

TUES
1506
A283c
1999
Ej. 2

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



**Caracterización Físicoquímica del Proceso Artesanal
de Producción de Dulce y Azúcar de Panela y
Diagnóstico de sus Efectos en el Medio Ambiente.**

PRESENTADO POR

**Raúl Humberto Aguilar Flores
José Javier Bojórquez García
Irma Lilian Merino Jovel**

15100923

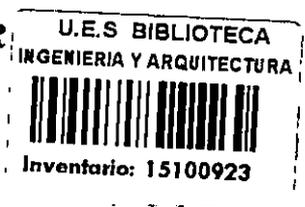
15100923

**PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**



CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 1999.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTOR : *Dr. José Benjamtn López Guillén*

SECRETARIO GENERAL : *Lic. Ennio Arturo Luna*

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : *Ing. Joaquín Alberto Vanegas Aguilar*

SECRETARIO a.i. : *Ing. Oscar Eduardo Marroquín Hernández*

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTORA : *M.Sc. Delmy del Carmen Rico Peña*



1000

1000

1000

1000



1000

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de :

INGENIERO QUIMICO

Título :

**Caracterización fisicoquímica del Proceso Artesanal
de Producción de Dulce y Azúcar de Panela y
Diagnóstico de sus Efectos en el Medio Ambiente.**

Presentado por :

**Raúl Humberto Aguilar Flores
José Javier Bojórquez García
Irma Lilian Merino Jovel**

Trabajo de Graduación aprobado por :

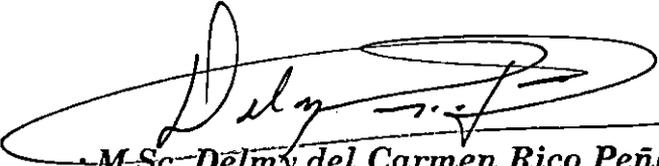
Coordinadora : Ing. Tania Torres Rivera

Asesora : M.Sc. Delmy del Carmen Rico Peña

San Salvador, Marzo de 1999

Trabajo de Graduación aprobado por :


Coordinadora : Ing. Tania Torres Rivera


Asesora : M.Sc. Delmy del Carmen Rico Peña

AGRADECIMIENTOS

Muchas han sido las personas que a lo largo del desarrollo de esta investigación nos han apoyado y brindado su colaboración en forma desinteresada. Por esta razón no podemos dejar de agradecerles ; en especial al personal que labora en las moliendas evaluadas y a:

M.Sc. Delmy del Carmen Rico Peña
Ing. Tania Torres Rivera
Sr. Tulio Chacón
Sr. Aristides González
Sr. José Antonio Romero
Sr. Luis Edgardo Herrera
Ing. José Manuel Henríquez
Ing. Jorge Alberto Durán
Dra. Elvia Berenice Huevo de Oliva
Dra. Francisca Cañas de Moreno
Ing. Oscar Dueñas
Ing. Italo Andrés Córdova
Ing. Eugenia Gamero Rodríguez
Ing. Gustavo Gonzalo Berríos
Ing. Fernando Teodoro Ramírez
Lic. José Alonso Martínez Maltez
Lic. Ana Isabel Pereira de Ruíz
Lic. Xochil María Godoy de Villatoro
Ing. Ana Cecilia de Flamenco
Ing. Noemy Argentina Láinez
Ing. Flor Celeste Ayala Calero
Ing. Roberto Aristides Castellón Murcia
Sr. Juan Rodolfo Mendoza
Sr. Oscar Morán
Juan Antonio Méndez Calixto

Sra. Sandra Lorena Recinos

Ing. José Anibal Erazo

Sr. Miguel Martínez

Keny Marisol Nuñez Rivas

Ana Concepción Yanes Gutiérrez

Erika Emperatriz Rámirez Menjivar

Karen Gutiérrez Morán

Kathya Cecilia Domínguez Araujo

Claudia Mercedes Henríquez Pérez

Sandra Beatriz Parras Centeno

Sandra Mónica Artiga Morataya

Bessy del Carmen Zepeda

Maritza Elizabeth Romero

Dina María Rodezno Escobar

Jair Edgardo Herrera Reyna

Edwin Antonio Alvarenga

José Israel Marroquín Reyes

Marlon Bonilla Parada

Freddy Alexander Cruz Henríquez

Ing. Julián Edmundo Soriano

José Enrique Mendoza Alonzo

Oscar Armando Herrera Diego

Ing. Mario Estrada

Tania Cañas Custodio

Jacqueline Carolina Alvarado

Edith Maritza Brizuela

Familia Merino Jovel

Familia Aguilar Flores

Familia Bojórquez García

Unidad productiva FIA-UES

CIAN-FIA-UES

Y a todas aquellas personas que de alguna forma nos apoyaron.

DEDICATORIA

- A DIOS :** Por ser la luz que guía mi camino, por acompañarme y permitirme llegar al final de mi carrera
- A MIS PADRES :** Israel Humberto y Norma Adriana , quienes pueden ver los frutos de una semilla sembrada con cariño e ilusión, que en tiempos difíciles supieron darle protección, por que gracias a su sacrificio, apoyo y consejo lograron forjar un hombre.
- A MIS ABUELOS :** Guillermo David , José Manuel y María Emperatriz que si aún vivieran, este trabajo los habría hecho inmensamente felices.
- A ROSA EMILIA :** Mi Abuela, por sus regaños, mimos y risas que iluminan mi vida.
- A MIS TIOS:** Memo, Cholita, Moris, Mabel, Dilman, Roberto y David (de grata recordación) en agradecimiento a ustedes que en los momentos mas apremiantes de mi carrera y mi vida han estado con los brazos extendidos, para brindarme todo su apoyo y cariño.
- A MIS HERMANOS :** Israel Humberto, Flor de María y su esposo, por compartir cada día su cariño comprensión y apoyo.
- A MIS PRIMOS:** Por su cariño y apoyo en todo momento.
- A MERCEDES :** Por tu amor , paciencia , apoyo y comprensión.
- A FREDDY:** Por que en las buenas y malas durante mis años de estudio conté con tu apoyo y el de tu familia. Gracias por tu amistad.
- A IRMA Y JAVIER :** Por aguantar mi carácter y mis actitudes en todas las discusiones necesarias e innecesarias durante el desarrollo de esta investigación, gracias por su confianza, comprensión y sobre todo por su amistad.
- A MIS AMIGOS :** Difíciles de enumerar, por su sincera amistad

