

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JUAN HUMBERTO FILIPPI VALDEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA  
EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO

GUATEMALA, FEBRERO DEL 2,002

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA**  
**RECTOR**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

DECANO	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	Prof. Abelardo Caal Ich
VOCAL QUINTO	Br. Axel Aureliano Herrera López
SECRETARIO	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, Febrero del 2,002.

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señores miembros:

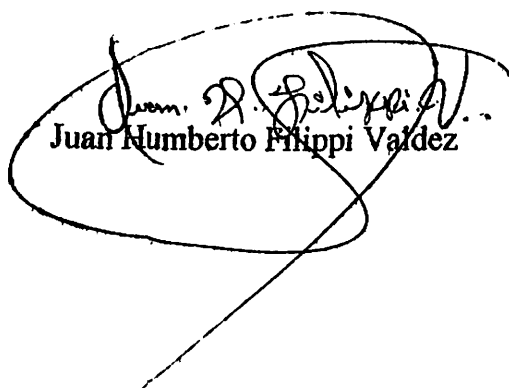
De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**“ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE AZUCAR POR MANEJO EN LOS PROCESOS DE QUEMA, TRANSPORTE, MANEJO EN PATIO Y FABRICACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR EN INGENIO LA UNION, ESCUINTLA”.**

Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo llene los requisitos para su aprobación, me suscribo de ustedes.

Atentamente,

  
Juan Humberto Filippi Valdez

## **ACTO QUE DEDICO**

- A: DIOS**                    **Por concederme la vida y la sabiduría para alcanzar mis metas.**
- MIS PADRES:**    **Un reconocimiento a todos sus esfuerzos y por depositar sus esperanzas y confianza en mi.**
- MI ESPOSA:**    **LUCRECIA QUAN DE FILIPPI.**  
**Gracias por su consejo, esfuerzo y constante estímulo brindado y por darme los dos regalos mas grandes de mi vida.**
- MI HIJO:**            **JUAN DIEGO FILIPPI QUAN.**  
**Para que sea un hombre de bien y siga el ejemplo de sus padres.**
- MI HIJA:**            **GINNA LUCRECIA FILIPPI QUAN**  
**Para que este esfuerzo sea digno de imitar.**
- MIS ABUELOS:** **GEOVANNI FILIPPI BONARDI. (Q.E.P.D.)**  
**HUMBERTO VALDEZ. (Q.E.P.D.)**  
**CARMEN RAMIREZ DE VALDEZ.. (Q.E.P.D.)**  
**VICTORIA CASTELLANOS DE FILIPPI. (Q.E.P.D.)**
- MIS TIOS, TIAS, Y PRIMOS CON MUCHO CARÍÑO.**
- FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**  
**ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA, BARCENA, VILLA NUEVA.**  
**COLEGIO PARROQUIAL SAN ANTONIO, SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.**
- CENTRO NIVERSITARIO CIUDAD VIEJA. POR FORMAR EN MI VALORES HUMANOS Y ESPIRITUALES, NECESARIOS EN ESTA VIDA.**

## **TESIS QUE DEDICO**

**A MIS ASESORES INGENIEROS MANUEL MARTINEZ OVALLE Y JORGE SANDOVAL ILLESCAS, POR SU ORIENTACION Y APOYO, NO SOLO EN LA ELABORACION DE ESTA TESIS, SINO EN MUCHOS ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA VIDA,**

**AL INGENIERO RAMIRO LOPEZ PINEDA POR SU ORIENTACION EN LA ESTRUCTURA Y ANALISIS DE DATOS DE ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.**

**AL PERSONAL PROFESIONAL DE CAMPO Y FABRICA DE INGENIO LA UNION POR COLABORAR EN LA TOMA DE DATOS DE ESTE TRABAJO. EN ESPECIAL AL INGENIERO MIGUEL MALDONADO POR SU AMISTAD Y APOYO BRINDADO A MI PERSONA.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**AGRADECIMIENTO SINCERO AL LICENCIADO JOSE MOLINA CALDERÓN POR SUS SABIOS CONSEJOS Y APOYO. POR SER EJEMPLO DE PROFESIONALISMO Y HONESTIDAD, ASI COMO EL BASTIÓN MÁS IMPORTANTE DE APOYO EN MI FORMACIÓN PROFESIONAL.**

## INDICE GENERAL

No.	TITULO	PAGINA
	<b>INDICE DE CUADROS</b>	iv
	<b>INDICE DE FIGURAS</b>	v
	<b>RESUMEN</b>	vi
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	2
<b>3.</b>	<b>MARCO TEORICO</b>	4
<b>3.1</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL</b>	4
3.1.1	Cosecha de la caña de azúcar	4
3.1.1.1	Organización de la zafra	4
3.1.2	Factores que inciden en la disminución del rendimiento agrícola e industrial de la caña de azúcar	4
3.1.2.1	Pérdida de peso	5
3.1.2.2	Pérdidas en el campo y en el acarreo	5
3.1.2.3	Deterioro del jugo	5
3.1.2.4	Quema	7
3.1.2.5	Tiempo transcurrido entre la quema y la molienda de la caña	8
3.1.2.6	Grado de madurez de la caña de azúcar	9
3.1.2.7	Variedad	9
3.1.2.8	Tipo de corte	9
3.1.2.9	Longitud de la caña de azúcar	9
3.1.2.10	Condiciones climáticas	9
3.1.2.11	Cantidad y tipo de materia extraña	10
3.1.3	La quema de la caña de azúcar previo a la cosecha	11
3.1.4	El deterioro de la caña por efectos de la quema	11
3.1.5	Manipulación y transporte de la caña	12
3.1.5.1	Deterioro de la caña de azúcar por efecto del tiempo	13
3.1.5.2	Aspectos de fabricación del azúcar	14
3.1.6	Sacarosa	14
3.1.7	Azúcares reductores	15
3.1.8	Grados Brix	16

No.	TITULO	PAGINA
3.1.9	Rendimiento	16
3.1.10	Pol	16
3.1.11	Pureza	17
3.1.12	Acidez	17
3.1.13	Objetivos generales de las etapas del proceso	17
3.1.13.1	Patio de caña	17
3.1.13.2	Molinos	17
3.1.13.3	Calderas	18
3.1.13.4	Cogeneración	18
3.1.13.5	Fabricación	18
3.1.14	Etapas del proceso de fabricación de azúcar sulfitada	18
3.1.14.1	Extracción de jugo	19
3.1.14.2	Clarificación de jugo	19
3.1.14.3	Evaporación	20
3.1.14.4	Cristalización	20
3.1.14.5	Centrifugación o purga	20
<b>3.2</b>	<b>MARCO REFERENCIAL</b>	21
3.2.1	Variedad CP 72-2086	21
3.2.1.1	Características agronómicas	21
3.2.1.2	Patología	21
3.2.1.3	Maduración	21
3.2.1.4	Rendimiento	21
3.2.1.5	Producción de fibra	22
3.2.1.6	Importancia económica	22
3.2.2	Ubicación y descripción del área experimental	22
<b>4.</b>	<b>OBJETTIVOS</b>	23
4.1.	OBJETIVO GENERAL	23
4.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
<b>5.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	24
5.1	Método de muestreo	24
5.2	Variables de respuesta	24

<b>No.</b>	<b>TITULO</b>	<b>PAGINA</b>
6.2.6	Análisis de varianza para las pérdidas en las diferentes etapas de elaboración del azúcar	36
6.3	Pérdidas totales por semana de zafra	38
6.4	Análisis económico de las pérdidas de azúcar	41
7.	<b>CONCLUSIONES</b>	44
8.	<b>RECOMENDACIONES</b>	45
9.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	46
10.	<b>APENDICE</b>	48

### **INDICE DE CUADROS**

<b>CUADRO</b>	<b>TITULO</b>	<b>PAGINA</b>
Cuadro 1.	Análisis de varianza realizado a la variable rendimiento de azúcar en libras de azúcar / tonelada de caña.	31
Cuadro 2.	Prueba de significancia entre promedios de Duncan para las diferentes etapas de elaboración del azúcar durante la zafra 1999 – 2000 en Ingenio La Unión, con la variable rendimiento en libras de azúcar / tonelada de caña.	32
Cuadro 3.	Análisis de varianza realizado a la variable pérdidas de azúcar en libras de azúcar / tonelada de caña para las diferentes etapas del proceso de elaboración.	37
Cuadro 4.	Prueba de significancia entre promedios de Duncan para las pérdidas por etapa de elaboración durante la zafra 1999 – 2000 en Ingenio La Unión.	37
Cuadro 5 A.	Rendimientos semanales por sitio de muestreo durante la zafra 1999 – 2000.	49
Cuadro 6 A.	Análisis del costo de las pérdidas de azúcar en el Ingenio La Unión, S. A. durante la zafra 1999 – 2000.	50
Cuadro 7 A.	Resultados de los análisis de jugos zafra 1999 – 2000.	51
Cuadro 8 A.	Cantidad de muestras analizadas durante la zafra 1999 – 2000.	52

No.	TITULO	PAGINA
5.2.1	Rendimiento previo a la cosecha y potencial azucarero de la variedad CP 72-2086.	24
5.2.2	Rendimiento en cola de ingreso al ingenio (Core Sampler)	25
5.2.3	Pérdidas en el campo	25
5.2.4	Rendimiento en el primer molino	25
5.2.5	Rendimiento al final de los molinos ó trapiches	26
5.2.6	Rendimiento final en fábrica	26
5.2.7	Pérdidas totales en fábrica	26
5.3	Análisis de la información obtenida	26
5.3.1	Análisis estadístico	26
5.3.2	Análisis de varianza y pruebas de significación entre promedios de rendimiento y pérdidas determinadas entre etapas	27
5.3.3	Análisis económico	27
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>28</b>
6.1	Rendimiento de azúcar por tonelada de caña molida en las distintas etapas del proceso de fabricación y potencial azucarero de la variedad CP 72-2086	28
6.1.1	Rendimiento precosecha	29
6.1.2	Rendimiento en la fila de ingreso al ingenio (Core Sampler)	29
6.1.3	Rendimiento al salir del primer molino	29
6.1.4	Rendimiento al final de los molinos (ingreso a elaboración)	29
6.1.5	Rendimiento final en fábrica (envasado)	30
6.1.6	Rendimiento potencial de la variedad CP 72-2086	30
6.1.7	Análisis de varianza entre etapas de elaboración durante la zafra 1999 – 2000 para la variable rendimiento en libras de azúcar / tonelada de caña	31
6.2	Pérdidas en el campo y pérdidas en fábrica	33
6.2.1	Pérdidas en cosecha	33
6.2.2	Pérdidas en patio	34
6.2.3	Pérdidas en molinos	34
6.2.4	Pérdidas en elaboración	34
6.2.5	Pérdidas totales en fábrica	35

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>TITULO</b>	<b>PAGINA</b>
Figura 1.	Rendimiento promedio semanal obtenido en cada una de las etapas del proceso de elaboración del azúcar en el Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.	28
Figura 2.	Rendimiento precosecha de la variedad CP 72-2086 obtenido en el Ingenio La Unión durante la zafra 1999 – 2000.	30
Figura 3.	Rendimiento promedio de azúcar / tonelada de caña en las distintas etapas de elaboración, Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.	32
Figura 4.	Promedio de pérdidas semanales registradas en cada una de las etapas del proceso de elaboración del azúcar en el Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.	33
Figura 5.	Promedio de pérdidas semanales registradas en la etapa de fábrica en Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.	35
Figura 6.	Pérdidas semanales registradas en la etapa de fábrica en Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.	36
Figura 7.	Pérdidas por etapa de elaboración registradas en Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.	38
Figura 8.	Comparación entre pérdidas en campo y pérdidas en fábrica registradas en Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.	39
Figura 9.	Proporción de las pérdidas de azúcar semanales durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión.	40
Figura 10.	Pérdidas de azúcar por semana de la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión.	41
Figura 11.	Comparación de pérdidas de azúcar en quetzales y dólares entre campo y fábrica durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión, S. A.	42
Figura 12.	Comparación de las pérdidas de azúcar en quetzales entre las distintas etapas de fabricación durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión, S. A.	43
Figura 13 A.	Comparación de las pérdidas de campo y fábrica con las pérdidas totales.	53
Figura 14 A.	Comparación de las pérdidas entre las diferentes etapas en la fábrica.	54

**ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE AZÚCAR POR MANEJO EN LOS PROCESOS DE QUEMA, TRANSPORTE, MANEJO EN PATIO Y FABRICACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR EN INGENIO LA UNION, ESCUINTLA.**

**ANNALYSIS OF SUGAR LOSSES FOR HANDLING IN THE PROCESSES OF BURN, TRANSPORT, YARD HANDLING AND ELABORATION ON SUGARCANE IN LA UNION SUGAR MILL, ESCUINTLA.**

**RESUMEN**

La presente investigación fue llevada a cabo en Ingenio La Unión, Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala, para estimar pérdidas de azúcar en las etapas de producción del azúcar. Se monitoreó el rendimiento de la caña previo al corte, continuando el monitoreo al ingresar a fábrica y determinar pérdidas durante el transporte al ingenio, debidas a procesos de corte, alce y transporte (cosecha) o pérdidas de campo.

Se estimó una pérdida promedio de 124.75 libras de azúcar por tonelada de caña molida, lo cual equivale a un total de 620 toneladas métricas de azúcar diarias, acumulando un total de 70,067.69 toneladas métricas de azúcar durante la zafra 1999 – 2000. Las pérdidas en campo registraron un promedio de 47.22 libras por tonelada de caña molida (45.08 % del total de pérdidas). En fábrica se registró un promedio de pérdida de 57.78 libras por tonelada de caña molida (55.15 %). Las pérdidas en patio se estimaron en 19.85 libras por tonelada de caña molida (34.36 % de las pérdidas en fábrica), en molinos se estimó una media de pérdida de 9.35 libras por tonelada de caña (16.18 %), y en elaboración se estimó una pérdida promedio de 28.58 libras por tonelada de caña molida (49.46 %). Las pérdidas de azúcar con base en el precio del mercado guatemalteco, se estimaron en Q.204,808,592.42 (Q.12,047,564.26 / semana de zafra). Con base en el precio del mercado internacional, las pérdidas alcanzan un total de US \$ 9,248,935.47 (US \$ 544,055.03 / semana). Las pérdidas debidas a cosecha alcanzaron un total de Q.93,331,275.57 (US \$ 4214739.89) y las pérdidas de fábrica ascendieron a Q.111,477,316.42 (US \$ 5,034,195.58), éstas últimas pueden dividirse en patio Q.38,303,606.07, molinos Q.18,037,029.87 y elaboración Q.55,136,680.92.

Debe evaluarse con mayor detalle las pérdidas en el proceso de extracción y elaboración de azúcar de caña tomando en cuenta el tiempo transcurrido entre cada uno de los procesos, ya que de acuerdo con la literatura el tiempo es uno de los factores que incide en las pérdidas de azúcar.

## 1. INTRODUCCION

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.), especie de la familia *Poaceae*, es cultivada para obtener la sacarosa almacenada en sus tallos. En Guatemala, dicho cultivo ocupa actualmente un total de 180,000 ha, convirtiendo a este cultivo fuente significativa de trabajo y divisas. El 71% de la producción es exportado, con lo cual Guatemala durante la zafra 1998 – 1999, se posiciona en el sexto lugar en el mundo y el tercero en América Latina. La apertura y globalización de la economía es un factor que ha influenciado en la agro industria azucarera mundial, dentro de la cual Guatemala ha logrado mantenerse a flote debido a su alto nivel de competitividad y eficiencia respecto a otros países azucareros. Sin embargo el proteccionismo y los subsidios a la exportación, especialmente en países constituidos como colonias de los países desarrollados, ha venido afectando el precio del azúcar en el mercado mundial durante los últimos años (4).

Durante los últimos años mucho se ha hablado respecto a las pérdidas de azúcar en las diferentes etapas del proceso, llegando a existir recelo entre productores de caña y fabricantes de azúcar punto de señalarse unos a otros como principales responsables de dichas pérdidas, las cuales se traducen en disminución de la eficiencia. Sin embargo pocas son las investigaciones al respecto, lo cual hace inherente la necesidad de realizar estudios respecto al tema.

La presente investigación fue llevada a cabo en el Ingenio La Unión, S. A.; ubicado en Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala, con el fin de determinar las pérdidas de azúcar en cada una de las etapas del proceso de producción del azúcar. Se eligió la variedad CP 72-2086, debido a que esta es la que ocupa el 80 % del área cultivada en Guatemala y el 70.81 % del área cultivada del Ingenio La Unión, S. A. Para tal efecto, se utilizó una metodología que permitiera monitorear el rendimiento de la caña desde el momento previo a su corte (muestreo precosecha), para conocer rendimientos potenciales, continuando con un monitoreo al momento de ingresar a la fábrica para determinar las pérdidas ocurridas durante el transporte al ingenio, utilizando un equipo diseñado para tomar muestras de caña de los camiones que se encuentran en la fila de ingreso (core sampler) esto con el fin de determinar las pérdidas debidas a procesos de corte, alce y transporte (cosecha) o pérdidas de campo.

Luego se le siguió la pista a dicha caña estableciendo un punto de muestreo en el patio de ingreso (para determinar pérdidas en patio), otro en el ingreso a la elaboración (para determinar pérdidas en molinos) y una última estación de muestreo al final del proceso (para determinar pérdidas en elaboración)

y así poder determinar las pérdidas totales en fábrica, las cuales sumadas a las pérdidas de campo dieron como resultado las pérdidas totales en todo el proceso. Dicho estudio se hizo durante todos los días de la zafra 1999 – 2000, para hacer luego un análisis semanal para poder estimar las pérdidas de azúcar en cada etapa del proceso desde que la caña era quemada hasta que se fabricaba el azúcar.

Los resultados obtenidos, en el Ingenio La Unión S. A. indican que durante la zafra 1999 – 2000, se perdieron en promedio 105 libras de azúcar por tonelada de caña molida, de las cuales 47.22 libras (44.97 %) se perdieron en el campo y 57.78 libras (55.03 %) se perdieron dentro de la fábrica en el proceso de elaboración. De las 57.78 libras perdidas en fábrica, un promedio 19.85 libras se perdieron en los patios (34.36 % de las pérdidas en fábrica), en la etapa de molienda se perdieron en promedio 9.35 libras (16.18 % de las pérdidas en fábrica) y en el proceso de elaboración (centrifugado, evaporación, etc.) se perdieron 28.58 libras en promedio (49.46 % de las pérdidas de fábrica).

En cuanto a las pérdidas en las etapas de campo, estas casi siempre son debidas a la degradación de azúcares producto del paso del tiempo. Son altamente preocupantes las pérdidas de sacarosa en el patio del ingenio y en la fábrica, por lo cual, el Ingenio La Unión, S. A. desean disminuir las pérdidas en dichas etapas del proceso deben de preocuparse por hacer una revisión exhaustiva a mayor detalle para determinar cuales son los factores que tienen mayor incidencia en dichas pérdidas.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La agro industria azucarera guatemalteca genera el 3% del producto interno bruto que equivale a US \$ 600 millones; además produce el 20% de energía eléctrica logrando aportar hasta 148 MW de potencia al sistema nacional. Empleó a 20,000 trabajadores en el corte de caña; mismos que alcanzaron 3,000,000 de jornales en los 17 ingenios que operan en el país durante los 150 a 175 días de la zafra 1,999 - 2,000 datos que muestran la importancia económica y social del cultivo en el país (4).