RAUL HUMBERTO

DEDICATORIA

“ Más el Dios de toda gracia, que nos llamó a su gloria eterna en Jesucristo, después que hayáis padecido un poco de tiempo, él mismo os perfeccione, afirme, fortalezca y establezca. A él sea la gloria y el imperio por los siglos de los siglos. Amén.”

1° Pedro. 5. 10-11

A MI SEÑOR JESUCRISTO:

Porque no hay nadie más en este mundo ni en el cielo a quién yo le deba todo triunfo y progreso en mi vida; porque me dió sabiduría para afrontar los retos que se me presentaron no solo en la realización de este trabajo sino también en todos los aspectos de mi vida.

A MI PADRE

: Porque en todo momento recibí su apoyo y comprensión, con su ayuda logré culminar mi carrera con éxito y ha sido un verdadero ejemplo a seguir por mi persona.

A MI MADRE

: Porque con su amor me animó a continuar y terminar este trabajo, dándome ánimos cuando lo necesitaba y porque verme culminar mi carrera siempre fue un anhelo de su corazón.

A MIS HERMANOS

: Por que todos ellos supieron darme palabras de aliento y me reconfortaron en momentos de duda.

A MIS COMPAÑEROS

: Irma y Raúl, porque siempre estuvieron dispuestos a escuchar mis puntos de vista, en muchas ocasiones me supieron comprender y sobre todo porque confiaron en mi para llevar a cabo este trabajo.

A MIS AMIGOS

: Quienes siempre se mostraron dispuestos a ayudarme, y lo hicieron cuando así lo necesité, y sus palabras de apoyo fueron para mí como una grata muestra de su aprecio.

JOSE JAVIER

DEDICATORIA**A DIOS**

TODOPODEROSO : Por acompañarme en cada momento de mi vida y haberme regalado de su inmensa sabiduría, sin la cual no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A MI MADRE :

Irma Lilian Jovel de Merino, por todo el amor, comprensión y apoyo que siempre me ha brindado, por el sacrificio realizado, por la confianza depositada en mí y por la oportunidad que me dio de ser profesional ; de todo corazón , gracias.

A MI PADRE :

Rafael Aquiles Merino P. (de grata recordación), porque siempre me impulsó a seguir adelante, y aunque hoy lejos de mi, sé que goza cada uno de mis éxitos.

A MIS HERMANOS :

Karla Liliana, Rafael A. y José David ; por su amor, comprensión, además de su confianza y apoyo.

A MIS COMPAÑEROS : Javier Bojórquez y Raúl Aguilar porque sin ellos este trabajo no hubiera sido posible, gracias por su amistad sincera, por su confianza y comprensión.

A MIS FAMILIARES : Por el cariño y apoyo brindado a lo largo de toda mi vida.

A MIS AMIGOS : Dificiles de enumerar, gracias por su apoyo y sobretodo por su amistad.

IRMA LILIAN

RESUMEN

Se evaluaron las variables o parámetros que caracterizan el proceso de producción artesanal de dulce de panela, en la etapa de cocción del jugo incluyendo el balance de materiales del proceso. Además se realizó un diagnóstico en el cual se especifican los posibles efectos que esta práctica puede tener en el ambiente.

En el monitoreo de las moliendas se tomaron muestras en las diferentes etapas del proceso de producción de panela, realizándose los procedimientos analíticos con el correspondiente análisis estadístico de datos; obteniendo como resultados los valores de las variables :

- Tiempo de llenado de peroles 40-68 min .
- Tiempo de cocción entre cada punto de miel : Miel de Mesa 333.17 min, Miel de Azúcar 18.92 min, Miel de Batido 2 - 8 min, Miel de Panela 1 - 5 min.
- °Brix en cada Punto de Miel : Miel de Mesa 73.15, Miel de Azúcar 86.36, Miel de Batido 89.26 y Miel de Panela 92.18 .
- °Pol en puntos de Miel: Miel de Mesa 28.59 - 32.46, Miel de Azúcar 32.49 - 37.26, Miel de Batido 34.43 - 38.19 y Miel de Panela 35.74 - 39.00.
- pH en puntos de Miel : Miel de Mesa 5.56 - 6.15, Miel de Azúcar 5.70 - 6.22, Miel de Batido 5.80 - 6.28 y Miel de Panela 5.88 - 6.31.
- Color en puntos de Miel : Miel de Mesa 1092 - 1456, Miel de Azúcar 1610, Miel de Batido 1758 y Miel de Panela 2216.
- Temperatura en puntos de Miel : Miel de Mesa 100.33 °C, Miel de Azúcar 110 - 114 °C, Miel de Batido 113 - 118°C y Miel de Panela 114 - 121 °C.

A partir de los resultados del monitoreo de la etapa de cocción, pudo observarse que, entre las moliendas monitoreadas y en una misma molienda,

no existía una uniformidad generalizada en las variables evaluadas, encontrándose uniformidad únicamente en los °Brix entre moliendas y para las variables pH, °Brix y Color en una misma molienda.

Se plantea la necesidad de desarrollar un experimento diseñado desde el punto de vista estadístico, para poder definir con mayor precisión las variables que podrían controlarse en el proceso de elaboración de dulce de panela, si este llegara a tecnificarse.

El resultado del diagnóstico ambiental proporcionó los siguientes valores para los principales contaminantes del proceso artesanal de producción de dulce y azúcar de panela : Demanda Bioquímica de Oxígeno en espuma sucia 108,750 ppm. Temperatura de descarga de espuma sucia 76 - 88 °C. Demanda Química de Oxígeno en agua de lavado de peroles 235,596 ppm. Temperatura de descarga de agua de lavado de peroles 47 - 62 °C. En cenizas: Nitrógeno 35 ppm, Fósforo 5,150 - 5,287.5 ppm y Potasio 80 - 80.5 ppm, pH 10.7 - 10.8.

El diagnóstico ambiental desarrollado muestra que se necesita mayor cantidad de información en cuanto a la caracterización de los efluentes líquidos, sólidos y gaseosos del proceso, para poder determinar con exactitud el tipo de impacto que esta práctica tiene sobre el medio ambiente, dejándose como base la investigación contenida en el presente trabajo para tomarla como una referencia en futuros trabajos que tengan como objetivo la evaluación del impacto ambiental en esta agroindustria.

INDICE

<u>CONTENIDO</u>	<u>Pág.</u>
Introducción	1
1.0 Industria panelera en El Salvador	3
1.1 Valor nutritivo del dulce de panela	5
1.2 Determinación de los aspectos físicos de una molienda	6
1.3 Proceso de elaboración del dulce de panela	10
1.4 Comercialización del dulce de panela	17
1.5 Factores que influyen en la calidad de la panela	18
2.0 Generalidades sobre el cultivo de la caña de azúcar	21
2.1 Composición química de la caña de azúcar	23
2.2 Reacciones de inversión	33
3.0 Plan de monitoreo para la caracterización del proceso artesanal de producción de dulce de panela.....	35
3.1 Monitoreo de pre-molienda	35
3.2 Monitoreo de molienda (extracción del jugo de caña)	36
3.3 Monitoreo de proceso de cocción	37
3.4 Monitoreo de hornos	38
4.0 Descripción de métodos de toma de muestras y de análisis físicoquímicos para la caracterización del proceso de producción de dulce de panela	39

4.1 Jugo de caña	39
4.2 Bagazo de caña	41
4.3 Mieles	42
4.4 Espumas del jugo de caña	43
4.5 Agua de lavado de molinos y peroles de cocción	44
4.6 Cenizas provenientes de la combustión del bagazo en los hornos	44
4.7 Caña de azúcar	45
5.0 Procedimientos de análisis fisicoquímicos para la caracterización del proceso de producción del dulce de panela.....	46
5.1 Determinación de °Brix	46
5.2 Determinación de °Pol	48
5.3 Determinación de pH	51
5.4 Determinación del color	53
5.5 Análisis de bagazo	55
6.0 Puesta en marcha del plan de monitoreo para la caracterización del proceso artesanal de producción de dulce de panela.....	58
6.1 Descripción del proceso de elaboración de panela en las molindas muestreadas	61
6.2 Resultados del monitoreo para las molindas	71
7.0 Análisis estadístico de los resultados obtenidos en el monitoreo del proceso de cocción en las molindas.....	78

7.1	Tiempo de llenado de peroles	79
7.2	Tiempos de cocción	80
7.3	Temperatura de puntos de mieles	83
7.4	°Pol de puntos de mieles	86
7.5	pH de puntos de mieles	89
7.6	°Brix de puntos de mieles	92
7.7	Color de puntos de mieles	95
7.8	Valores promedios rangos de valores para variables monitoreadas en el proceso de producción de dulce de panela	97
8.0	Balance de materiales para el proceso de molienda	100
8.1	Caña molida y bagazo generado por perol	100
8.2	Bagazo quemado, cenizas y excedente de bagazo por perol	102
8.3	Panela y residuos sólidos azucarados por perol	103
8.4	Rendimiento de panela	104
8.5	Resultados del balance de materiales para las moliendas	105
9.0	Diagnóstico del efecto ambiental del proceso de elaboración de dulce de panela	108
9.1	Revisión del proceso de elaboración de dulce de panela	108

9.2 Descripción de los desechos y efluentes del proceso de elaboración de dulce de panela	111
9.3 Disposición de residuos y/o desechos del proceso de producción de panela en las molindas monitoreadas	113
9.4 Caracterización de los desechos líquidos	114
9.5 Caracterización de los desechos sólidos	115
9.6 Consideraciones finales del diagnóstico	116
10.0 Observaciones	119
11.0 Conclusiones	124
12.0 Reomendaciones	127
13.0 Referencias bibliográficas	128
14.0 Glosario	130
Anexos	132
Anexo A. Esquemas de las instalaciones de una molienda.....	133
Anexo B. Tablas de corrección para °Brix y °Pol.....	140
Anexo C. Resultados del análisis estadístico aplicado.....	147
Anexo D. Ejemplos de cálculos para balance de materiales en cada molienda.....	177
Anexo E. Resultados de análisis fisicoquímicos efectuados a muestras de espuma sucia y aguas de lavado de peroles y a muestras de cenizas.....	184