En la industria azucarera Guatemalteca el 80 % del área que se cultiva esta sembrada con variedades tempranas y floreadoras, iniciando este proceso de floración en los meses de Octubre y Noviembre. Para el caso del Ingenio La Unión se reporta que el 70.81 % de su área esta sembrada con la variedad CP 72-2086, la cual tienen características de ser altamente azucarera, maduración precoz, floración temprana y medianamente floreadora. Esta variedad alcanza su máximo contenido de azúcar en los meses de Diciembre, Enero y Febrero (primer tercio de zafra).

Existen reportes en este Ingenio que la variedad CP 72-2086 para esta época alcanza contenidos altos de sacarosa, de hasta 280 a 300 libras de azúcar / tonelada de caña (3). No existe al momento explicación alguna del por que el Ingenio en su proceso de fabricación envasa únicamente 210 a 215 libras de azúcar / tonelada de caña molida de dicha variedad.

La fabricación de azúcar se divide en dos grandes actividades. Una es la actividad agrícola, responsable de fabricar el azúcar en el campo y trasladarla al ingenio y la otra es la industrial, encargada de extraer el azúcar de los tallos de la caña. La actividad agrícola o de campo involucra dos etapas en las cuales se puede perder azúcar: quema y transporte de la caña desde el campo al ingenio.

La actividad industrial abarca dos grandes procesos en los cuales se puede perder azúcar: manejo de la caña en patio y proceso de fabricación. En Guatemala existe poca información sobre la pérdidas de azúcar tanto en fabrica como en campo. Por ello es necesario evaluar los rendimientos obtenidos en cada una de estas etapas del proceso.

Actualmente uno de los principales problemas entre el campo y la fábrica, es que no existe información que determine en cual de las etapas del proceso, (dos de ellos encomendados a campo y dos a fábrica), se pierde la mayor cantidad de azúcar. Normalmente existen diferentes opiniones entre estos dos grupos, unos aducen que la materia prima al llegar a ingenio no contiene el azúcar reportada en los análisis de pre quema y que la ha perdido por el tiempo transcurrido desde la quema hasta su arribo a ingenio. Mientras el otro grupo afirma que en la fábrica no le extraen adecuadamente el azúcar a la misma.

La presente investigación cuantificó la cantidad en libras de azúcar perdidas en fábrica y campo, evaluando cada uno de las etapas que intervienen desde el momento que se corta la caña hasta que se envasa en Ingenio, evitando de esta manera discrepancias entre los dos grupos mencionados.

Así mismo se cuantificó el potencial de producción de azúcar de la variedad CP72-2086 antes de la quema, para los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo ya que esta variedad ocupa el primer lugar en área sembrada en Guatemala así como en el Ingenio la Unión.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1 MARCO CONCEPTUAL**

##### **3.1.1 Cosecha de la Caña de Azúcar**

###### **3.1.1.1 Organización de la zafra**

La recolección de la cosecha es siempre la fase de mayor preocupación del cañero y del ingenio, pues aun contando con tiempo, y mano de obra y equipo de transporte no dejan de presentarse problemas que impiden efectuar las labores eficientemente para situar la caña en el ingenio en menos de 24 horas de cortada (5).

Un aspecto primordial para organizar el programa de corte es el control de sazonado y maduración de la caña. De acuerdo con la capacidad de molienda del ingenio así será el número de frentes de corte que se establezca. En general debe procurarse que exista el menor número posible. Flores (4) señala como ventajas, las siguientes:

- a) Mayor rapidez en la desocupación de campos grandes, para enseguida que termine la cosecha, iniciar labores de cultivo, riego, fertilización, etc.
- b) Mejor control de las entregas de caña de buena calidad, así como el manejo de cortadores y del equipo de alce y transporte, lo cual evita aumentos en los costos de la cosecha.
- c) Disminución del costo en brechas para el control de quemas y eliminación del riesgo de que la caña se deteriore en el campo.

Para que la cosecha de la caña rinda, es importante laborar la programación de los trabajos dos meses antes de la zafa, siendo esta labor encomendada a la Superintendencia del campo del ingenio (5).

##### **3.1.2 Factores que inciden en la disminución del rendimiento agrícola e industrial de la caña de azúcar**

Subiros (18) señala que son muchos los factores a nivel agrícola e industrial que pueden ocasionar pérdidas apreciables. Unos no se pueden controlar, otros sí, tales como la madurez, quemar sólo la cantidad de caña necesaria, que transcurra el menor tiempo entre la quema y la molienda, etc. A continuación se describirán los factores mas importantes que inciden en la disminución del rendimiento agrícola e industrial de la caña de azúcar.

### 3.1.2.1 Pérdida de peso

Subiros (18) señala que la permanencia de la caña en el campo por un período más allá de lo permisible (48 horas) produce reducciones apreciables en su peso por pérdida de humedad. Esta reducción del peso es acelerada durante los primeros días y conforme pasa el tiempo se estabiliza. La reducción del peso tiene mucha relación con la variedad y con las condiciones climáticas, en especial con la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Cuando la caña pierde agua se produce una concentración de sólidos en ella y un aumento de la fibra, sin embargo, este último aspecto interfiere negativamente en la extracción de sacarosa. En Australia, las pérdidas de peso de la caña quemada han oscilado entre 1.0 y 1.5%, siendo ligeramente mayores en la caña quemada comparada con la caña verde. Otras investigaciones indican reducciones del 11% durante los primeros 4 días y del 17% a los 8 días. En los que a la caña quemada sin cortar se refiere, se ha observado en Australia, que la misma tiene una ganancia de peso, debido a que el sistema radical continúa absorbiendo agua. Este aumento en peso fue del 2.5% a los 5 días posteriores a la quema, mientras que en la caña quemada y cortada mostró una reducción del 6% del peso.

### 3.1.2.2 Pérdidas en el campo y en el acarreo

A menudo se detectan pérdidas importantes de caña cuando se hacen estimaciones, tanto de la que permanece en el campo como de la que se pierde durante el acarreo. En algunas zonas esta situación se maneja bastante bien, sin embargo, en otras su manejo es ineficiente. Entre las causas están:

- a. Carretas sobrellenas.
- b. Malas condiciones del camino.
- c. Descuido o inexperiencia de los operadores de las cosechadoras mecánicas en el momento de hacer el cambio para llenar carretas y doble ejes.
- d. Tallos mal acomodados y que no pueden ser recogidos por las cargadoras.
- e. Tallos postrados que, al ser cosechados con las máquinas, quedan pegados en el surco o son tirados en el campo. La cantidad de caña dejada en el campo después de la cosecha es raramente menor al 2% y puede ser mayor al 10%.

### 3.1.2.3 Deterioro del jugo

El deterioro del jugo puede originarse por los distintos tipos de reacciones químicas o bioquímicas. La exposición prolongada del jugo en medio alcalino durante el procesamiento en la fábrica, provoca la descomposición de la sacarosa. En el campo, el deterioro comienza con la disminución del pH del jugo.

Esto se ha asociado principalmente por la formación de ácidos producidos por microorganismos, principalmente por la bacteria *Leuconostoc mesenteroides*.

Son varias las especies de *Leuconostoc*, que viven a expensas de la sacarosa, producen ácido láctico y ácido acético que aumentan la acidez del jugo. Son responsables de la biosíntesis de las dextranas, además de otros productos químicos. Todo lo anterior conduce a la disminución de la pureza del jugo y a la descomposición de la molécula de sacarosa, y por tanto, bajan la recuperación de sacarosa. La disminución del pH del jugo no debe ser utilizada como indicativo de la concentración de dextranas, ya que en ocasiones no está relacionado con su concentración (18).

El deterioro químico incluye la inversión causada tanto por las condiciones ácidas, las cuales aumentan a medida que se deteriora la caña, como por un efecto secundario de algún tipo de crecimiento microbiano. Los productos microbianos cambian aún más con el tiempo para formar ácidos y compuestos coloreados. El deterioro microbiano es causado principalmente por bacterias del género *Leuconostoc*, aunque existen muchos otros tipos de bacterias que pueden invadir la caña cortada. La bacteria *Leuconostoc mesenteroides* y *Leuconostoc dextraniicum*, son las responsables de la fermentación de la caña, pérdida de azúcar y formación de dextrano (2).

El intervalo entre el corte y la molienda es el período en el que los niveles de dextrano alcanzan sus valores más altos. Los niveles de dextrano en la caña picada durante la recolección aumentan hasta 7,000 ppm en 2 días. La reducción al mínimo del tiempo que transcurre entre el corte y la molienda es la medida más efectiva y práctica de controlar la formación de dextrano.

La infección de la caña con bacterias del género *Leuconostoc* sp. ocurre durante la quema o corta. En el primer caso, la pérdida de la cera, las rajaduras naturales o producidas por la alta temperatura y los cortes del machete o de las cuchillas de la cosechadora, permiten el desarrollo e ingreso de pequeñas colonias de las bacterias, que en pocas horas invaden la parte interna del tallo. Los tallos con cortes contundentes y lesiones son los que sufren mayor deterioro. La incidencia es más intensa en tallos quemados y picados comparados con caña sin quemar. Durante esta etapa, también puede haber fermentación acética y alcohólica a expensas de la sacarosa y otros azúcares (18).

Las dextranas son polímeros que rotan el plano de la luz polarizada hacia la derecha, con mayor poder (alrededor del 7%) que la sacarosa, varían en su composición química y tienen diferentes efectos en

el proceso de la elaboración. Estas se producen durante el proceso de deterioro de la caña, lo que ocasiona que las lecturas en el momento de determinar el Pol del jugo sean mayores a lo que son realmente. Producen otros inconvenientes serios durante la fase de formación de cristales, que adquieren forma de aguja, el agotamiento de las masas (mezcla de cristales y jugo madre) es menor, dificultan la eliminación de la miel en la centrífugas por lo que requiere mayor lavado y, por lo tanto, mayor circulación de las mieles.

#### **3.1.2.4 Quema**

La caña de azúcar comienza a deteriorarse desde el momento en que se inicia la quema y, la caña sin quemar o verde, desde que se corta. Al inicio, el proceso es lento, pero después, conforme transcurre el tiempo, se incrementa de manera rápida (5).

Son varios los estudios que han tratado de determinar bajo que condiciones se produce el mayor deterioro. En Turrialba, Costa Rica se ha observado que la caña que ha sido quemada y cortada se deteriora más rápidamente que la cortada pero sin quemar. Evaluaciones hechas en Australia concuerdan con los resultados encontrados en el caso anterior, observándose que el deterioro de la caña verde fue ligeramente menor que la quemada, en cuanto al contenido de la sacarosa, pureza y pH, pero superior en dextranas. Por otro lado, en Guatemala, en un estudio similar, encontraron que la caña verde cortada se deteriora más que la quemada cortada y esta aún más que la quemada sin cortar (18).

En otros estudios hechos en Australia se determinó que bajo condiciones climáticas secas y calientes, la caña quemada en pie sufrió las menores pérdidas por deterioro, mientras que la caña cortada sin quemar se afectó más rápidamente que la caña quemada cortada. La caña que es quemada y dejada en pie un día antes del corte, mostró una rápida reducción del porcentaje de azúcar recuperable en un grado mayor que la caña que se quema y se corta inmediatamente (18).

El clima parece jugar un papel muy importante, sobre todo la temperatura y la humedad, lo que incide en que los comportamientos puedan diferir de un lado a otro.

En términos generales, la caña quemada, si no se corta rápidamente, se deteriora más que la no quemada, situación que se ve favorecida cuando se producen precipitaciones, alta temperatura y alta humedad relativa.

En lo que respecta a la cosecha mecánica, la caña quemada y cortada sufre mayor deterioro si se compara con la cortada en trozos sin quemar, aunque algunos trabajos indican que en ambas es muy similar (18).

### **3.1.2.5 Tiempo transcurrido entre la quema y la molienda de la caña**

En el proceso de transporte de caña del campo a la fábrica se producen retrasos por períodos largos entre la corta y el procesamiento de la misma por múltiples razones, por ejemplo: desperfectos en el ingenio, falta de mano de obra para el corte, equipo mecánico insuficiente, exceso de materia prima y falta de planificación.

Durante las primeras horas las pérdidas de sacarosa por deterioro del jugo son despreciables. Con frecuencia se nota un aumento en el contenido de sacarosa, ocasionado por la pérdida de humedad. Sin embargo después de las 96 horas, la situación cambia y comienza a notarse pérdidas significativas en sacarosa recuperable (18).

En Hawai se ha observado que durante los primeros 5 días posteriores a la quema, se producen pérdidas de 14.7% de sacarosa y 50% a los 15 días; en Australia, entre los 4 y 5 días posteriores al corte; las pérdidas se han calculado entre 0.5% y 3% diarios.

En estudios preliminares efectuados en Guanacaste durante el período 1993-94, relacionado con el deterioro con el paso del tiempo, medido por el sistema de pago comercial de la caña empleando equipo de alta resolución (HPLC), se observó que el daño fue mayor en el mes de abril, comparado con el mes de febrero, lo que indica que el clima y en especial las elevadas temperaturas que se presentan en el mes de abril, pueden ocasionar una inversión mayor de la sacarosa.

Estos retrasos, además de causar pérdidas importantes de sacarosa, obligan a la fábrica a moler mayor cantidad de caña para producir una misma unidad de azúcar; además, cuando se procesa jugo deteriorado, la calidad del azúcar es de inferior calidad. Lo aconsejable es que el tiempo máximo entre la quema o corte (si no se quema) y la molienda, sea lo más corto posible, como máximo 48 horas, tiempo que posiblemente deba reducirse al final de la zafra, en el mes de abril, por las razones expuestas (18).

### **3.1.2.6 Grado de madurez de la caña de azúcar**

Subiros (18) señala que la caña madura se deteriora menos, en comparación con la caña que no ha madurado o que está pasada de madurez. En este último caso, cuando la temperatura es alta, el daño puede ser mayor.

### **3.1.2.7 Variedad**

Todas las variedades son susceptibles al deterioro del jugo; sin embargo, en unas ocurre con mayor velocidad e intensidad que en otras (18).

### **3.1.2.8 Tipo de Corte**

Independientemente del método de cosecha que se utilice, los cortes deben ser finos. Lo anterior se logra afilando bien los machetes, en el caso del corte manual, o de las cuchillas y discos en el corte mecánico; de lo contrario, se producen cortes contundentes que destrozan los tallos y facilitan la penetración de microorganismos, acelerando así el deterioro de la misma.

### **3.1.2.9 Longitud de la caña de azúcar**

La longitud del trozo de la caña después de cortado está muy relacionado con la velocidad con que daña el jugo. La caña cortada manualmente (caña larga) sufre menor deterioro que la cortada con máquina y, en ésta última, conforme la longitud de los trozos disminuye también lo hace la pureza, el pol y la sacarosa recuperable. La longitud recomendada deber ser alrededor de los 250 mm con un corte fino en los extremos.

### **3.1.2.10 Condiciones climáticas**

El clima juega un papel muy importante en la degradación de la sacarosa presente en el jugo del tallo. En Australia las mayores pérdidas se presentan en clima caliente con alta humedad relativa y son mayores durante los períodos lluviosos. Por otra parte, en estudios realizados en Guayana se ha observado que bajo condiciones secas, el jugo se mantuvo estable durante las 24 horas posteriores a la quema, no así con 3 días bajo condiciones húmedas. También se ha observado relación entre la humedad y el aumento de la acidez del jugo. En general, condiciones de alta temperatura y humedad ocasionan mayor deterioro del jugo, el cual es mucho mayor en caña picada que entera, alrededor del 28% de pérdida de sacarosa a los 5 días posteriores al corte (18).

### **3.1.2.11 Cantidad y tipo de materia extraña**

La cantidad de materia extraña está relacionada directamente con la variedad, unas tienen follaje más denso que otras y este se desprende con mayor o menor facilidad. Los cogollos constituyen entre el 50% y el 90% de la materia extraña, con un promedio del 68%.

El tipo de material, ya sean hojas secas, hojas verdes, cogollos y mamones, tienen una relación directa con la capacidad de retención de sacarosa. Estudios realizados en el ingenio Taboga, en Guanacaste, Costa Rica, indicaron que las hojas secas constituyen el material que causaba mayores pérdidas de sacarosa, 1.5 kg por cada 1% de materia extraña, así como una disminución apreciable de la pureza, más que cualquier otro tipo de materia extraña. Las hojas verdes y los cogollos ocasionaron una disminución cercana a 1 kg de sacarosa por cada 1% de materia extraña, muy similar a lo observado en otros estudios. Las pérdidas causadas por los "mamones" (tallos tiernos), no fueron tan drásticas debido a que proporcionaron cierta cantidad de sacarosa (18).

Las hojas secas por lo general se eliminan cuando se hace la quemada. En aquellos lugares en los que se acostumbra hacerla, debe ponerse especial atención a este tipo de material, Es necesario, además reducir al máximo el follaje verde, debido a que disminuye de manera considerable la extracción de sacarosa en la fábrica.

Cuando se realiza la cosecha de manera mecánica, en general, la incorporación de materia extraña es apreciable. Esto está muy relacionado con el tonelaje por unidad de área y con la velocidad de operación de la cosechadora. En evaluaciones realizadas en Estados Unidos, se ha podido observar que el aumento en la velocidad de cosecha de 40 a 80 toneladas/hora incrementó la cantidad de materia extraña de 25% a 50%.

Se ha determinado alguna relación en el aumento del "trash" o materia extraña cuando la cosecha mecánica se hace en horas de la mañana, en especial si la planta está muy húmeda. Estos valores aumentan, cuando por alguna razón la cosecha se lleva a cabo en la noche, ya que no obstante que las cosechadoras llevan iluminación propia, no es suficiente y se tienen problemas de visibilidad (16).

### **3.1.3 La Quema de la Caña de Azúcar Previo a la Cosecha**

Según INTECAP (11) la quema de la caña de azúcar previo a ser cosechada es una práctica que viene realizándose hace varios años en las zonas cañeras de la costa sur del país con el fin de lograr las siguientes ventajas:

- a. Mayor rendimiento en el corte.
- b. Limpieza de la caña.
- c. Elimina o aleja animales y materias extrañas que puedan obstaculizar el buen desempeño del cortador.
- d. Minimiza accidentes.
- e. Facilita el corte al observarse la base de los tallos.

Además de las ventajas anteriores se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- a. No debe quemarse más de lo que se corta en el día.
- b. La brecha contra fuego no debe ser menor de dos metros de ancho.
- c. Quemar de preferencia en las últimas horas del día.
- d. La quema debe realizarla el personal especializado, que debe conocer todas las normas de seguridad y contar con la autorización del superintendente de campo.
- e. La caña cortada no debe tardar más de dos días en el campo, ya que baja el porcentaje de sacarosa.
- f. Avisar durante el día que área va a ser quemada para que ninguna persona o equipo quede dentro del pante o pantes a ser quemados.
- g. Revisar las barreras contra fuegos antes de quemar para evitar quemar áreas imprevistas.