INDICE DE CUADROS

<u>CONTENIDO</u>	<u>Pág.</u>
Cuadro 1.1 Principales componentes de la panela.....	5
Cuadro 2.1 Carbohidratos que se encuentran en las diferentes partes de la caña de azúcar.....	24
Cuadro 2.2 Composición química de la caña de azúcar y de los sólidos del guarapo.....	25
Cuadro 6.1 Principales características de las molindas monitoreadas.....	60
Cuadro 6.2 Características del proceso de producción de panela.....	71
Cuadro 6.3 Consumo de combustible en las molindas.....	72
Cuadro 6.4 Resultados de análisis en caña y bagazo.....	72
Cuadro 6.5 Resultados de análisis en jugo de caña.....	73
Cuadro 6.6 Intervalos de tiempo (min.) entre etapas del proceso de cocción	74
Cuadro 6.7 Temperatura de puntos de miel (°C)	75
Cuadro 6.8 Valores de pH en puntos de miel.....	75
Cuadro 6.9 Valores de °Brix para puntos de miel.....	76
Cuadro 6.10 Valores de °Pol para puntos de miel.....	76
Cuadro 6.11 Valores de color (umas) para puntos de miel.....	77

Cuadro 7.1 Rango o promedio de condiciones de operación de moliendas según análisis estadístico.....	99
Cuadro 8.1 Volumen de peroles de cocción	105
Cuadro 8.2 Caña molida y bagazo generado por perol.....	105
Cuadro 8.3 Bagazo quemado, cenizas y bagazo excedente por perol.....	106
Cuadro 8.4 Panela y residuos sólidos azucarados por perol	106
Cuadro 8.5 Cantidades generadas para un día de operación y rendimiento de panela	107
Cuadro 9.1 Identificación de las entradas en el proceso de elaboración de dulce de panela	109
Cuadro 9.2 Identificación de salidas en el proceso de elaboración de dulce de panela	110
Cuadro 9.3 Resultados de análisis de DBO y DQO en muestras de efluentes líquidos de las moliendas monitoreadas	115
Cuadro 9.4 Resultados de análisis de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en muestras de ceniza de la combustión del bagazo en las moliendas monitoreadas	116

INTRODUCCION

En El Salvador el cultivo de la caña de azúcar se ha dirigido a dos rubros principales, los cuales son : producción de Azúcar en los ingenios azucareros y producción de panela, batidos y azúcar de pilón mediante el proceso artesanal llevado a cabo en las molindas. En los primeros el proceso de producción de azúcar se realiza a escala industrial; sin embargo no se encuentra diversificada ; mientras, que el proceso llevado a cabo en las molindas aún es artesanal, y no ha tenido mayores cambios desde tiempos de la colonia, época en que surgió ésta práctica.

El dulce de Panela es un producto de color café, variando entre claro y oscuro, en forma de conos sólidos envueltos en tusa de maíz. La unidad de medida para su comercialización es el atado (Cruz et al, 1981).

A nivel mundial, se han realizado una gran cantidad de investigaciones orientadas a la tecnificación del proceso de producción de azúcar de caña y sus derivados (Sucroquímica). En El Salvador, la agroindustria azucarera se ha visto favorecida debido a que el azúcar de caña es un producto con gran demanda en el mercado para ser utilizado como edulcorante a nivel industrial (principalmente la industria de alimentos) y como producto de consumo popular. Por otra parte, la agroindustria panelera ha sido relegada a un nivel en el cual la demanda del dulce de panela se restringe sólo a usos en platillos típicos y en poblaciones de bajos recursos que aún la utilizan como edulcorante.

Así, se tiene que las únicas investigaciones realizadas hasta la fecha están orientadas a aspectos de factibilidad económica y/o rentabilidad de las mismas, sin proponer alternativas de apoyo para el desarrollo de investigaciones, que conduzcan al mejoramiento o tecnificación del proceso de producción de dulce de panela, mejorando su calidad, lo cual es el objetivo principal de esta investigación.

Como en cualquier proceso de producción, el proceso de elaboración de dulce y azúcar de panela presenta la misma posibilidad de ser caracterizado

por medio del análisis de los factores que inciden en el transcurso del proceso. Es así, como se pretende evaluar las características fisicoquímicas que intervienen en el procesamiento de la caña de azúcar para la producción de dulce y azúcar de panela; y así determinar si las características investigadas están sujetas a valores que puedan estandarizarse a través de los resultados obtenidos de una investigación experimental.

Además de determinar las características propias del proceso, también se identificarán las etapas del proceso de producción en las cuales se dé generación de desechos (sólidos, líquidos y gaseosos) con el objeto de diagnosticar los posibles efectos que la disposición inadecuada de éstos causa en el medio ambiente.

1.0 INDUSTRIA PANELERA EN EL SALVADOR

En tiempos de la colonia el dulce de panela fue el principal edulcorante consumido por la mayor parte de la población salvadoreña ; a pesar del alto grado de desarrollo que ha alcanzado la industria azucarera, la panela sigue ocupando hoy en día un lugar importante en el consumo, tanto por los sectores más humildes de la población, como por las diferentes industrias que lo utilizan como materia prima. La técnica de fabricación de panela se propagó desde la India hacia el Oeste, Egipto y Europa y en direcciones opuestas a diversas regiones del continente Americano (Cruz et al, 1981).

La caña de azúcar se comenzó a cultivar en El Salvador, después de ser introducida desde México, durante la época colonial. Durante este periodo en los años 1768-1770, se reporta por primera vez la existencia de molinos de caña de azúcar llamados "*trapiches*", en donde se le daba un tratamiento rudimentario a la caña para convertirla en dulce de panela. Actualmente en El Salvador El Ministerio de Agricultura y Ganadería a través del Centro de Tecnología Agrícola reporta para el año de 1998 un aproximado de 100 moliendas concentradas principalmente en la zona paracentral y algunas dispersas en el oriente (Durán, 1998).

El cultivo de la caña de azúcar en la época colonial estaba asociado a los trapiches y a la fabricación del alcohol, que era producto de consumo directo, encontrándose el mayor número de trapiches en los municipios de Cojutepeque del departamento de Cuscatlán, e Istepeque, del departamento de San Vicente.