Humbert (7) señala: los agricultores en todo el mundo cañero tiemblan a la vista de un campo incendiado. Cada uno piensa en el valor de materia orgánica que se está convirtiendo en humo, pero la realidad es que se está volviendo muy costoso conservar las puntas y la basura por la mano de obra extra que se requiere.

### **3.1.4 El Deterioro de la Caña por Efectos de la Quema**

La quema produce dos efectos negativos sobre la caña de azúcar; pérdida de peso por evaporación de agua y una baja en el contenido de azúcar por inversión de la sacarosa en dextrosa y levulosa. Estas dos situaciones se inician desde el momento en que ocurre la quema, aumentando progresivamente a mediada que transcurre el tiempo de acuerdo a la variedad, clima y tratamiento que se le da a la caña. Durante las primeras 245 horas el deterioro es difícil de medir en términos económicos, pero de aquí en adelante se

comienza a apreciar hasta llegar a pérdidas definitivas, tanto para el productor de caña como para la fábrica (5).

Las condiciones climáticas tienen una gran influencia en el deterioro de la caña; así vemos como en Hawai y Perú la caña puede pasar algunos días sin ser molida y no se aprecian bajas en los rendimientos; en tanto en nuestro país, como la zafra se da en los meses de más calor, la descomposición es rápida. La lluvia acelera la descomposición de la caña y fomenta la aparición de hongos y bacterias que dificultan el tratamiento de jugo en la fábrica de azúcar (2).

El tratamiento que reciba la caña después de quemada, influye mucho, tanto es así que cuando por razones forzosas debe quedar en el campo después de quemada. No debe quedar en pie, pues al cortarla se retarda la descomposición. Si la caña es descogollada y roleada, se descompone prontamente y si está en forma de rolitos como lo hacen algunas cosechadoras la descomposición violenta comienza a partir de las 16 horas (2).

La quema mejora la calidad de la caña al remover la basura, remueve también la cera y cuece el tejido periférico de almacenamiento de los tallos: mientras más intenso es el fuego, mayores serán los daños. Estudios realizados en Florida han demostrado que los rendimientos de sacarosa pueden ser hasta de un 5 por ciento mayores en la caña que se quema cuando está fría que en la que se quema caliente (3).

En pruebas efectuadas en África del Sur, los trozos largos y sólidos de caña verde rinden hasta un 1.5% más de azúcar de caña comercial y presentan niveles más bajos de dextrana que la caña quemada con un período similar de corte a molienda (2).

### **3.1.5 Manipulación y transporte de la caña**

La mayor parte de la producción de caña de azúcar del mundo se cosecha y carga a mano, además una parte de la misma todavía se transporta en vehículos de tracción animal (carretas) tal es el caso de un frente de corte que se utiliza en Ingenio La Unión para cosechar en fincas vecinas como Belén. No obstante los primeros pasos encaminados a la mecanización se dan por lo general en la carga y el arrastre. El uso de cargadores de agarre (alzadoras) y carros con red de cadenas (jaulas) se ha extendido y en la actualidad se utilizan en todos los ingenios azucareros de Guatemala. El siguiente paso en la manipulación y transporte de caña lo constituyó la utilización de cosechadoras mecanizadas, las cuales

han venido paliando la deficiencia de mano de obra para el corte y alce de la caña de azúcar, aunque dicho cambio ha tenido que acompañarse con modificaciones en el sistema de siembra, riego e incluso ha sido necesario el modificar las unidades de transporte, ya que por el tamaño del trozo que deja la cosechadora en las jaulas normales sería imposible el transportar dicha caña (1).

### **3.1.5.1 Deterioro de la caña de azúcar por efecto del tiempo**

La calidad de la caña en el campo tiende a mejorar con la edad, llega a un máximo y luego declina. Cualquiera que sea la calidad en el momento del corte, se inicia un rápido deterioro desde el momento en que se quema y se corta la caña. La caña deteriorada constituye un hecho reprobable para toda la industria azucarera: los agricultores pierden tonelaje y los procesadores azúcar.

Después de cortada, la caña de azúcar pierde agua (1 a 2 % diario durante la primera semana). Cuando se quema antes de cortarla, las pérdidas de agua resultan mínimas, especialmente si se muele la caña durante el primer día después de cortada. La pérdida de agua crea un aparente aumento en el contenido de azúcar.

Por lo general el deterioro tiene lugar mediante procesos enzimáticos, químicos y microbianos. La enzima invertasa, que se encuentra naturalmente en la caña convierte a la sacarosa en azúcares invertidos (glucosa y fructosa) disminuyendo así la pureza. La tasa de inversión, que constituye una característica genética que se puede disminuir mediante la selección de variedades, varía a su vez con la temperatura y la humedad, y es más rápida en los períodos cálidos y secos.

Manoff, citado por Fogliata (5) trabajando en Tucumán en 1949, durante diciembre, encontró que la temperatura del cañaveral bajó de 64 grados Centígrados a 42, una hora después de la quema y cuando en el ambiente la temperatura era de 32 grados centígrados, es decir se puede cosechar la caña en el mismo día de la quema. Las conclusiones que obtuvo en cuanto a la calidad de la caña fueron las siguientes:

- a) Durante las primeras 48 horas no hay diferencias entre caña quemada y no quemada con la variedad Tuc 1406.
- b) Durante el estacionamiento la caña quemada se deteriora menos que la caña sin quemar.
- c) Durante el período siguiente a la quema, la caña quemada y dejada en pie sufre un deterioro superior al de la caña quemada, cosechada y estacionada, por igual período.

- d) La caña quemada y dejada en pie, pierde más peso y azúcar que la caña no quemada, cortada y estacionada.
- e) Los surcos quemados y cosechados de inmediato no tienen pérdidas de peso.
- f) Dentro de las 48 horas la caña quemada da un rendimiento fabril casi igual a la caña cosechada en forma normal.
- g) En algunas variedades las pérdidas de inversión en caña estacionada, es menor a las de esas variedades sin quemar, por destrucción de enzimas.
- h) Luego de la quema debe cosecharse de inmediato para que no haya problemas en la fábrica.

### 3.1.5.2 Aspectos de fabricación del Azúcar

Fogliata (5) señala que el jugo proveniente de caña quemada, no clarifica tan fácilmente como aquellos jugos provenientes de caña limpia sin quemar y se producen más incrustaciones en los evaporadores; minúsculas partículas de carbón pueden persistir a través de proceso fabril y aún aparecer en el azúcar, además menciona los problemas que ocasionan en fábrica el procesamiento de caña quemada con varios días de estacionamiento, ya sea que quedó en el cerco parada o cortada.

- a) Las partículas carbonosas pasan al jugo crudo y luego al clarificado, afectan su color, en especial cuando la decantación o filtración no andan bien.
- b) El jugo clarificado que proviene de la caña quemada, posee un tinte amarillento más elevado que el jugo de la caña normal.
- c) En los azúcares granulados no refinados, es más visible este tinte amarillento.
- d) Estos jugos de cañas quemadas estacionadas, decantan con más lentitud que los de las cañas frescas y producen más borras de cachaza en el decantador. Estas borras que son livianas afectan después el funcionamiento de los filtros rotativos a vacío.
- e) Las mieles y masas cocidas provenientes de cañas quemadas, son más viscosas que las cañas frescas y por eso alargan la duración de los cocimientos y dificultan el accionar de las centrífugas, en especial en templas de bajo producto.

### 3.1.6 Sacarosa

La sacarosa es un carbohidrato disacárido, compuesto de las síntesis de dos hexosas: D-glucosa y D-fructosa, siendo su fórmula empírica,  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , su peso molecular es de 342.296 g / mol (2).

Chen (2) señala que la sacarosa es el azúcar más común en el reino vegetal. La sacarosa se encuentra en todas las partes de la planta de caña de azúcar, pero abunda más en el tallo, donde se encuentra en las vacuolas de almacenamiento de la célula (parénquima). La sacarosa es menos abundante en las regiones que se encuentran en crecimiento activo, especialmente proporciones blandas del extremo del tallo y las hojas enrolladas.

La cristalización de sacarosa a partir de soluciones técnicas es un proceso complejo que no ha sido totalmente esclarecido, aunque ha sido muy estudiado, dada la importancia que tiene para el proceso de producción de azúcar a partir de jugos provenientes de un ser vivo como es la caña de azúcar o la remolacha azucarera (2). Las teorías más aceptadas puntualizan hechos comunes que se observan en la industria, como:

- a) El límite para la cristalización técnica de la sacarosa pura permite extraer la totalidad de la misma que se encuentre presente en la solución original. Se ha postulado que existe un punto a partir del cual no es posible separar sacarosa en condiciones aceptables de pureza debido a la existencia de saturación en otros compuestos y a la llegada a un punto donde el proceso se vuelve demasiado lento para ser práctico a nivel industrial. Mayor concentraciones de azúcares reductores favorecen una mayor separación y mayores concentraciones de sales, favorecen una menor separación de la sacarosa en la solución.
- b) Existen varias zonas sobre saturación que son función de la pureza de la solución y la temperatura. En la primera si no existen cristales, no se forman, pero si se introducen, empiezan a crecer hasta alcanzar un equilibrio (zona meta estable) y en la segunda aunque no existan núcleos iniciales, estos se forman y crecen (zona lábil).
- c) La calidad de proceso de cristalización es función de la viscosidad, concentración y tipo de impurezas, temperatura, secuencia de operaciones, forma de cristalización y estabilidad de condiciones.

### **3.1.7 Azúcares reductores**

Chen (2) indica que bajo esta denominación se sitúan todos los azúcares capaces de reducir iones metálicos, tales como el cobre en las soluciones de Fehling (sulfato de cobre- solución alcalina de tartrato), siendo esta en la industria azucarera la denominación normal de una mezcla equimolar de D-

glucosa (dextrosa) y D-fructosa (levulosa), normalmente presentan el jugo de caña debido al metabolismo propio de la misma o a condiciones de descomposición producidas por enfermedades o retardo en el corte y el ingreso al proceso. El caso de enfermedades puede dar origen a mezclas no equimolares en la que los efectos en las mediciones del proceso pueden ser desvirtuadas en grado apreciable y de hecho indica la existencia de problemas mayores.

### **3.1.8 Grados Brix**

Chen (2) define a los grados Brix como el porcentaje en peso de todos los sólidos (azúcares reductores y no reductores, colorantes orgánicos e inorgánicos) en solución de sacarosa pura. El porcentaje de Brix en el jugo es siempre mayor que el porcentaje de pol en el jugo.

Subiros (18) define a los grados Brix como la cantidad de sólidos en una "solución de sacarosa pura" expresada como porcentaje en peso, determinada por hidrómetro de Brix o cualquier otra medida de densidad convertida en la escala Brix. Por extensión, Brix representa los "sólidos aparentes" que contiene una solución de azúcar.

### **3.1.9 Rendimiento**

Subiros (18) llama así al peso de "azúcar comercial" que se obtiene de una determinada cantidad de caña. No se toma en cuenta la composición o análisis de azúcar. El rendimiento se puede expresar en forma porcentual o en libras de azúcar por tonelada de caña, o sea es el rendimiento de azúcar producido por tonelada de caña.

### **3.1.10 Pol**

Chen (2) indica que Pol es el término utilizado para expresar el contenido de azúcar. Usualmente establecido como porcentaje. El valor de Pol es determinado por polarización simple con un polariscopio. El término es usado como si se tratase de una sustancia real.

Subiros (18) define el Pol como el resultado que se obtiene de la polarización directa o sencilla en un sacarímetro de una solución, o del "peso normal" de un material sacarino en solución. Al igual que el Brix, el termino se emplea en los cálculos como sustancia (Pol por ciento caña, extracción de pol, etc.).

Debido a que el valor real de la sacarosa se ve afectado por las sustancias no sacarosas presentes en la solución, se usa "sacarosa aparente" como equivalente a Pol.

### **3.1.11 Pureza**

Chen (2) indica que la pureza, es el grado de pureza de la sacarosa en una solución. Debido a que el porcentaje de Brix es siempre más grande que el porcentaje de Pol, la pureza es siempre menor del 100%.

Subiros (18) señala que la pureza expresa en términos de porcentaje la proporción en que se encuentra la sacarosa o Pol respecto a los sólidos totales en cualquier material de ingenio azucarero. Básicamente la pureza de un producto azucarero, es el azúcar de caña presente en términos de porcentaje de la material sólida.

### **3.1.12 Acidez**

Chen (2) señala que el jugo de la caña normal es siempre ácido y la acidez se expresa generalmente como el número de mililitros de álcali décimo normal (usualmente NaOH) necesarios para neutralizar 10 mililitros del jugo; la fenoftaleína es el indicador que más se utiliza. Los valores de la acidez constituyen solamente un indicador indirecto del deterioro de la caña; el contenido de polisacáridos solubles, especialmente los dextranos representa un valor más directo.

### **3.1.13 Objetivos generales de las etapas del proceso**

#### **3.1.13.1 Patio de caña**

Su principal objetivo es eliminar la contaminación de la caña con tierra y materiales extraños, por medio de lavado con agua y detección de materiales extraños antes de entrar a las picadoras y al molino. Otro objetivo es la preparación de la caña con un 90 % de células abiertas. El patio de caña debe de suministrar a los molinos un colchón de caña uniforme y continuo.

#### **3.1.13.2 Molinos**

En la etapa de molinos, el objetivo es extraer la sacarosa de la caña, por medio de la extrusión y lixiviación con agua caliente, para el suministro de jugo de caña en forma continua al área de

clarificación, evitando el derrame o pérdidas principalmente por descomposición microbiana. Otro objetivo es suministrar al área de calderas bagazo con humedad menor o igual al 50 %.

### **3.1.13.3 Calderas**

Estas deben producir vapor en cantidad y calidad adecuada para el proceso, para que se obtenga la eficiencia máxima de combustión para la cual fue diseñada.

### **3.1.13.4 Cogeneración**

En la actualidad, la cogeneración produce la energía eléctrica necesaria para el proceso y los excedentes para ser vendidos en la red nacional de electrificación. Además debe producir el vapor de escape necesario para el proceso de fabricación.

### **3.1.13.5 Fabricación**

La fabricación tiene por objetivo transformar el jugo proveniente de los molinos en un material adecuado para la producción de azúcar de acuerdo a las normas de calidad establecidas. En dicha etapa debe de minimizarse las pérdidas de sacarosa, haciendo uso eficiente del vapor producido por las calderas y la cogeneración. Esta debe suministrar agua de condensados de calidad adecuada para la alimentación de las calderas. Debe realizarse cada sub etapa de la fabricación cumpliendo con normas de calidad de cada material intermedio, para optimizar todas las etapas del proceso.

## **3.1.14 Etapas del proceso de fabricación de azúcar sulfitada**

La producción de azúcar a partir de caña (*Saccharum spp.*) es básicamente un proceso de separación que consta de cuatro etapas: separación de fibra (material sólido insoluble), estabilización y separación de impurezas en suspensión, separación de agua, cristalización y separación del grano de azúcar de la miel. Estas cuatro etapas se realizan consecutivamente y en cada uno ocurre una pérdida de sacarosa mezclada en los materiales separados.

Cada una de las etapas se efectúa con equipo especialmente diseñado para el efecto, buscando en cada etapa: separación máxima de la sacarosa del material que se desea eliminar, pérdida mínima de sacarosa por motivos de proceso, buena calidad de materiales producidos para otras etapas y proceso estable.

### **3.1.14.1 Extracción de jugo**

La extracción del jugo se realiza moliendo la caña entre pesados rodillos o mazas. Previo a esto, la caña es preparada para su molienda mediante cuchillas giratorias que cortan los tallos en trozos pequeños, para que luego pasen a los molinos. El molino o trapiche consta de 6 unidades múltiples, que utilizan la combinación de tres o cuatro rodillos, a través de los cuales pasa sucesivamente la caña exprimida o bagazo.

Para ayudar a la extracción del jugo se aplican aspersiones de agua o guarapo diluido sobre la capa de bagazo en cada unidad de molienda; esto contribuye a extraer la sacarosa del mismo por lixiviación; a este proceso se le denomina comúnmente imbibición, saturación o maceración.

En este proceso en las fábricas eficientes se logra una extracción de sacarosa del 95 % y el bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, fibra leñosa y un 45 a 55 % de agua. Este material es llevado por lo general a las calderas para ser usado como combustible, pero muchos ingenios compran combustible y utilizan el bagazo en la fabricación de tablas de bagazo prensado para paredes o papel, cama o alimento para el ganado.

### **3.1.14.2 Clarificación de jugo**

El jugo procedente de los molinos es ácido y de color verde oscuro, primero se le disuelve  $\text{SO}_2$  gaseoso, el cual reacciona con los principales colorantes del jugo. Después se le neutraliza por medio de una suspensión de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Este proceso forma sales insolubles de calcio, principalmente Fosfatos de Calcio y además Sulfatos de Calcio insolubles.

Luego el jugo alcalizado se calienta hasta  $105^\circ$  Centígrados, lo cual coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas. Con la ayuda de un polímero polielectrolítico se forma un precipitado que atrapa los sólidos en suspensión y las partículas más finas. Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en filtros rotativos al vacío. El jugo filtrado regresa al tanque de jugo alcalizado y la torta de la prensa (cachaza) es desechada para ser utilizada después en el campo como fertilizante. El jugo clarificado transparente y de un color parduzco pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional.

### **3.1.14.3 Evaporación**

El jugo clarificado tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído, excepto las impurezas extraídas por el tratamiento con  $\text{Ca(OH)}_2$ , conteniendo alrededor del 85 % de agua. Dos terceras partes de esta agua se evaporan en evaporadores al vacío de múltiple efecto, normalmente de cuatro a cinco efectos; esto consiste en una sucesión de cuerpos dispuestos en serie de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un vacío más alto y por lo tanto una temperatura de ebullición más bajo.

El vapor del último cuerpo llega a un condensador, el jugo entra y sale en forma continua. El jarabe (meladura) que sale del último efecto lleva una concentración aproximada de 60 a 65 % de sólidos en peso y un 35 a 40 % de agua.

### **3.1.14.4 Cristalización**

La cristalización tiene lugar en los “tachos al vacío de simple efecto”, donde el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar. En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar y se va añadiendo más jarabe según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho, durante este proceso no se debe permitir la formación de cristales adicionales, de tal manera que cuando el tacho está totalmente lleno todos los cristales tengan el tamaño deseado. Los cristales y el jarabe forman una masa densa llamada masa cocida. La “templa” (contenido del tacho) se descarga luego por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristalizador.

La ebullición de las masas cocidas y re-ebullición de las mieles es llevada a cabo utilizando sistemas de ebullición escogidos para ajustarse a muchas condiciones.

### **3.1.14.5 Centrifugación o purga**

La masa cocida proveniente del mezclador o del cristalizador se lleva a máquinas giratorias llamadas centrífugas. El tambor cilíndrico suspendido de un eje tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con tela metálica, entre ésta y las paredes hay láminas metálicas que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El tambor gira a velocidades que oscilan entre 1,000 y 1,800 revoluciones por minuto.