La abundante producción de caña de azúcar fue un factor determinante en la producción de bebidas embriagantes, ya que en los trapiches producían raspaduras para producir chichas, agua ardiente y alcohol. Se puede observar que el valor económico que tenía la caña de azúcar en el periodo de la colonia, era para la obtención del alcohol y la utilización de la panela como principal tipo de azúcar.

Hasta finales del siglo XIX la panela constituyó la principal fuente de azúcar para los salvadoreños, a partir del año 1860 se comenzaron a efectuar cambios substanciales que modificarían la utilización y proceso de transformación de la caña de azúcar. Durante este periodo no se dieron a conocer cifras de producción en el país (Cruz et al, 1981).

Las masas de los trapiches se hacían de madera de copinol (Hymenaea courbaril), una madera local muy fina y dura, en el año de 1860 se importó el primer trapiche de hierro, y éste funcionó en el departamento de San Vicente.

En el año de 1951 la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, realizó un estudio sobre la industria azucarera de El Salvador y determinó que la panela era uno de los edulcorantes utilizados por la mayor parte de la población (Cruz et al, 1981).

Debido a la proliferación de los ingenios azucareros, la cantidad de trapiches ha disminuido considerablemente en los últimos décadas, ya que los medianos productores prefieren vender la caña que ellos cultivan a los ingenios. Otra razón de la disminución del número de molineras ha sido la escasez de mano de obra.

Entre variedades de caña de azúcar cultivadas para la elaboración de panela están : Hawai , Píndaro y Criolla (Durán, 1998).

Las principales zonas dedicadas a la agroindustria panelera, han estado localizadas tradicionalmente en los departamentos de San Vicente, Cuscatlán y Cabañas.

Las molineras o trapiches se han clasificado de acuerdo al número de peroles que estas poseen en molineras de 3,4,5,6 y 8 peroles; actualmente el mayor número de molineras identificadas corresponden a molineras de 6 peroles con un 40% del total registrado hasta el año de 1998; le siguen en su orden las molineras de 4 peroles con un 30% y las molineras de 3, 5 y 8 peroles cada una de estas con un 10% (Durán, 1998)

Las principales zonas de cultivo de caña de azúcar se localizan en los departamentos de San Vicente, Cabañas, Chalatenango, Morazán, San Miguel y Usulután; la mayor producción de caña de azúcar y panela se localiza en el departamento de San Vicente (Cruz et al, 1981).

1.1 VALOR NUTRITIVO DEL DULCE DE PANELA

Según estudios en la Estación Agrícola Experimental de Palmira, en Colombia, la panela es un producto integral obtenido por evaporación abierta de los jugos de la caña de azúcar.

Una definición de panela dada por esta dependencia es: *La panela es una mezcla de Sacarosa y glucosa y una buena cantidad de materiales minerales que la caña ha extraído del suelo y que pasan a la panela* (Cruz et al, 1981); cuya composición se presenta en el cuadro 1.1

Cuadro 1.1 Principales componentes de la panela

Componente	Porcentaje
Sacarosa	51.82
Glucosa	16.37
Cenizas	0.17
Agua	27.64
Minerales	4.00

Cruz et al, (1981)

1.2 DETERMINACION DE LOS ASPECTOS FISICOS DE UNA MOLIENDA

Los aspectos físicos de una molienda están determinados por la superficie del terreno utilizado para las instalaciones, la maquinaria y el equipo de operación, lo cual es descrito de la sección 1.2.1 a 1.2.4.

1.2.1 Terreno

Para la instalación de una molienda es importante que el terreno cuente con una pendiente que oscile entre 3 y 5%, con el fin de aprovechar el desnivel para la ubicación y distribución de la infraestructura y maquinaria, de modo que la galera de hornos (obrador) quede en el nivel bajo y la galera de trapiche en el nivel alto (Anexo A, Fig. A.1), para que el flujo del jugo de caña pase por gravedad desde el molino (trapiche) a los peroles de cocimiento.

En caso de terrenos planos es necesario levantar una base de cemento, para las instalaciones del trapiche. La superficie estimada para instalaciones de moliendas, está de acuerdo a las necesidades del tipo y nivel de producción; para moliendas que cuentan con 6 y 8 peroles la superficie estimada es una manzana y para moliendas de 3 y 5 peroles es de media manzana de terreno (lo cual incluye el patio de secado de bagazo).

1.2.2 Infraestructura

La infraestructura de una molienda está compuesta por todas las áreas físicas e instalaciones en las cuales se lleva a cabo el proceso de producción de dulce de Panela.

a) Galera de Hornos (Obrador)

Esta es una infraestructura abierta, de dos aguas, orientada generalmente de norte a sur (Fig. A.2); el rumbo poniente es de doble corredor y se encuentran los peroles de cocimiento de la miel, peroles para batir y moldes para dulce de panela, donde se llevan a cabo sus respectivas actividades (Anexo A, Fig. A.3); el rumbo oriente cuenta con la entrada de los hornos para la entrada de combustible (bagazo) (Anexo A, Fig. A.3)

Esta galera contiene una zona exclusiva para enmoldado de azúcar de pilón (Anexo A, Fig. A.4) en las moliendas de 8 peroles, ya que por lo general son de doble propósito : producción de azúcar y dulce de panela.

b) Galera de trapiche

Es una galera completamente abierta, de dos aguas, de forma rectangular, generalmente aloja la maquinaria y es característica sólo para las moliendas de 8,6 y 5 peroles, donde el trapiche es movido por motor eléctrico o diesel (Anexo A, Fig. A.1 y Fig. A.4), no así en la molienda de 3 peroles donde el trapiche es movido por fuerza animal.

c) Camasco

Es una bodega generalmente rectangular de dos aguas, que funciona como depósito temporal de la panela producida, listo para su envoltura y comercialización (Anexo A, Fig. A.2).