El revestimiento perforado retiene los cristales de azúcar que pueden lavarse con agua si se desea. El licor madre, la miel, pasa a través del revestimiento debido a la fuerza centrífuga ejercida (de 500 a 1800 veces la fuerza de la gravedad), y después de que el azúcar es purgado, se corta dejando la centrífuga lista para recibir otra carga de masa cocida. Las máquinas modernas son exclusivamente del tipo de alta velocidad (o de una alta fuerza de gravedad) provistas de control automático para todo el ciclo. Los azúcares de un grado pueden purgarse utilizando centrifugas continuas.

## **3.2 MARCO REFERENCIAL**

### **3.2.1 Variedad CP 72-2086**

#### **3.2.1.1 Características agronómicas**

Tiene un color amarillo verdoso (los hijuelos poseen un color rosado), buen vigor y cierre de calles. Su crecimiento es erecto y no posee pubescencia; es una variedad que florece en alto porcentaje (hasta 99%), de fácil corte y desbajado regular. Tiene buen retoño y se adapta a todo tipo de suelo, aunque su rendimiento merma en forma mínima en suelos poco profundos y arenosos. Su resistencia a sequía es intermedia y es resistente a aplicaciones de herbicida (3).

#### **3.2.1.2 Patología**

La CP 72-2086 es una variedad resistente al carbón *Ustilago scitaminea* y altamente resistente a la roya *Puccinia melanocephala* Hook & Arn; susceptible al mosaico, con un porcentaje de incidencia que oscila entre 10 y 50%; sin embargo, dicha enfermedad no afecta su desarrollo y crecimiento.

#### **3.2.1.3 Maduración**

Esta variedad se clasifica como de maduración temprana, por lo cual se recomienda su siembra y cosecha para los meses de noviembre a febrero ya que en caso de atrasarse dichas actividades, debido a su alto porcentaje de floración se forma un tejido corchoso, empezando desde el tercio superior hacia abajo del tallo, lo que implica un despunte más abajo al momento del corte y cosecha, esto reduce la producción (12).

#### **3.2.1.4 Rendimiento**

Esta variedad produce buen tonelaje de caña por hectárea y un alto rendimiento en kilogramos de azúcar por tonelada tanto en experimentos como en plantaciones comerciales. En plantaciones comerciales se han obtenido rendimientos promedio de 116.39 toneladas de caña por hectárea y 94.34

kilogramos de azúcar por tonelada de caña molida en el ingenio. Produce un promedio de 130 ton/ha y un rendimiento de 108.18 kg de azúcar/ton de caña molida en el ingenio azucarero.

### **3.2.1.5 Producción de fibra**

Se ha obtenido en algunos experimentos, de 12.7 a 14% de fibra en caña plantilla de 12 meses de edad, lo que se considera como adecuado (3).

### **3.2.1.6 Importancia económica**

De acuerdo con Soto et al (17), la variedad CP 72-2086 ocupó durante la zafra 1997 – 1998 un 78.96 % del total del área cultivada en el Ingenio La Unión.

La importancia económica de esta variedad, radica en que se encuentra plantada aproximadamente en el 65.17 % de la zona cañera del sur de Guatemala, es una de las que mejor respuesta ha presentado en producción, razón por la cual, se ha llevado a cabo una gran cantidad de investigaciones respecto a la misma.

### **3.2.2 Ubicación y descripción del área experimental**

El ingenio La Unión, es una empresa agro industrial de sociedad anónima, que cultiva alrededor de 12,000 hectáreas de caña de azúcar, las cuales produjeron durante la zafra 1999 – 2000 alrededor de 1,500,000 Toneladas de caña. Dentro de las principales fincas cultivadas dentro de los tres estratos altitudinales de la zona cañera figuran: Belén, Bonanza, Carrizal, Cristóbal, El Mirador, Guanipa, La Confianza, Margaritas, Marinalá, Monte Alegre, Nueva Esperanza, Refugio Viejo, San Carlos, San Francisco, San Luis, Santa Ricarda, Tehuantepec y Virginia (8).

El ingenio o fábrica se encuentra en jurisdicción de la finca Belén, a una altitud de 140 metros sobre el nivel del mar. Dicho ingenio produjo un total de 165,632 toneladas métricas de azúcar durante 118 días de la zafra 1999 - 2000. Logrando un rendimiento promedio de 250.93 libras de azúcar / tonelada de caña molida durante dicha zafra (8).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Estimar las disminuciones en el rendimiento de azúcar (pérdidas) en libras / tonelada de caña molida ocurridas en cada una de las etapas del proceso de elaboración de azúcar de caña (*Saccharum* spp.) variedad CP 72-2086 en Ingenio La Unión, Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala, durante la zafra 1999 – 2000.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- 4.2.1 Estimar la disminución de rendimiento de azúcar (libras / tonelada de caña molida) en la fase de cosecha entre la etapa de quema e ingreso a la cola (transporte) en el ingenio La Unión, S. A. durante la zafra 1999 – 2000.
- 4.2.2 Estimar la cantidad de azúcar perdida en cada una de las etapas de elaboración del azúcar (manejo en patios, molienda y elaboración) en el Ingenio La Unión, S. A. durante la zafra 1999 – 2000.
- 4.2.3 Identificar en cual de las etapas del proceso se dan las mayores disminuciones de rendimiento (pérdidas).
- 4.2.4 Estimar el potencial de rendimiento en el campo (libras / tonelada de caña) para la variedad CP 72-2086 cultivada bajo condiciones del área de influencia del Ingenio La Unión, S. A.

## **5. METODOLOGIA**

Con el fin de determinar los rendimientos en cada una de las etapas del proceso de elaboración del azúcar tanto en campo como en fábrica, se analizó el rendimiento de azúcar de los lotes caña de la variedad CP 72-2086 cosechados durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo en las áreas de cultivo del Ingenio La Unión.

### **5.1 METODO DE MUESTREO**

Durante los 120 días de la zafra 1999 – 2000, se realizó un muestreo diario en diferentes puntos del proceso para poder determinar los rendimientos y pérdidas entre cada una de las etapas del proceso de elaboración del azúcar desde que la caña está lista para ser cosechada en el campo.

### **5.2 VARIABLES DE RESPUESTA**

Las muestras fueron tomadas durante las diferentes etapas del proceso, las cuales dieron paso a las siguientes variables de respuesta:

#### **5.2.1 RENDIMIENTO PREVIO A LA COSECHA Y POTENCIAL AZUCARERO DE LA VARIEDAD CP 72-2086**

Para los análisis de Pre-cosecha se tomó dos muestras por lote de 7 hectáreas. Cada muestra consistió en una cepa de caña aproximadamente de 8-10 cañas. La caña fue despuntada 2 entrenudos abajo del cogollo simulando el corte del cosechador. Con estos muestreos semanales, se determinó el potencial azucarero de la variedad CP 72-2086, tanto por semana como por mes de la zafra.

Las muestras de caña fueron llevadas al laboratorio del Ingenio La Unión, para su análisis respectivo, donde fueron sometidas a un proceso de desfibrado, homogenización y prensado hidráulico para la extracción del jugo. Al jugo extraído de cada muestra le fue determinado el rendimiento en libras de azúcar / tonelada de caña, ° Brix, Pol y Pureza en el laboratorio de análisis de caña del Ingenio.

### **5.2.2 RENDIMIENTO EN COLA DE INGRESO AL INGENIO (CORE SAMPLER)**

La caña cosechada es transportada desde los campos de cultivo hasta la fábrica, para el caso del Ingenio La Unión, la distancia entre dichos puntos oscila entre los 5 y 70 kilómetros, este proceso lleva entre 2 y 48 horas de tiempo transcurrido luego de la quema y corte de la caña. Para dicha labor se utilizan camiones (trailers) provistos de equipos especiales de transporte (jaulas) con capacidad de transportar 60 toneladas de caña por viaje. Cada camión está identificado así como las jaulas con códigos internos del ingenio. Por medio de una orden de envío se lleva el control de la procedencia de la caña que transporta cada camión. En la nota de envío se encuentra consignada la información respecto a la finca, lote y variedad de caña, hora de quema, hora de salida del área de cosecha, etc.

Al momento de ingresar al Ingenio, se tomó una muestra por cada camión al pasar por la báscula con el **CORE SAMPLER** (Muestreador mecánico). La muestra tomada por este aparato fue identificada para luego ser llevada al laboratorio para hacerle los mismos análisis que a las muestras de pre cosecha.

### **5.2.3 PERDIDAS EN EL CAMPO**

Estas se calcularon, basados en la disminución del rendimiento entre el muestreo precosecha y el rendimiento en el Core Sampler. Se obtuvieron datos diarios y por semana de molienda para luego ser analizados en tablas y gráficos. Además se obtuvieron datos del rendimiento de azúcar por finca y por lote.

### **5.2.4 RENDIMIENTO EN EL PRIMER MOLINO**

Luego de ingresada la caña al ingenio en las jaulas, esta es descargada y dejada en los patios de ingreso, en donde pasa cierto tiempo antes de ser ingresada a una serie de molinos para que se le extraiga el jugo. Para efectos del ensayo, se ubicó una estación de muestreo en el primer molino, donde se colectó a diario el jugo de la caña ingresada previamente con el fin de enviarlo al laboratorio de análisis del ingenio y así poder comparar el rendimiento que presentaba dicho jugo en ese momento luego de entre 60 y 75 horas después de la quema y corte de la caña en el campo, la diferencia entre el rendimiento anterior (core sampler) y el rendimiento obtenido de en este punto constituyó uno de los primeros componentes de

las pérdidas en fábrica, y se le denominó “pérdidas en patio”; es decir las pérdidas ocasionadas por el tiempo que la caña es retenida en el patio de ingreso.

### **5.2.5 RENDIMIENTO AL FINAL DE LOS MOLINOS Ó TRAPICHES**

Se ubicó otra estación de muestreo al final de la batería de molinos del ingenio, donde se colectaron muestras de jugo, para así poder enviarlas al laboratorio para su análisis. Este es el punto donde el jugo ingresa a proceso o sea a la fábrica propiamente dicha, por lo cual se identificó como rendimiento de ingreso a la elaboración. La diferencia entre el rendimiento del jugo en el primer molino y el rendimiento al final de la serie de molinos se constituyó como el segundo componente de pérdida en fábrica, denominado “pérdida en molinos”.

### **5.2.6 RENDIMIENTO FINAL EN FABRICA**

Los jugos extraídos en los molinos pasan por diferentes etapas en la fábrica o ingenio, dentro de las cuales pueden mencionarse la clarificación de jugos, la evaporación, la clarificación del jarabe crudo, la cristalización y el centrifugado o purga. En general la fábrica únicamente reporta el llamado “rendimiento de envasado” o sea la cantidad de libras de azúcar producidas por tonelada de caña ingresada al ingenio. Este rendimiento reportado se comparó con el rendimiento reportado al final de los molinos, para determinar las “pérdidas en la elaboración”, las cuales se constituyeron en el tercer componente de las pérdidas de fábrica.

### **5.2.7 PERDIDAS TOTALES EN FABRICA**

Estas fueron calculadas a partir de la sumatoria de pérdidas de patio, pérdidas en molinos y pérdidas en la elaboración. Se obtuvieron datos diarios y por semana durante la zafra 1999 – 2000.

## **5.3 ANALISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA**

### **5.3.1 ANALISIS ESTADÍSTICO**

Se utilizó un análisis gráfico y estadístico descriptivo a las variables rendimiento precosecha, rendimiento en el core sampler, pérdidas de campo, rendimiento en el primer molino, pérdidas de patio,

rendimiento al final de los molinos, pérdidas en molinos, rendimiento final de fábrica y pérdidas en elaboración.

Se elaboraron gráficos de cada una de las variables de respuesta, con el fin de comparar rendimientos y pérdidas semanales en el transcurso de la zafra 1999 – 2000. Se obtuvieron promedios, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo para cada una de las variables analizadas.

### 5.3.2 ANALISIS DE VARIANZA Y PRUEBAS DE SIGNIFICACIÓN ENTRE PROMEDIOS DE RENDIMIENTO Y PÉRDIDAS DETERMINADAS ENTRE ETAPAS

Con el afán de enriquecer el análisis en el presente ensayo, se evaluó la significancia entre los rendimientos y pérdidas reportados en cada una de las estaciones de muestreo, utilizando para ello un modelo lineal aditivo que tomara en cuenta el sitio de muestreo y la semana de muestreo como variables independientes y el rendimiento observado como variable dependiente. El modelo lineal propuesto para dicho análisis fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij}$$

En donde:  $Y_{ij}$  = Rendimiento ó pérdida en libras de azúcar / tonelada de caña

$\mu$  = Media general de rendimiento o pérdida

$\alpha_i$  = Efecto del  $i$  – ésimo sitio de muestreo.

$\gamma_j$  = Efecto de la  $j$  – ésima semana de muestreo.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental asociado a la  $i, j$  – ésima muestra.

Las pruebas de significación entre promedios de Duncan, fueron utilizadas cuando los resultados del análisis de varianza reportaron diferencias significativas entre sitios y / o semanas de muestreo.

### 5.3.3 ANALISIS ECONOMICO

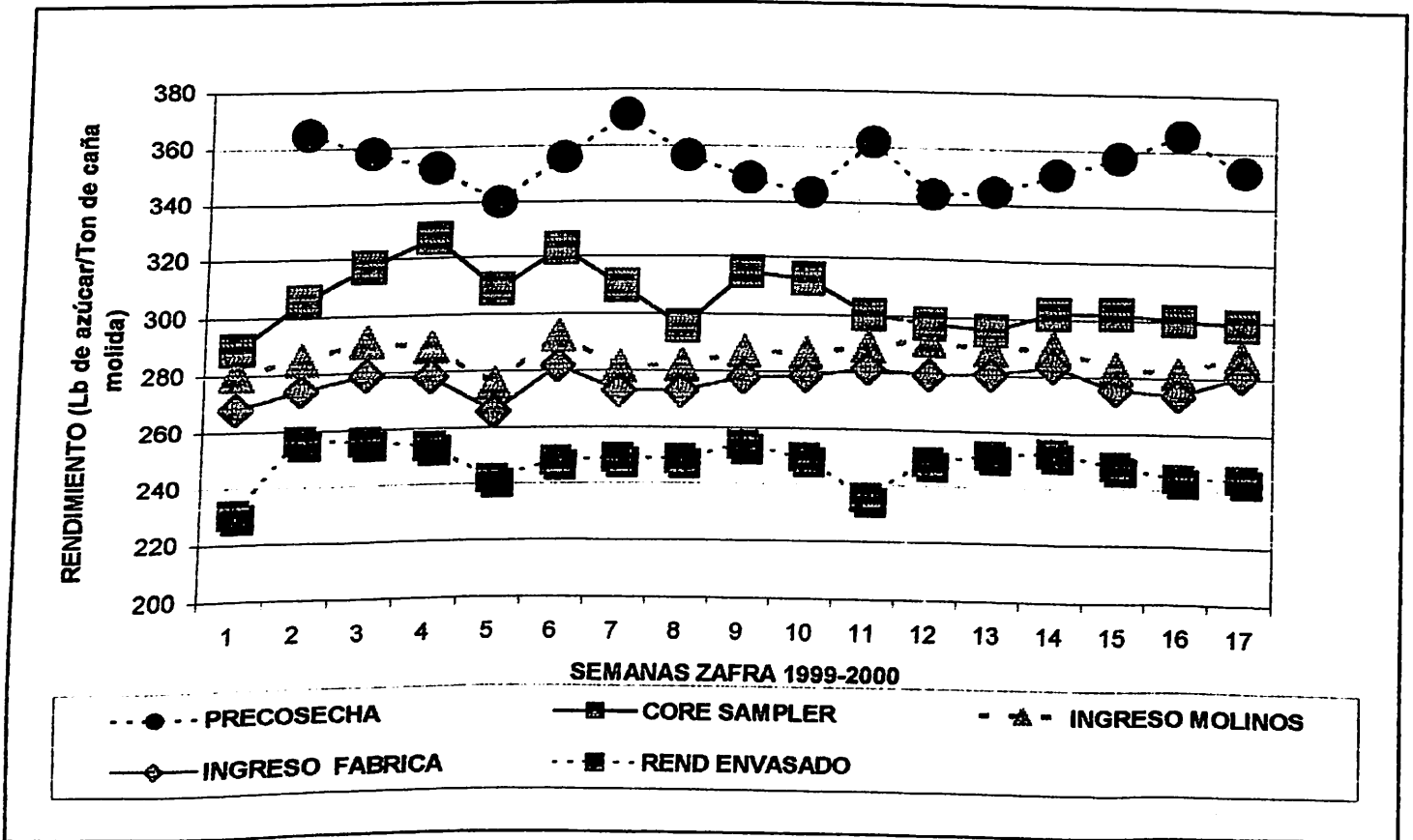
Se realizó un análisis económico simple de costo basado en los datos de pérdida obtenidos en cada una de las etapas del proceso, para así poder cuantificar las pérdidas económicas de cada etapa, tomando en cuenta el precio del azúcar en el mercado nacional e internacional, así como el tipo de cambio (Quetzales / US \$).

**6. RESULTADOS Y DISCUSION**

A continuación se presentan los resultados de rendimiento por etapa de elaboración y pérdidas de azúcar semanales de la variedad CP 72-2086, obtenidos a partir de los muestreos realizados.

**6.1 RENDIMIENTO DE AZUCAR POR TONELADA DE CAÑA MOLIDA EN LAS DISTINTA ETAPAS DEL PROCESO DE FABRICACION Y POTENCIAL AZUCARERO DE LA VARIEDAD CP 72-2086**

Los rendimientos semanales obtenidos en cada una de las etapas de elaboración muestreados durante la investigación, fueron tabulados en hojas electrónicas, para luego someterlos a un análisis gráfico, la Figura 1, muestra un comparativo de los rendimientos obtenidos por semana en cada una de las etapas de elaboración.



**Figura 1. Rendimiento promedio semanal obtenido en cada una de las etapas del proceso de elaboración del azúcar en el Ingenio La Unión, zafra 1999 –2000.**

### **6.1.1 Rendimiento precosecha**

Pudo observarse que en los muestreos pre cosecha se obtuvo los mayores rendimientos, durante las 17 semanas de la zafra, con un rendimiento promedio de 354.32 libras de azúcar / tonelada de caña molida y una desviación estándar de 8.99 libras. El rendimiento máximo obtenido fue de 371.13 libras de azúcar / tonelada de caña molida y se logró durante la séptima semana de zafra. El rendimiento menor obtenido fue de 339.79 libras y se obtuvo durante la quinta semana de zafra.

### **6.1.2 Rendimiento en la fila de ingreso al ingenio (Core sampler)**

El rendimiento en la cola de ingreso al ingenio, obviamente es menor, siendo producto del deterioro de la caña en la etapa de transporte desde el campo de cosecha hasta el sitio donde se encuentra ubicado el ingenio azucarero. Dichos rendimientos mostraron un promedio de 305.94 libras de azúcar / tonelada de caña molida y una desviación estándar de 10.34 libras, el rendimiento máximo observado en este punto fue de 327.01 libras de azúcar / tonelada de caña molida, correspondiente a la cuarta semana de zafra. El rendimiento mínimo observado fue de 288.98 libras / tonelada de caña molida y se obtuvo durante la primera semana de la zafra, esto debido sin duda a inconvenientes que siempre ocurren al iniciar la zafra es cuando mayor tiempo transcurre entre la cosecha y el ingreso al ingenio.

### **6.1.3 Rendimiento al salir del primer molino**

En cuanto al rendimiento de azúcar del jugo de caña al salir del primer molino, la Figura 1 deja observar que durante las 17 semanas de la zafra 1999 – 2000, se obtuvo rendimientos relativamente similares con un promedio de 286.09 libras de azúcar / tonelada de caña, con una desviación estándar de 4.74 libras, presentando un máximo de 292.39 libras de azúcar / tonelada de caña ocurrido durante la sexta semana de la zafra y un mínimo de 275.59 libras de azúcar / tonelada, registrado durante la quinta semana.

### **6.1.4 Rendimiento al final de los molinos (ingreso a elaboración)**

Al salir de la serie de molinos (trapiche) los jugos de la caña presentaron un rendimiento promedio durante la zafra de 276.74 libras de azúcar / tonelada de caña, con una desviación estándar de 4.85 libras, un rendimiento máximo de 283.56 libras de azúcar / tonelada de caña, registrado durante la semana 14 de dicha zafra y un rendimiento mínimo de 265.81 libras de azúcar / tonelada de caña, obtenido durante la quinta semana de la zafra 1999 – 2000.

### 6.1.5 Rendimiento final en fábrica (envasado)

El rendimiento final o envasado reportado por el ingenio luego de finalizado el proceso de elaboración del azúcar de caña, mostró un promedio de 248.16 libras de azúcar / tonelada de caña, con una desviación estándar de 6.91 libras, mostrando un máximo de 256.73 libras de azúcar / tonelada de caña, registrado durante la segunda semana de zafra y un mínimo de 230.88 libras de azúcar / tonelada de caña, registrado durante la primera semana de la zafra.

### 6.1.6 Rendimiento potencial de la variedad CP 72-2086

Los rendimientos obtenidos en los muestreos pre cosecha dan una idea del potencial de rendimiento azucarero que mostró la variedad CP 72-2086 cultivada en las fincas del Ingenio La Unión durante la zafra 1999 – 2000. Esto puede visualizarse de mejor forma en la figura 2, la cual presenta una comparación de rendimiento precosecha por mes de zafra.

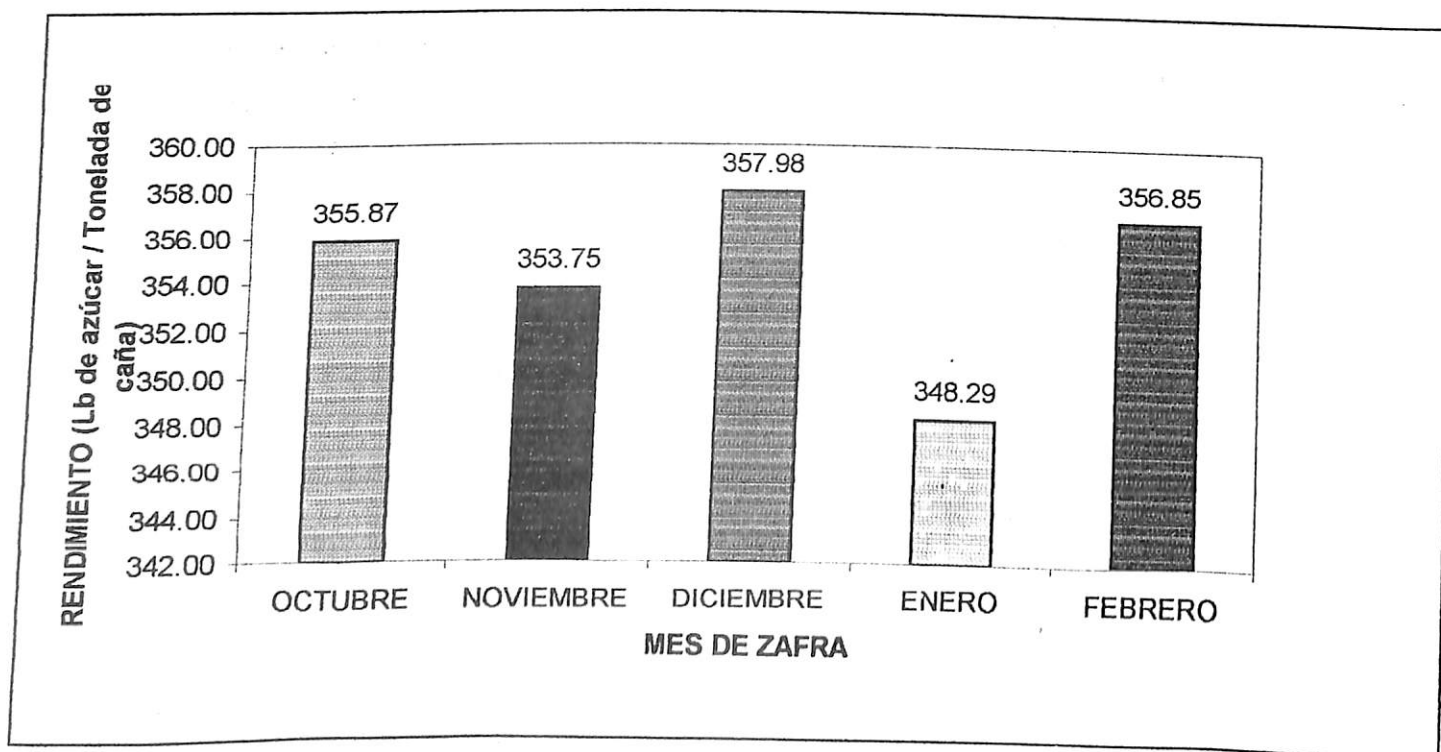


Figura 2. Rendimiento pre cosecha de la variedad CP 72-2086 obtenido en el Ingenio La Unión durante la zafra 1999 – 2000.

La gráfica anterior demuestra que la variedad CP 72-2086, cultivada bajo condiciones del Ingenio La Unión, expresó su mayor potencial de azúcar de la mencionada zafra, durante el mes de diciembre de 1,999 (357.98 libras de azúcar / tonelada de caña) y en el mes de febrero del año 2000 (356.85 libras de

azúcar / tonelada de caña), mostrando un rendimiento promedio mínimo de 348.29 libras durante el mes de enero del 2000.

#### 6.1.7 Análisis de varianza entre etapas de elaboración durante la zafra 1999 – 2000 para la variable rendimiento en libras de azúcar / tonelada de caña

Para determinar la existencia de diferencias entre los rendimientos obtenidos en las distintas etapas de elaboración y semanas de muestreo en el ingenio La Unión durante la zafra 1999 - 2000, se realizó un análisis de varianza utilizando el programa estadístico SAS System for Windows, Versión 6.12, determinándose que durante la zafra en estudio existieron diferencias significativas entre etapas de elaboración, al reportarse valores de probabilidad inferiores al nivel crítico de 0.05 ( $Pr > F = 0.0001$ ), esto puede observarse de mejor forma en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Análisis de varianza realizado a la variable rendimiento de azúcar en libras de azúcar / tonelada de caña.**

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	Pr > F
Etapas de elaboración	4	106108.2642	26527.0660	581.26	0.0001**
Semana de muestreo	16	1504.4786	94.0299	2.06	0.0218 **
Error Experimental	64	2920.8027	45.6375	---	---
Total	84	110533.5455	----	---	---

**Coefficiente de variación = 2.29 %**

\*\* = Altamente significativo.

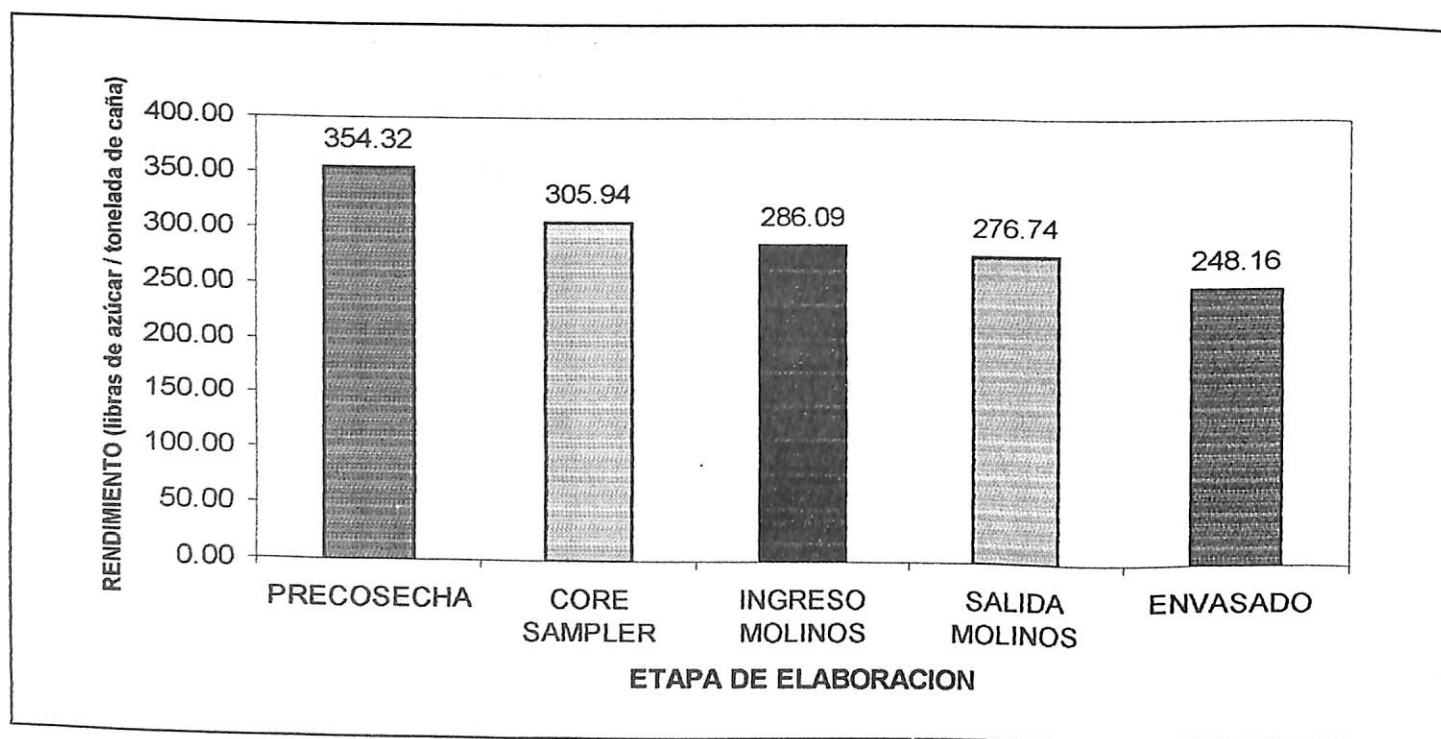
De acuerdo con la información brindada por el cuadro 1, también entre semanas de muestreo existió diferencia significativa, al encontrarse valores de probabilidad inferiores al nivel crítico de 0.05 ( $Pr > F = 0.0218$ ) por lo cual puede deducirse que el rendimiento semanal en las distintas etapas de elaboración durante el transcurso de la zafra 1999 -2000 no fue estable.

Por lo anterior se procedió a realizar una prueba de significancia entre promedios de Duncan, para determinar cual de las etapas de elaboración obtuvo el mayor rendimiento. Los resultados pueden observarse en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Prueba de significancia entre promedios de Duncan para las diferentes etapas de elaboración del azúcar durante la zafra 1999 – 2000 en Ingenio La Unión, con la variable rendimiento en libras de azúcar / tonelada de caña.

ETAPA DE MUESTREO	PROMEDIO (libras de azúcar / Ton. de caña)	Grupo Duncan
PRECOSECHA	354.32	A
CORE SAMPLER	305.94	B
PRIMER MOLINO	286.09	C
SALIDA MOLINOS	276.74	D
ENVASADO	248.16	E

Puede observarse que la prueba de medias de Duncan establece cinco grupos distintos, por lo cual todas las etapas de elaboración presentan promedios estadísticamente diferentes a un nivel de significancia del 0.05. Esto nos confirma que si existe influencia de la degradación de la sacarosa sobre el rendimiento en cada etapa del proceso de elaboración. Esto puede visualizarse en la Figura 3, donde se muestra una gráfica de los promedios de rendimiento obtenidos por etapa de elaboración



**Figura 3.** Rendimiento promedio de azúcar / tonelada de caña en las distintas etapas de elaboración, Ingenio La Unión, Zafra 1999 – 2000.

## 6.2 PERDIDAS EN EL CAMPO y PERDIDAS EN FABRICA

Las pérdidas semanales registradas en cada una de las etapas de elaboración monitoreadas durante la investigación, fueron tabuladas en hojas electrónicas, para luego ser sometidas a un análisis gráfico, la Figura 4, muestra un comparativo de las pérdidas obtenidas por semana en cada una de las etapas de elaboración.

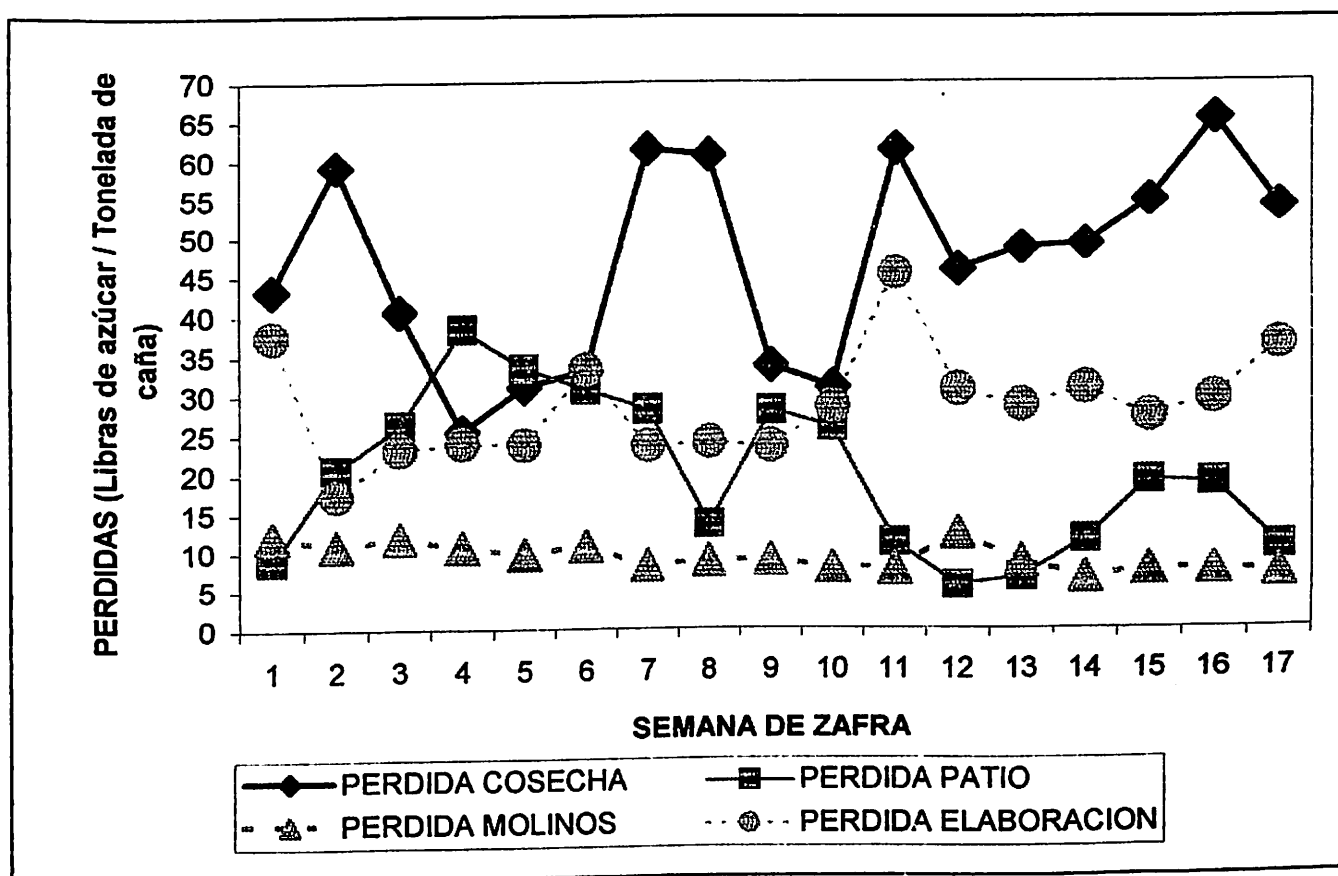


Figura 4. Promedio de pérdidas semanales registradas en cada una de las etapas del proceso de elaboración del azúcar en el Ingenio La Unión, zafra 1999 –2000.

### 6.2.1 Pérdidas en cosecha

Las pérdidas en cosecha son producto de la degradación de la caña en la etapa de transporte desde el campo de cosecha hasta el sitio donde se encuentra ubicado el ingenio azucarero. Dichas pérdidas mostraron un promedio de 46.98 libras de azúcar / tonelada de caña molida y una desviación estándar de 9.37 libras, la máxima pérdida observada en la etapa de cosecha fue de 65.45 libras de azúcar / tonelada de caña molida, registradas durante la semana dieciséis de zafra. El valor mínimo de pérdida atribuida a la

etapa de cosecha observado fue de 25.45 libras / tonelada de caña molida, y fue observado durante la semana cuatro de zafra.

### **6.2.2 Pérdidas en patio**

Las pérdidas en el patio son producto de la degradación de la caña que es retenida en el patio antes de su ingreso a la cortadora y trapiches. Dichas pérdidas mostraron un promedio de 19.85 libras de azúcar / tonelada de caña molida y una desviación estándar de 10.03 libras, la máxima pérdida observada en dicha etapa fue de 38.26 libras de azúcar / tonelada de caña molida, registradas durante la cuarta semana de zafra. El valor mínimo de pérdida observado fue de 5.61 libras / tonelada de caña molida, y fue observado durante la semana doce de la zafra.