En la molienda de tres peroles esta infraestructura no se encuentra por no ser necesaria, ya que las producciones son bajas.

d) Patio de secado de bagazo

Generalmente es el área ubicada frente a la galera de hornos (Anexo A, Fig. A.2), donde se distribuye el bagazo generado durante el proceso de molienda.

El área de secado varía de acuerdo a las necesidades y el volumen de producción de cada tipo de molienda, las cuales se estiman en 0.75 mz para la molienda de 8 peroles; 0.5 mz para la molienda de 6 peroles y 0.25 mz para las moliendas de 3 y 5 peroles (Cruz et al, 1981).

1.2.3 Maquinaria

La maquinaria para las moliendas de 8, 6, 5 y 4 peroles consiste de un motor eléctrico o diesel, y un molino; en el caso de las de 3 peroles, la operación de molienda se efectúa en un trapiche movido por fuerza animal.

El equipo para la molienda de la caña y extracción del jugo está compuesto de un molino de tres mazas de hierro fundido, que están fijadas por medio de fuertes piezas macizas de fundición, denominadas cabezales. La maza por donde entra la caña se llama "Maza cañera" y se encuentra en la parte inferior. La otra maza por donde sale el bagazo que está en igual plano que la anterior, recibe el nombre de "Maza bagacera". Por lo general las dos mazas inferiores son fijas, mientras que la superior puede moverse mediante un tornillo con el objeto de ajustar las mazas, dando una separación conveniente para la molienda, la cual puede variar de 1.32 cm a 1.76 cm entre la maza superior y la bagacera (alimentación); mientras que entre la maza superior y la maza bagacera (salida) esta abertura oscila entre 0.20 cm y 0.32 cm.

1.2.4 Equipo

El equipo utilizado en las molindas es sencillo y de igual uso en todas las molindas.

Al final del trabajo (Sección 13.0) se presenta un glosario de términos para los equipos y utensilios utilizados en las molindas. A continuación se mencionan estos equipos:

- Peroles para cocimiento de miel
- Peroles u ollas para batir miel
- Perol para recolección de agua
- Carretón de madera para transportar perol u olla para batir miel
- Carretilla de metal (se utiliza en algunas molindas para transportar el bagazo del molino a los patios de secado)
- Pala
- Azadón
- Ramillón
- Pascón
- Moldes de metal para azúcar de pilón (en las molindas que aún la producen)
- Moldes de madera para dulce de panela
- Paletas de madera para batir miel (para dulce de panela)
- Canaleta de madera
- Corvos de madera para enmoldar
- Hisopo
- Mazo para desenmoldar
- Barriles para recolección de agua
- Varas de madera para alimentar bagazo a hornos
- Moldes para elaboración de batidos
- Paletas para elaboración de batidos
- Recipiente para la recolección de espuma sucia

1.3 PROCESO DE ELABORACION DEL DULCE DE PANELA

Las principales actividades llevadas a cabo a lo largo del proceso de producción de dulce de panela son comunes a cualquier molienda, independientemente de su tamaño. Estas actividades se describen de la sección 1.3.1 a 1.3.3.

1.3.1 Actividades preliminares

Se realizan antes del proceso para que este no sufra interrupciones. Entre los preparativos que son necesarios llevar a cabo están: revisión y reparaciones en la infraestructura, maquinaria y el equipo, así como la limpieza general de las instalaciones.

1.3.2 Adquisición de caña de azúcar

La adquisición de la caña de azúcar para procesarla en panela se lleva a cabo en dos formas :

- a) El productor de panela procesa su propio cañal
- b) Compra de cañales *en pie* a otros cañicultores de la zona

Estas dos formas de adquisición se llevan a cabo en molindas que poseen 5, 6 y 8 peroles debido a que son molindas que producen panela en gran escala (900 - 1000 atados de dulce por día); pero no sucede lo mismo en las molindas de 3 peroles, donde el productor muele únicamente la caña que cultiva.

1.3.3 Proceso de producción de panela

Este proceso comprende las actividades desde el corte de la caña de azúcar, hasta que se obtiene el producto terminado listo para su comercialización, en dicho proceso se desarrollan las actividades siguientes :

a) Corte de caña

La caña cortada para el proceso de dulce de panela debe ser procesada en un rango de tiempo de 12 horas después de cortada para evitar la pérdida de algunas propiedades en el contenido de sacarosa por inversión (sección 2.2).

b) Transporte de caña a molienda

El medio de transporte característico para llevar la caña a las moliendas generalmente es la carreta, para los terrenos planos y ondulados; en aquellas moliendas donde los cultivos están a una mayor distancia se utilizan camiones para el transporte de la caña.

c) Molienda de caña en trapiche

Esta actividad consiste en introducir la caña de azúcar manualmente entre las masas del molino, que la trituran extrayendo el jugo de caña, que luego pasa a los peroles de cocción. Esta actividad la llevan a cabo tres obreros que intercambian actividades de Moledor, Bagacero y Acarreador de Caña.

El bagazo saliendo del molino lleva un contenido de jugo más elevado, del que se esperaría llevara al tener una mayor extracción, esto se debe a que si al bagazo se le extrae la máxima cantidad de jugo posible, al quemarlo en los hornos no proporcionaría suficiente calor como para llevar a cabo la cocción del jugo, mientras que al dejarlo con

una mayor cantidad de jugo, la sacarosa remanente en él proporciona una mayor cantidad de energía calorífica al quemarlo.