### **6.2.3 Pérdidas en molinos**

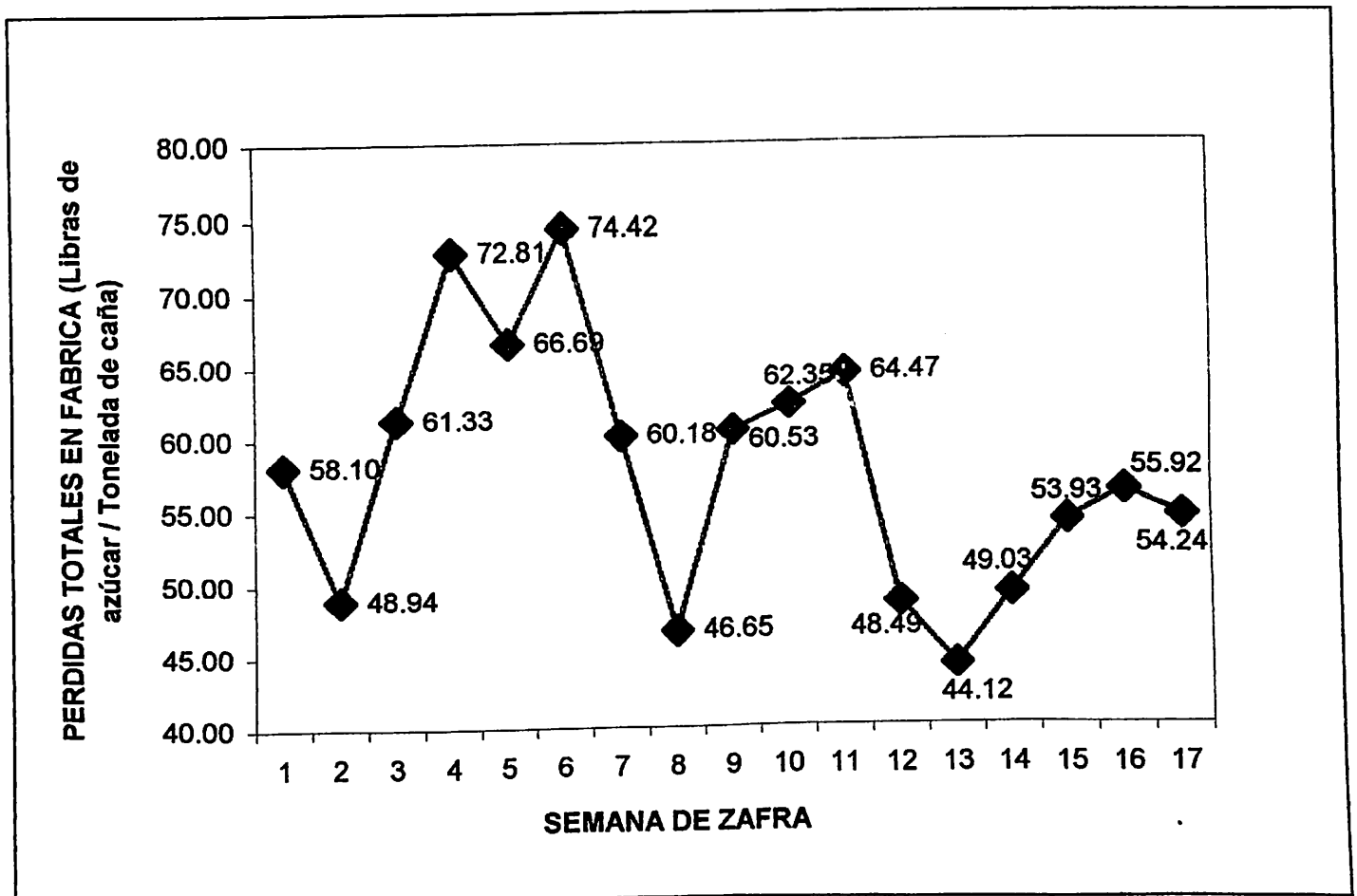
Las pérdidas en los molinos son producto varios factores como el contenido de materia extraña, la cual secuestra la sacarosa al absorberla dentro de la fibra que es desechada en como bagazo. Estas pérdidas mostraron un promedio de 9.35 libras de azúcar / tonelada de caña molida y una desviación estándar de 1.78 libras, la máxima pérdida observada en esta etapa fue de 12.42 libras de azúcar / tonelada de caña molida, registradas durante la doceava semana de zafra. El valor mínimo de pérdida observado fue de 6.72 libras / tonelada de caña molida, y fue observado durante la semana catorce de la zafra.

### **6.2.4 Pérdidas en elaboración**

Las pérdidas en elaboración son quizá las más discutidas, ya que se atribuyen a una mala supervisión de los procesos de clarificación, evaporación y centrifugado, ya una buena cantidad de sacarosa se pierde en la melaza y otros subproductos. Dichas pérdidas mostraron un promedio de 28.58 libras de azúcar / tonelada de caña molida y una desviación estándar de 6.71 libras, la máxima pérdida observada en este punto fue de 45.42 libras de azúcar / tonelada de caña molida, registradas durante la semana once de zafra. El valor mínimo de pérdida observado fue de 17.36 libras / tonelada de caña molida, y fue observado durante la segunda semana de zafra.

### 6.2.5 Pérdidas totales en fábrica

Las pérdidas totales en fábrica fueron el resultado de la sumatoria de las pérdidas de patio, las pérdidas en molinos y las pérdidas en elaboración. Dichas pérdidas oscilaron también entre las 44.12 y 74.42 (una diferencia de 30.30) libras de azúcar / tonelada de caña, con un promedio de 57.78 libras de azúcar / tonelada de caña y una desviación estándar de 8.86. La pérdida máxima promedio semanal (74.42 libras) se registró durante la semana seis de la zafra y la mínima (44.12 libras) durante la semana trece, tal como se observa en la Figura 5.



**Figura 5. Promedio de pérdidas semanales registradas en la etapa de fábrica en Ingenio La Unión, zafra 1999 –2000.**

Pero debido a que debe de determinarse cual de las etapas del proceso de fabricación es la que mayores pérdidas promedio registró, se elaboró un gráfico de barras apiladas, la cual se muestra en la Figura 6.

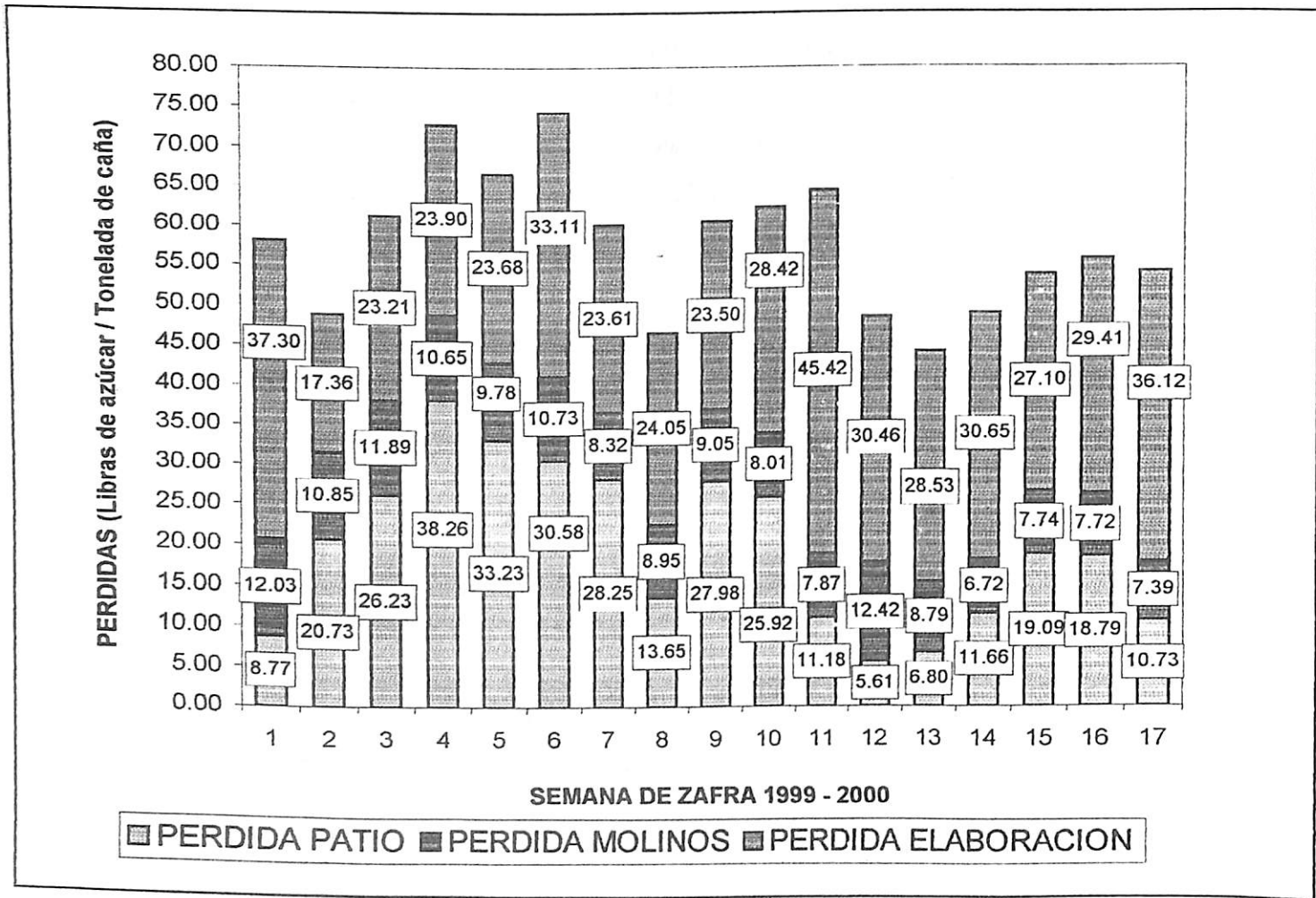


Figura 6. Pérdidas semanales registradas en la etapa de fábrica en Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.

De acuerdo con lo que nos muestra el gráfico anterior, los mayores contribuyentes en las pérdidas dentro de la fábrica son el patio y la elaboración, ya que las pérdidas en los molinos son mínimas en comparación con las pérdidas en las otras dos etapas.

### 6.2.6 Análisis de varianza para las pérdidas en las diferentes etapas de elaboración del azúcar

Como pudo observarse en el análisis de la variable rendimiento que las disminuciones en rendimiento (pérdidas) eran distintas entre cada etapa de elaboración, se procedió a elaborar un análisis de varianza para la variable pérdidas por etapa de elaboración. Los resultados de dicho análisis pueden observarse en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Análisis de varianza realizado a la variable pérdidas de azúcar en libras de azúcar / tonelada de caña para las diferentes etapas del proceso de elaboración.**

Fuente de variación	Grados de Libertad	Sumatoria de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	Pr > F
Etapas de elaboración	4	26518.3734	6629.5933	75.56	0.0001**
Semana de muestreo	16	664.5546	41.5347	0.47	0.9513 N.S.
Error Experimental	64	5615.3279	87.7395	----	----
Total	84	32798.2560	----	----	----

**Coefficiente de variación = 28.82 %**

\*\* = Altamente significativo N. S. = No significativo.

De acuerdo con la información proporcionada por el cuadro anterior, existió diferencias significativas en cuanto a las pérdidas en las distintas etapas de elaboración, pues se reportaron valores de probabilidad inferiores al nivel crítico de 0.05 ( $Pr > F = 0.0001$ ), no así para las distintas semanas de muestreo, donde el valor de probabilidad fue mayor al nivel crítico propuesto de 0.05 ( $Pr > F = 0.9513$ ). Por lo anterior se procedió a realizar una prueba de significancia entre promedios de Duncan, para determinar cual de las etapas de elaboración obtuvo el mayor promedio de pérdidas. Los resultados pueden observarse en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Prueba de significancia entre promedios de Duncan para las pérdidas por etapa de elaboración durante la zafra 1999 – 2000 en Ingenio La Unión.**

ETAPA DE MUESTREO	PROMEDIO (libras de azúcar / Ton. de caña)	Grupo Duncan
FABRICA	57.78	A
COSECHA	46.98	B
ELABORACIÓN	28.58	C
PATIOS	19.85	D
MOLIENDA	9.35	E

Puede observarse que la prueba de medias de Duncan establece cinco grupos distintos al igual que en la variable rendimiento, por lo cual todas las etapas de elaboración presentan promedios estadísticamente diferentes a un nivel de significancia del 0.05. Esto nos confirma que si existe influencia

de la degradación de la sacarosa sobre el rendimiento en cada etapa del proceso de elaboración. Esto puede visualizarse en la Figura 7, donde se muestra una gráfica de los promedios de pérdidas registradas por etapa de elaboración.

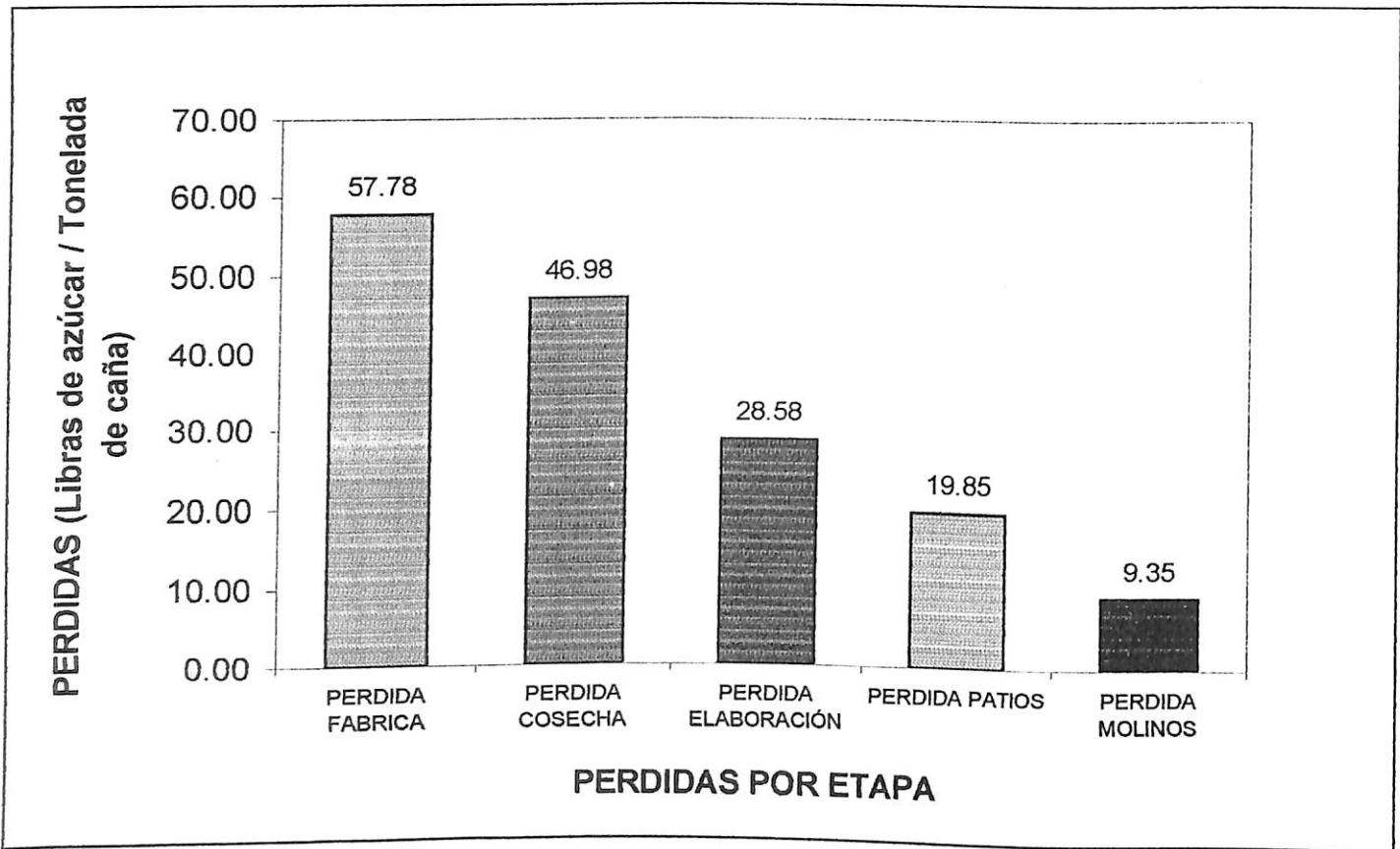


Figura 7. Pérdidas por etapa de elaboración registradas en Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.

### 6.3 PERDIDAS TOTALES POR SEMANA DE ZAFRA

Las pérdidas totales registradas son el resultado de la sumatoria entre las pérdidas de campo y las pérdidas de fábrica (pérdidas en patios + pérdidas en molinos + pérdidas en elaboración) registradas por cada semana de la zafra 1999 – 2000 (Figura 8).

Los datos obtenidos mostraron un promedio de 104.75 libras de azúcar / tonelada de caña molida y una desviación estándar de 10.39 libras, la máxima pérdida observada en esta etapa fue de 125.99 libras de azúcar / tonelada de caña molida, registradas durante la onceava semana de zafra. El valor mínimo de pérdida observado fue de 92.75 libras / tonelada de caña molida, y fue observado durante la semana trece de la zafra.