El tiempo de molido de una tonelada de caña de azúcar en las molientes que operan con motor diesel o eléctrico, está en el rango de 40-68 minutos aproximadamente (Cuadro 6.1).

d) Cocimiento del jugo de la caña de azúcar

La cocción del jugo consiste en la aplicación de energía calorífica durante un tiempo de 6 a 7 horas a los peroles (Cuadro 6.2), para lograr la concentración del jugo, mediante la evaporación del agua.

Durante el proceso de cocción tienen lugar cuatro puntos intermedios, llamados "Puntos de Miel". En orden de su aparición durante el proceso de cocción, los "puntos de miel" son: Punto de Miel de Mesa, Punto de Miel de Azúcar, Punto de Miel de Batido y Punto de Miel de Panela.

La energía utilizada para la cocción del jugo de caña es casi exclusivamente el bagazo obtenido de la molienda, la leña únicamente se usa al inicio de la temporada en pequeñas cantidades, para el arranque del proceso (Cuadro 6.1).

El precalentamiento de los peroles inicia antes que el jugo de la caña llegue a los mismos., el tiempo de precalentamiento puede variar de 10 a 5 minutos (Cuadro 6.1).

e) Clarificación del jugo de caña

Esta actividad se lleva a cabo en dos etapas, la primera se realiza durante la molienda de la caña de azúcar, cuando el jugo extraído en los molinos cae a una palangana (especie de colador con orificios de aproximadamente 0.5 cm de diámetro) donde se eliminan las partículas gruesas de bagazo y otros posibles contaminantes como piedras, rastrojos, etc. La siguiente etapa se realiza durante los primeros 60

minutos de cocimiento y consiste en extraer las impurezas del jugo proveniente del molino, el cual trae con sigo partículas de tierra, restos de bagazo, basura, etc., que no lograron ser separadas por la palangana ; éstas salen a flote en forma de espumas, debido al calentamiento, a las que se les da el nombre de “espuma de cuche o espuma sucia”. Esta es arrojada en los terrenos aledaños de las moliendas o se agregan en el bagazo para alimento de ganado ; en algunas moliendas, existen canaletas especialmente construidas para depositar en ellas las impurezas y desperdicios del proceso de producción.

El proceso de clarificación, tiene por objeto separar las impurezas del jugo de caña que son coagulables por efecto de la temperatura, y aquellas que se precipitan al utilizar Oxido de Calcio (CaO). Los cuerpos nitrogenados que se encuentran como impurezas en el jugo, incluyendo algunos albuminoides, son parcialmente separados por la coagulación. La pectina, las grasas, las ceras y los ácidos minerales y orgánicos, se precipitan en parte por la cal. Paine y Blach, del Laboratorio de Carbohidratos de los Estados Unidos, encontraron en sus investigaciones que la mejor clarificación se obtiene alcalinizando los jugos a pH's comprendidos entre 8.0 y 9.0.

f) Tratamientos químicos

Los productos químicos más comúnmente adicionados en el proceso de producción son Cal viva (CaO) y Blanqueador (Sulfito Acido de Sodio, NaHSO₃).

La cal es aplicada cuando el jugo ha tenido los primeros “hervores” y ha sido separada la espuma sucia, la función principal del la cal es elevar el pH de las mieles para evitar este problema.

El blanqueador es agregado, en algunas moliendas, solo cuando el proceso de cocción está por terminar, y su función es proporcionarle mejores características de color al dulce de panela.

El efecto de la cal se sobre las impurezas es la neutralización de los ácidos orgánicos presentes en el jugo de la caña.

El Sulfito ácido de sodio blanquea las materias colorantes del jugo oxidándose parcialmente durante el proceso; el exceso de este producto es neutralizado por el exceso de cal presente en el jugo.

g) Batido de la miel para dulce de panela

Esta operación consiste en colocar el perol u olla para batir la Miel de Panela, aproximadamente a un ángulo de 45° con respecto a la horizontal, luego de lo cual la miel en el Punto de Miel de Panela es vaciada y “batida” por la persona encargada de tal operación. El efecto de “batir” la miel, según los trabajadores de las moliendas es simplemente para lograr el enfriamiento de la misma y para evitar la formación de huecos en el dulce que le dan una consistencia porosa, y la formación de grumos en la miel para dulce. Es decir, lo que se logra al batir la miel es una mejor distribución de los cristales de azúcar formados en la masa de miel.

h) Enmoldado del dulce de panela

El enmoldado es una operación que consiste inicialmente, en la limpieza y humedecimiento de los moldes, para luego distribuir la miel ya “batida” utilizando paletas de madera en los moldes para dulce; los que le dan la forma característica al producto final del proceso de molienda.

i) Desenmoldado

Una vez llenos los moldes con la miel “batida”, esta se deja “cuajar” (solidificar) y cuando esta ya ha endurecido, los moldes son volteados de cara al suelo, para ser golpeados con unos mazos de madera para que las “lajas” formadas puedan salir de los orificios del molde.

j) Envoltura de la panela

Los materiales utilizados para la envoltura de la panela son el “mecate” y la “tusa” de maíz. La envoltura se lleva a cabo uniendo dos lajas de panela por sus extremos más anchos, luego son envueltos con tusa de maíz y amarrados con pitas hechas de “mecate”.(Fig A.8).