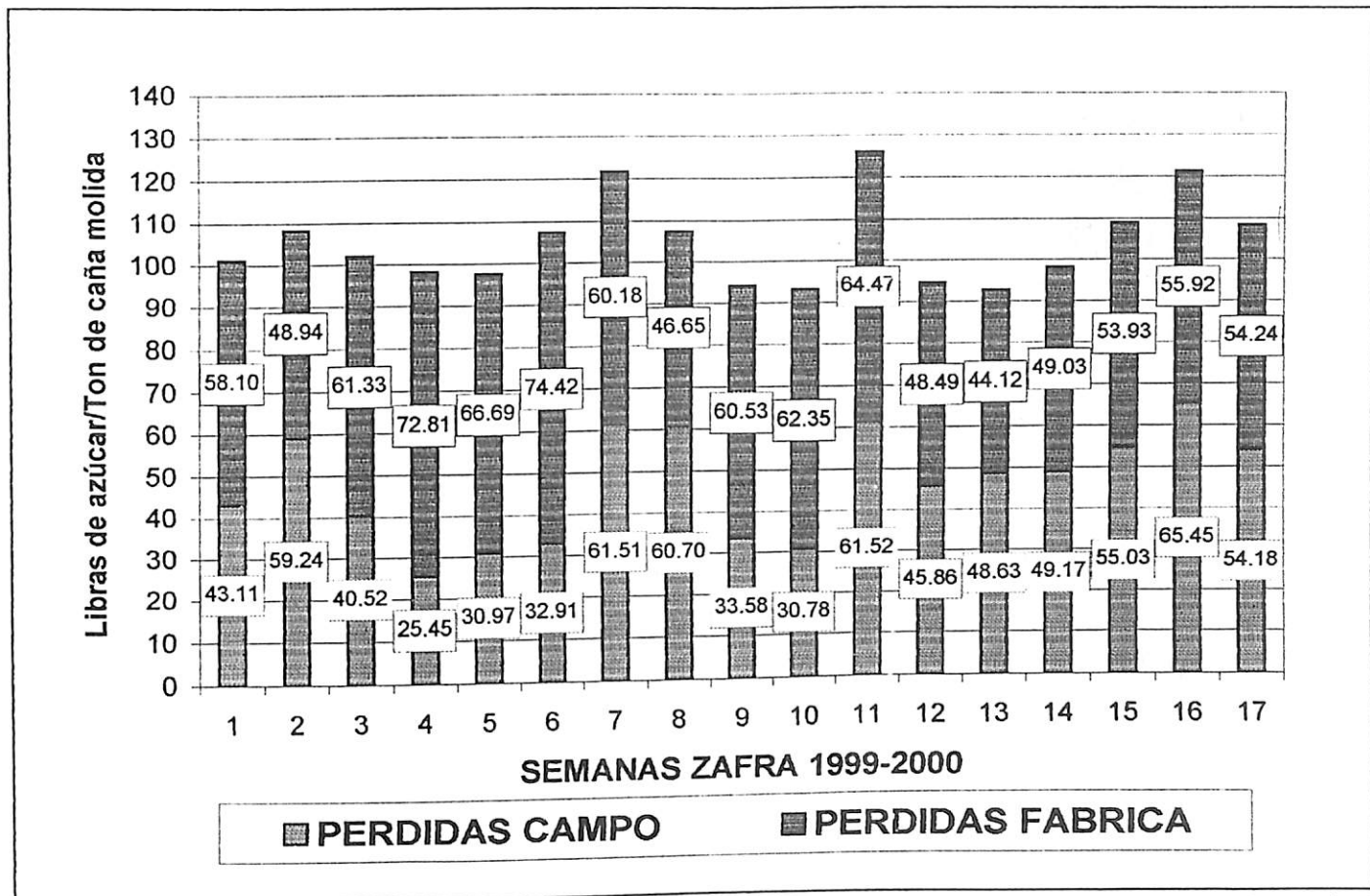
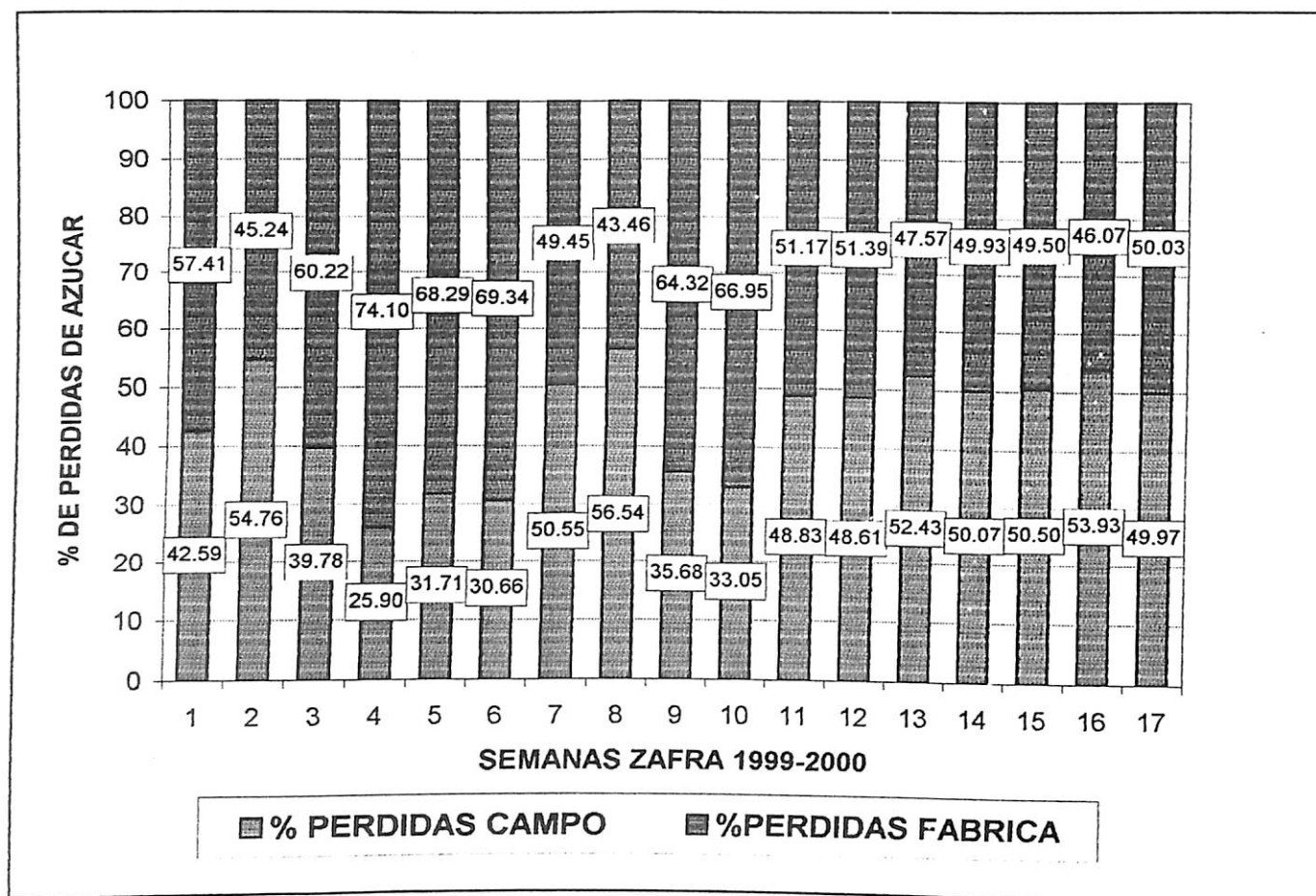


Figura 8. Comparación entre pérdidas en campo y pérdidas en fábrica registradas en Ingenio La Unión, zafra 1999 – 2000.

Puede observarse que las pérdidas por cada semana de zafra variaron sin un patrón definido, por lo cual debe de hacerse un análisis de los diferentes factores que pueden influir en las pérdidas de cada una de las etapas, lo cual requiere de un estudio a mayor detalle. Sin embargo este análisis puede complementarse al hacer un análisis de la contribución proporcional de cada una de las etapas (campo y fábrica) en las pérdidas, la cual se puede visualizar en la Figura 9, la cual presenta las pérdidas por semana como un cien por ciento y muestra que porcentaje de las pérdidas corresponde a campo y a fábrica respectivamente.



**Figura 9. Proporción de las pérdidas de azúcar semanales durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión.**

En promedio, las pérdidas totales de azúcar durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión, se registraron en un 44.45 % durante etapas correspondientes al departamento de campo y cosecha (encargado de producir la caña y llevarla al ingenio) y en un 55.55 % en etapas correspondientes al departamento encargado de la extracción del azúcar de la caña (ingenio ó fábrica).

#### 6.4 Análisis económico de las pérdidas de azúcar

Se tomó como base un promedio de 12,203 Toneladas de caña molidas / día, lo cual equivale a 85,420 Toneladas / semana y un total de 1,452,152 Toneladas de caña molidas durante la zafra 1999 – 2000. Puede observarse que la cantidad de azúcar perdida equivale a 154,148,924.52 libras (70,067.69 Toneladas Métricas de azúcar).

Se calcularon las pérdidas tomando en cuenta dos modalidades de precio, con el precio del azúcar en el mercado guatemalteco, donde los precios oscilaron entre Q.125.00 y Q.140.00, con una media de Q.133.44 por quintal; y con el precio del azúcar reportado en el mercado externo a un precio de US \$ 6.00 por quintal durante dicha zafra. Al efectuar los cálculos de las pérdidas con base en el precio del mercado guatemalteco, se estimó un total de Q.204,808,592.42 durante la zafra 1999 – 2000, lo cual equivale a un promedio de Q.12,047,564.26 por semana de zafra. Si los cálculos se realizan tomando en cuenta el precio del azúcar en el mercado internacional, las pérdidas estimadas alcanzan un total de US \$ 9,248,935.47; un promedio de US \$ 544,055.03 por semana de zafra. Esto puede observarse de mejor forma en la Figura 10.

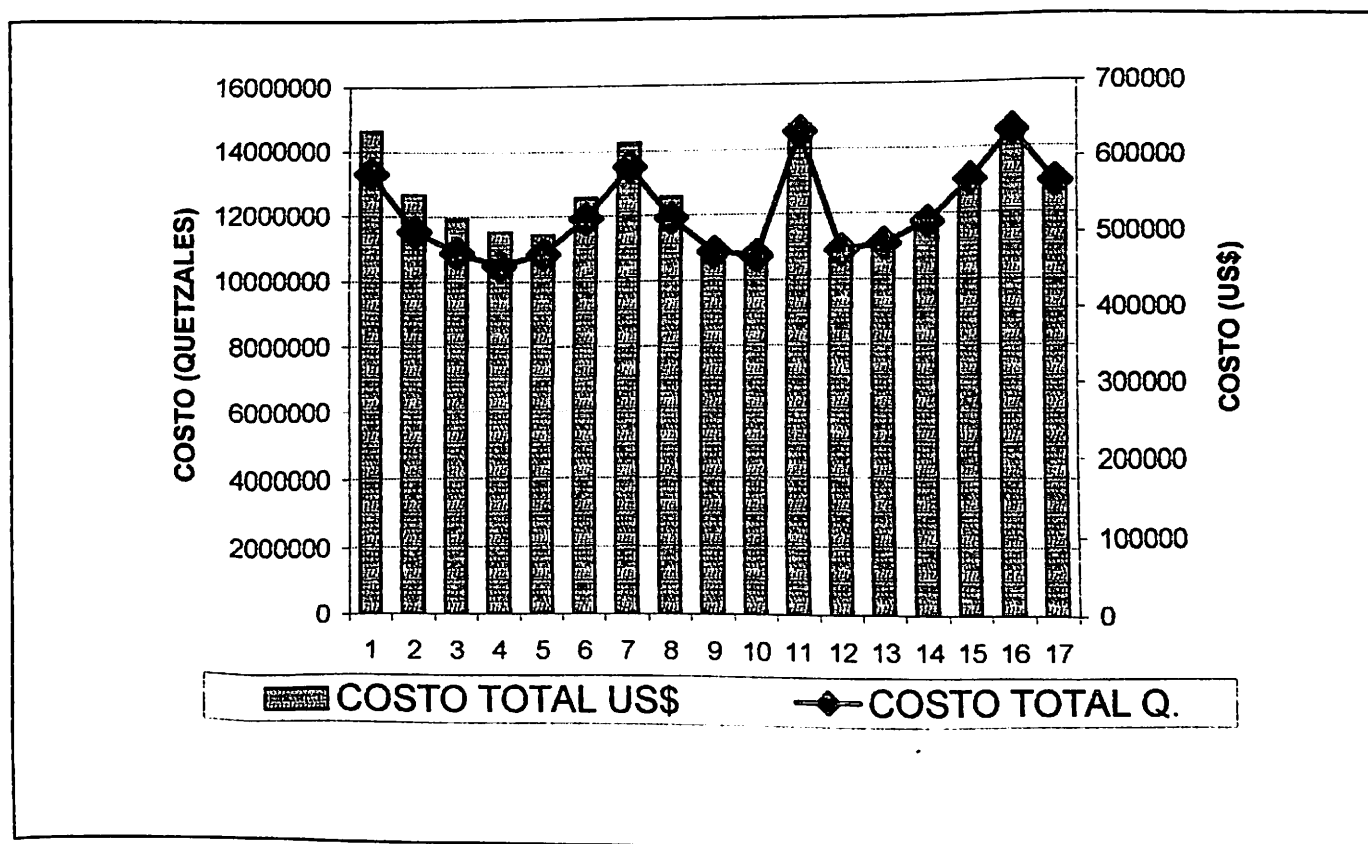
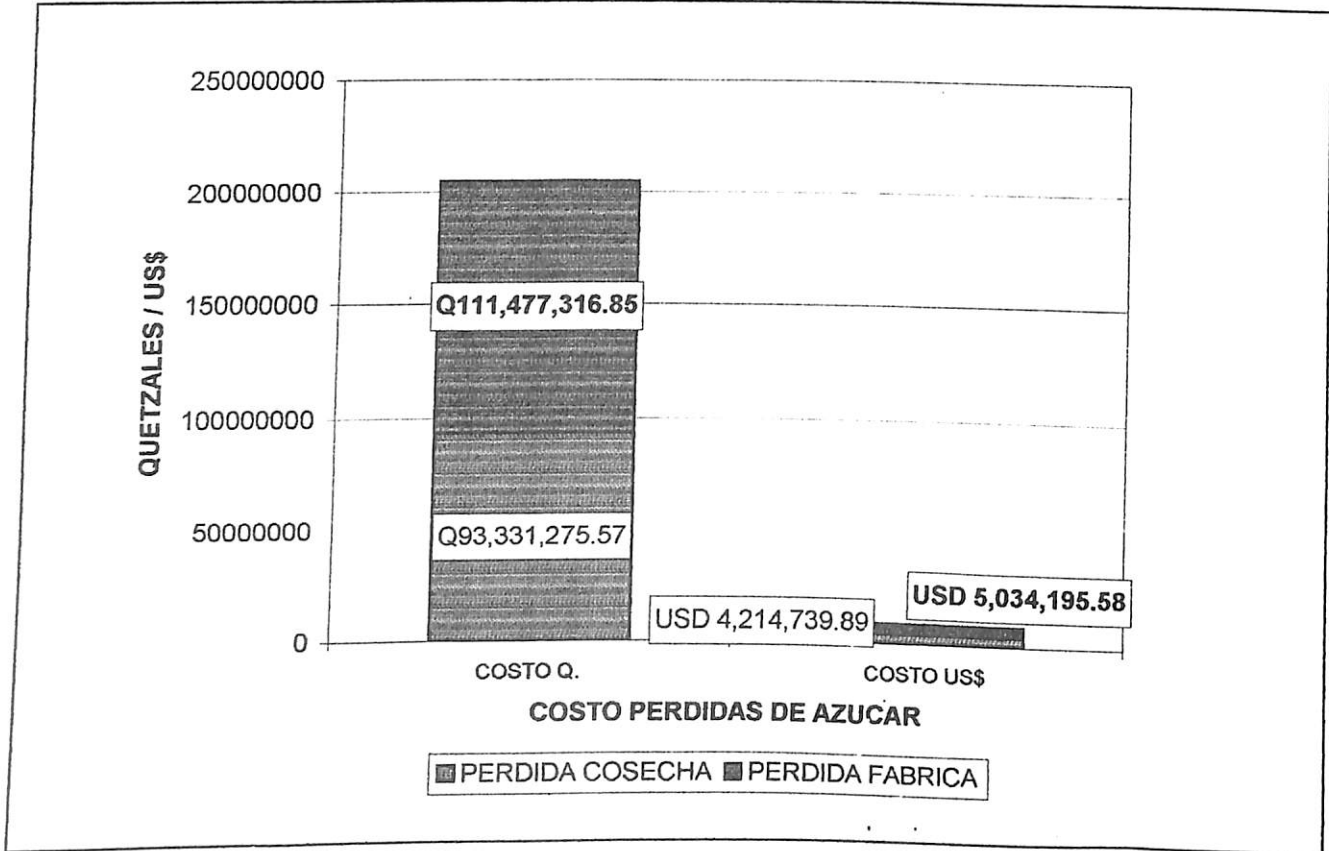


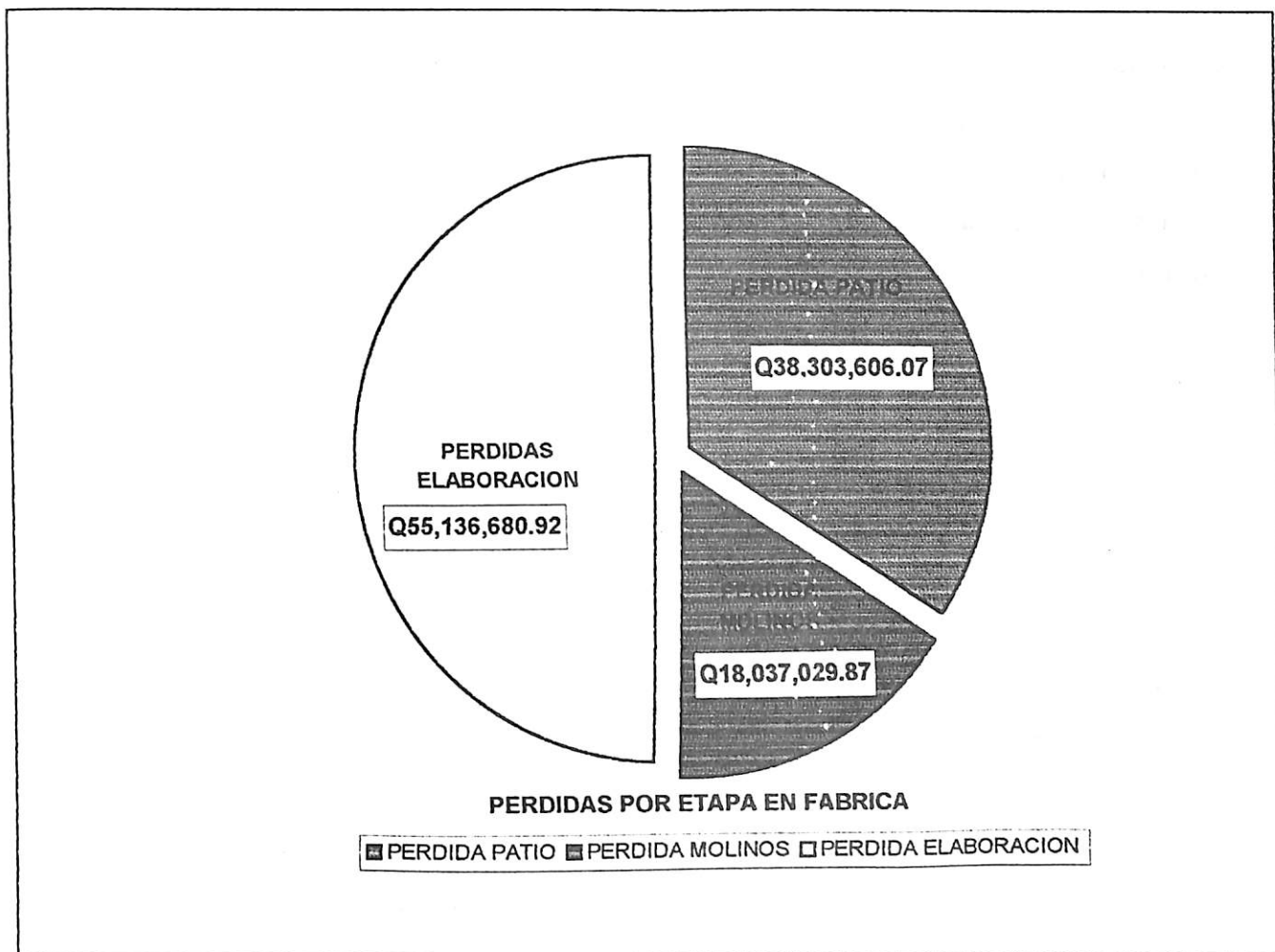
Figura 10. Pérdidas de azúcar por semana de la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión.

Puede observarse en la gráfica anterior que las pérdidas tienen puntos en donde se incrementan, sobre todo al inicio de la zafra y en las semanas de Navidad y Año Nuevo, cuando se acumula caña con más de 48 horas de corte en el ingenio. Al hacer un desglose de las pérdidas en cada una de las distintas etapas del proceso de elaboración del azúcar en el Ingenio La Unión durante la zafra 1999 – 2000, se observa que las pérdidas debidas a la etapa de cosecha alcanzan un total de Q.93,331,275.57 (US \$ 4214739.89) y las pérdidas de fábrica ascienden a Q.111,477,316.42 (US \$ 5,034,195.58). Una comparación de dichas pérdidas puede visualizarse en la Figura 11.



**Figura 11. Comparación de pérdidas de azúcar en quetzales y dólares entre campo y fábrica durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión, S. A.**

Las pérdidas ocurridas en fábrica (Q.111,477,316.42), pueden subdividirse en tres partes: pérdidas en patio Q.38,303,606.07, pérdidas en molinos Q.18,037,029.87 y las pérdidas en elaboración Q.55,136,680.92. Dichas pérdidas pueden visualizarse al observar la gráfica de pastel representada en la Figura 12.



**Figura 12. Comparación de las pérdidas de azúcar en Quetzales entre las distintas etapas de fabricación durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión, S. A.**

Como puede observarse, aproximadamente un 50 % de las pérdidas ocurridas en la fábrica son debidas a las pérdidas en los procesos de elaboración, por lo cual debe de verificarse la eficiencia de los procesos de elaboración en la fábrica, para disminuir las pérdidas de azúcar. Todos los cálculos de las pérdidas de azúcar semanales se estimaron por semana y en total durante la zafra 1999 – 2000, estos pueden observarse en el Cuadro 6 A en el apéndice.

## 7. CONCLUSIONES

- 7.1 Los resultados del análisis de varianza registraron diferencias estadísticamente significativas entre las pérdidas registradas en las etapas del proceso de elaboración a un nivel crítico del 5 %, no así, las diferencias entre las semanas de zafra la zafra 1999 - 2000 fueron no significativas a un nivel crítico del 5 %. La Prueba de Significación entre Promedios de Duncan demostraron que la mayor cantidad de pérdidas fue en la fábrica.
- 7.2 La cantidad de azúcar que se pierde durante la industrialización de la caña varía en cada una de las etapas del proceso de extracción y elaboración. Las pérdidas totales en campo registraron un promedio de 47.22 libras por tonelada de caña molida (45.08 % del total de pérdidas). En la fábrica las pérdidas totales registraron un promedio de 57.78 libras por tonelada de caña molida (55.15 %).
- 7.3 Dentro del total de las pérdidas estimadas en la fábrica, estas variaron dentro de cada una de las subetapas de la siguiente forma: en el patio se estimó una media de pérdida de 19.85 libras por tonelada de caña molida (34.36 % de las pérdidas en fábrica), en los molinos se estimó una media de pérdida de 9.35 libras por tonelada de caña (16.18 %), mientras que durante la elaboración se estimó una pérdida promedio de 28.58 libras por tonelada de caña molida (49.46 %).
- 7.4 De acuerdo con los registros de la zafra 1999 – 2000, en el Ingenio La Unión, S. A. la etapa del proceso donde se pierde la mayor cantidad de azúcar es la elaboración en fábrica (28.58 de las 104.75 libras totales perdidas por tonelada de caña molida).
- 7.5 El rendimiento potencial de la variedad CP 72-2086 cultivada bajo las condiciones del Ingenio La Unión, S. A. varió durante los distintos meses de la zafra 1999 – 2000 de la siguiente forma: para Octubre se registró un rendimiento precosecha promedio de 355.87 libras de azúcar por tonelada de caña molida; Noviembre 353.75 libras, Diciembre 357.98 libras, Enero 348.29 libras y Febrero 356.85 libras por tonelada de caña molida.

- 7.6 Durante la zafra 1999 – 2000 en el Ingenio La Unión, S. A. se estimó una pérdida promedio de 104.75 libras de azúcar por tonelada de caña molida, lo cual equivale a un total de 620 Toneladas Métricas de azúcar diarias, acumulando un total de 70,067.69 Toneladas Métricas de azúcar durante la zafra 1999 – 2000.
- 7.7 Las pérdidas de azúcar con base en el precio del mercado guatemalteco, se estimaron en Q.204,808,592.42 durante la zafra 1999 – 2000, lo cual equivale a un promedio de Q.12,047,564.26 por semana de zafra. Con base en el precio del azúcar en el mercado internacional, las pérdidas estimadas alcanzan un total de US \$ 9,248,935.47; un promedio de US \$ 544,055.03 por semana de zafra.
- 7.8 Las pérdidas debidas a cosecha en el Ingenio La Unión durante la zafra 1999 – 2000, alcanzaron un total de Q.93,331,275.57 (US \$ 4214739.89) y las pérdidas de fábrica ascendieron a Q.111,477,316.42 (US \$ 5,034,195.58). Las pérdidas ocurridas en fábrica (Q.111,477,316.42), pueden subdividirse en tres: pérdidas en patio Q.38,303,606.07, pérdidas en molinos Q.18,037,029.87 y las pérdidas en elaboración Q.55,136,680.92.

## **8. RECOMENDACIONES**

- 8.1 Evaluar con mayor detalle las pérdidas en las distintas etapas del proceso de extracción y elaboración de azúcar de caña en el Ingenio La Unión, S. A. tomando en cuenta el tiempo transcurrido entre cada uno de los procesos, ya que de acuerdo con la literatura el tiempo es uno de los factores que incide en las pérdidas de azúcar.
- 8.2 Programar la cosecha de los lotes de caña de azúcar variedad CP 72-2086 de tal forma que ésta se efectúe a un tiempo de maduración óptima, para aprovechar al máximo el potencial de producción de azúcar de la misma.
- 8.3 Evaluar a mayor detalle los procesos de elaboración en los que se registran las mayores pérdidas, para determinar los factores que inciden en la pérdida de azúcar.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. ASOCIACION DE AZUCAREROS DE GUATEMALA. 2000. Informe anual 1999-2000. Guatemala. 20 p.
2. CHEN, J.C. 1991. Manual del azúcar de caña. México, Limusa. 1200 p.
3. EMPRESA PANTALEON. DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION (Gua.). s.f. Descripción de variedades. Escuintla, Guatemala. 40 p.
4. FLORES, S. 1976. Manual de caña de azúcar. Guatemala, INTECAP. 172 p.
5. FOGLIATA, F.A. 1978. Caña quemada; una revisión sobre su comportamiento y características. México, CECSA. 32 p.
6. GRUPO DE PAISES LATINOAMERICANOS Y DEL CARIBE EXPORTADORES DE AZUCAR. 1999. Mercado azucarero, informe mensual noviembre 1999. México, D. F. 17 p.  
  
(<http://www.geplacea.ipn.mx/estadist/nov.zip>)
7. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1979. Diccionario geográfico de Guatemala. 2 ed. Guatemala, Tipografía Nacional. Tomo 1, 849 p.
8. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala. 40 p.
9. HUMBERT, R.P. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. México, CECSA. 779 p.
10. INGENIO LA UNION – LOS TARROS (Gua.). Memoria de labores zafra 1999 - 2000. Departamento de logística de cosecha. 74 p.
11. INSTITUTO TECNICO DE CAPACITACION (Gua). 1992. Manual de sistema australiano de corte de caña de azúcar. Guatemala. 24 p.
12. LOPEZ PINEDA, R.A. 1998. Diagnóstico general del área aplicada con madurantes químicos en los ingenios azucareros de Guatemala, zafra 97 – 98. Informe final de diagnóstico. E. P. S. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 38 p.

13. OAJACA LOPEZ, J.S. 2001. Logros en el corte con el sistema a granel en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en las últimas cuatro zafras (1996 – 1997 a 1999 – 2000) en el Ingenio Tierra Buena, Nueva Concepción, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 48 p.
14. OROZCO, H. et al. 1995. Estratificación preliminar de la zona de producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Guatemala con fines de investigación en variedades. Escuintla, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar. 33 p.
15. ORTEGA, J.; MELGAR, M.F. 1998. Revisión de técnicas para el análisis estadístico de datos comerciales en caña de azúcar. Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 42 p.
16. SIMMONS, CH. ; TARANO, A.; PINTO, H. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, C. A. Ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.
17. SOTO, G.; OROZCO, H.; CEBALLOS, L. 1999. Censo de variedades de caña de azúcar en Guatemala: Análisis cuantitativo de las últimas dos décadas y comparación con otras industrias azucareras. Santa Lucía Cotzumalguapa, Guatemala, Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. 27 p.
18. SUBIROS RUIZ, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, EUNED. 441 p.
19. WHITE, J.A.; AGEE, M.H.; CASE, K.E. 1986. Técnicas de análisis económico en ingeniería. Traducido por Vicente Agut Armer. México, LIMUSA. 577 p.

No. Bo. Rolando Barrios



**10. APENDICE**

Cuadro 5 A. Rendimientos semanales por sitio de muestreo durante la zafra 1999 - 2000.

SEMANA	PIREQUEMA CAMPO	COPIRESAMPUER	PERDIDA CAMPO	INGRESO MOLINOS	PERDIDA PATIO	INGRESO ELABORACION	PERDIDA MOLINOS	RENDIMIENTO	PERDIDA OTRO	PERDIDA EN ELABORACION	PERDIDA TOTAL EN FABRICA
1	355.87	288.98	66.89	280.21	8.77	266.18	12.03	230.88	37.30	37.30	58.10
2	364.91	305.67	59.24	284.94	20.73	274.09	10.85	256.73	17.36	17.36	48.94
3	357.83	317.31	40.52	291.08	26.23	279.19	11.89	255.98	23.21	23.21	61.33
4	352.46	327.01	25.45	288.75	38.26	278.10	10.65	254.20	23.90	23.90	72.81
5	339.79	308.92	30.97	275.58	33.23	265.81	9.78	242.13	23.68	23.68	66.69
6	355.88	322.97	32.91	292.39	30.58	281.96	10.73	248.55	33.11	33.11	74.42
7	371.13	309.62	61.51	281.37	28.25	273.05	8.32	249.44	23.61	23.61	60.18
8	356.43	295.73	60.70	282.08	13.65	273.13	8.85	249.08	24.05	24.05	46.65
9	348.49	314.91	33.58	286.93	27.98	277.88	9.05	254.38	23.50	23.50	60.53
10	343.27	312.49	30.78	286.57	25.92	278.56	8.01	250.14	28.42	28.42	62.35
11	361.92	300.40	61.52	289.22	11.18	281.35	7.87	235.93	45.42	45.42	64.47
12	343.45	297.59	45.86	291.98	5.61	279.56	12.42	249.10	30.46	30.46	48.49
13	344.53	295.90	48.63	289.10	6.80	280.31	8.79	251.78	28.53	28.53	44.12
14	351.11	301.94	49.17	290.28	11.66	283.56	6.72	252.91	30.65	30.65	49.03
15	357.4	302.37	55.03	283.28	19.09	275.54	7.74	248.44	27.10	27.10	53.93
16	365.89	300.44	65.45	281.65	18.79	273.93	7.72	244.52	29.41	29.41	55.92
17	353.01	298.83	54.18	288.10	10.73	280.71	7.39	244.59	36.12	36.12	54.24
PROMEDIO	354.22	305.94	48.38	286.09	19.85	276.74	9.35	248.16	28.53	28.53	57.78
DESV. STD.	8.71	10.34	13.68	4.74	10.03	4.85	1.78	6.91	6.71	6.71	8.86
PERDIDAS (%)			13.57		34.36		16.18		49.48		16.43

FUENTE: Laboratorio de análisis de café y jugos Ingenio La Unión, S. A.



Cuadro 7 A. Resultados de los análisis de jugos zafra 1999 - 2000.

SEMANA	BRIX JUGO	POL JUGO	% JUGO	% AZ. RED.	% DESV. POL	REND. CORE SAMPLER	REND. FABRICA
1	19.48	17.85	64.15	0.59	7.78	288.98	230.88
2	20.11	18.15	66.79	0.65	6.89	305.67	256.73
3	20.63	18.55	67.20	0.55	7.81	317.31	255.98
4	20.69	18.64	69.25	0.56	6.55	327.01	254.20
5	20.27	18.19	68.24	0.61	7.20	308.82	242.13
6	21.03	19.12	67.66	0.57	7.16	322.97	248.55
7	20.59	18.71	66.76	0.61	6.09	309.62	249.44
8	20.05	18.12	66.36	0.57	5.20	295.73	249.08
9	20.40	18.67	67.66	0.49	5.80	314.91	254.38
10	20.70	18.73	66.75	0.46	7.56	312.49	250.14
11	19.87	17.92	66.18	0.48	7.76	300.40	235.93
12	20.11	18.15	64.95	0.44	6.89	297.59	249.10
13	20.16	18.12	64.48	0.58	6.95	295.90	251.78
14	20.11	18.17	65.67	0.60	8.05	301.94	252.91
15	19.84	17.87	66.83	0.53	7.52	302.37	248.44
16	19.83	17.70	66.64	0.55	7.58	300.44	244.52
17	20.80	18.49	64.91	0.57	6.58	298.83	244.59
PROMEDIO	20.27	18.30	66.50	0.55	7.02	305.94	248.16
DESV. STD.	0.42	0.39	1.36	0.06	0.78	10.34	6.91

Fuente: Laboratorio de Análisis de Café y Jugos, Ingenio La Unión, S. A.

**Cuadro 8 A. Cantidad de muestras analizadas durante la zafra 1999 - 2000.**

MESES DE ZAFRA	MUESTRAS ANALISIS	DIAS ANALISIS DIA	MUESTRAS ANALISIS	MUESTRAS ANALISIS
OCTUBRE	141	55	4	13.75
NOVIEMBRE	1794	619	24	25.79
DICIEMBRE	1027	303	25	12.12
ENERO	2316	737	28	26.32
FEBRERO	2226	886	26	34.08
MARZO	556	261	14	18.64
<b>TOTAL</b>	<b>8060</b>	<b>2861</b>	<b>121</b>	<b>23.64</b>

**Fuente: Laboratorio de análisis de caña y jugos, Ingenio La Unión, S. A.**

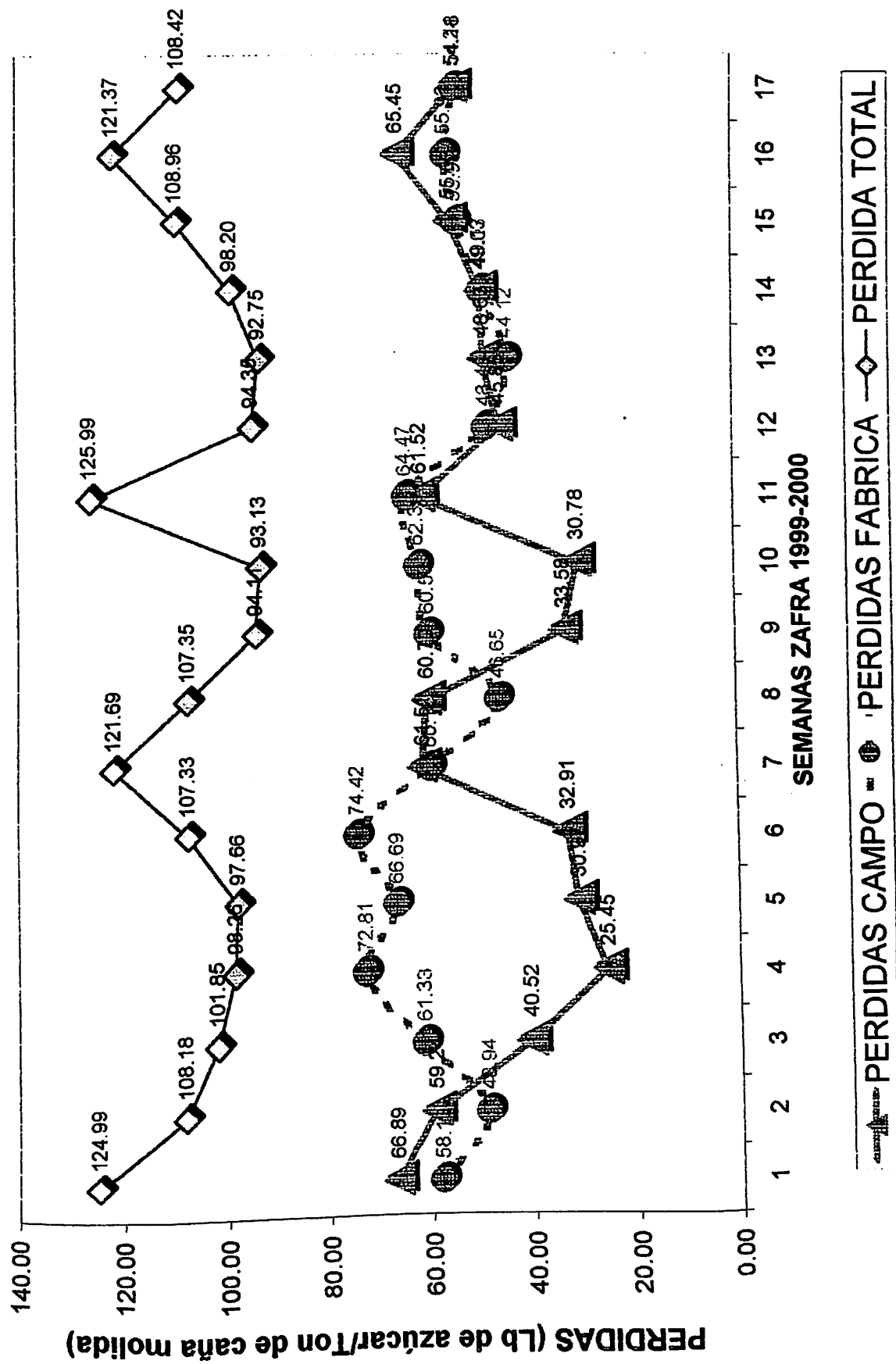


Figura 13 A. Comparación de las pérdidas de campo y fábrica con las pérdidas totales



FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS


DOCUMENTO DE GRADUACION: "ANALISIS DE LA PERDIDA DE AZUCAR POR MANEJO EN LOS PROCESOS DE QUEMA, TRANSPORTE, MANEJO EN PATIO Y FABRICACION EN CAÑA DE AZUCAR EN INGENIO LA UNION, ESCUINTLA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JUAN HUMBERTO FILIPPI VALDES

CARNE 7910130

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Jorge E. Sandoval Illescas  
Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez O.

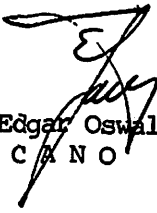
Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, enmarcados en el "PROGRAMA EXTRAORDINARIO PARA LA REALIZACION DE TESIS DE GRADO PARA LA CARRERA DE INGENIERO AGRONOMO"; Aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Agronomía, según el Punto Cuarto del Acta No. 43-98 de Sesión celebrada el 17 de septiembre de 1998.

  
Ing. Agr. M.Sc. Manuel de Jesús Martínez Ovalle  
A S E S O R

  
Ing. Agr. M.Sc. Jorge Enrique Sandoval Illescas  
A S E S O R

  
Dr. Ariel Abdurcañán Ortiz López  
DIRECTOR DEL IIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

I M P R I M A S E

  
Ing. Agr. M.Sc. Edgar Oswaldo Franco Rivera  
D E C A N O



cc:AO/prr.  
Archivo  
Control Académico

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: [lusac.edu.gt](mailto:lusac.edu.gt) § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>