1.3.3 Otras actividades del proceso de producción de panela.**a) Secado del bagazo**

El bagazo húmedo saliendo del molino a un 52% de Humedad aproximadamente, es transportado hasta los patios de secado, donde es distribuido en capas delgadas, permaneciendo ahí al rededor de 6 a 8 horas, luego de lo cual es recogido para formar las pelotas con que se alimentarán los hornos.

b) Elaboración de “pelotas” de bagazo

El combustible utilizado en los hornos es el bagazo, para poder alimentarlo es necesario formar montones conocidos como “pelotas”, lo cual se logra tomando una cantidad de bagazo que oscila entre 5 y 9 Kg. (Cuadro 7.1) y amarrándolo con las puntas del mismo material.

c) Lavado de peroles

Luego que la miel en el “Punto de Miel de Panela” ha sido retirada del perol de cocción, éste debe ser sometido a un lavado para eliminar

todos los residuos que hayan podido quedar dentro de él, como lo son : restos de miel y basuras. Para poder sacar estos residuos, se utiliza el Hisopo, utensilio formado por un palo de madera en el cual se ha enrollado en uno de sus extremos un pedazo de saco de fibra de maguey, sujetado con alambre.

1.3.4 Rendimiento de panela

Usualmente, el rendimiento del dulce de panela se expresa como la relación de la cantidad de éste producida por tonelada de caña procesada. La unidad de medida de la cantidad de panela producida en las molindas es la *carga*, la cual equivale a 100 atados de dulce en las molindas de 8 peroles, y 96 atados de dulce en las restantes, sin embargo lo usual es expresar el rendimiento de panela por la relación .

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tonelada de Panela producida}}{\text{Tonelada de caña procesada}}$$

1.3.5 Subproductos del proceso de producción de dulce de panela

Los subproductos más importantes del proceso de producción del dulce de panela son los “*Batidos*”, los cuales son elaborados de la miel conocida con el mismo nombre, y que se obtiene justo antes de que la miel dé el “Punto de Miel de Panela”. Aún así, durante el proceso se produce sólo en pequeñas cantidades.

El proceso de elaboración es parecido al del dulce de panela, puesto que luego de sacar la miel del perol en el “Punto de Miel de Batido”, ésta es trasladada a moldes individuales, contruidos generalmente por una pieza de lámina formando un pequeño depósito en el cual la miel es “batida” junto con

otros productos que le imparten el sabor y olor característico como lo son : Anís, Vainilla, Ajonjolí, etc.

La “espuma de cuche o espuma sucia”, que aunque se clasifica como un desecho, se considera como un subproducto de utilidad del proceso (sin valor comercial), cuando es utilizado como alimento animal (por su contenido de azúcares).

1.4 COMERCIALIZACION DEL DULCE DE PANELA

El mercado de consumo que el dulce de panela posee, lo constituye principalmente la industria panificadora, la industria confitera y en su mayoría, es consumido en los hogares como parte de diferentes platillos típicos elaborados tradicionalmente.

Debido a que posee una demanda considerable en el mercado interno nacional, muchas personas se dedican casi exclusivamente a la comercialización de este producto durante todo el año.

Los lugares de comercialización pueden definirse de la siguiente manera (Cruz et al, 1981):

a) Comercialización en molienda

Como su nombre lo indica, la comercialización del dulce de panela se lleva a cabo en la misma molienda donde se produce. Para el productor es la forma más conveniente de comercializar su producto, puesto que ahorra tiempo y dinero al no tener que trasladarse hasta otro sitio para venderlo.

b) Comercialización en plaza

Los principales lugares de comercialización del dulce de panela se encuentran ubicados en la zona oriental del país : San Miguel, La Unión y Usulután, sin embargo en la zona occidental, específicamente en Santa

Ana, existe un buen mercado para este producto. La comercialización no se limita a la época de producción, sino que al contrario la mayor comercialización se da en la época de no-producción.

Sin embargo, otra forma común de comercialización es la llamada “al por menor” y al “detalle”, llevada ésta a cabo en pequeños comercios , tiendas y mercados.

Según estudio realizado para la zafra 97/98 los precios en el mercado nacional para una carga de dulce de panela (una carga equivale a 100 atados de dulce), oscilaron entre ¢ 120 y ¢300 colones, registrándose los precios más altos en la temporada de no producción del Dulce de Panela entre los meses de Mayo a Octubre (Durán, 1998).

1.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE LA PANELA

Existen diversos factores que influyen de forma positiva o negativa en la calidad de la Panela, algunos de éstos son : uso de fertilizantes, limpieza de los peroles, temperatura y tiempo de cocción, habilidad del *Puntero*, Batido de las mieles, tratamientos químicos empleados ; todos éstos se describen de la sección 1.5.1 a la sección 1.5.6.

1.5.1 Efecto del uso de fertilizantes en caña de azúcar y su rendimiento en dulce de panela

Actualmente los rendimientos de caña para panela y de panela se han duplicado por unidad de superficie, sólo con el empleo de variedades mejoradas, tales como la POJ, Barbados, Mayaguez, Puerto Rico y otras, que son mucho más rendidoras. Las variedades criollas además de ser susceptibles a enfermedades, tales como el mosaico, tienen una producción que oscila de 15 a 40 toneladas por manzana, según las condiciones, en cambio las variedades

mejoradas, además de ser resistentes a algunas enfermedades son altamente rendidoras, llegando a producir en condiciones óptimas, más de 100 toneladas por manzana.

A pesar de que los rendimientos se han duplicado, el problema de la calidad de la panela continua. Es muy frecuente el hecho de que los fertilizantes aumentan el tonelaje, pero la panela que obtienen es de baja calidad; debido al color oscuro que presenta y a sus malas condiciones de almacenamiento. En cambio al no fertilizar logran menor rendimiento de caña, pero panela de buena calidad.

El problema del efecto del uso de fertilizantes es que el uso de Nitrógeno retrasa la madurez de la caña y si el corte de ésta se realiza cuando no ha alcanzado el punto óptimo de maduración se obtiene alto rendimiento en caña pero un dulce de panela oscuro de baja calidad comercial; mientras que al cortar la caña cuando ésta ha alcanzado su punto óptimo de maduración la cantidad de Nitrógeno presente no afecta; el rendimiento en caña se duplica lo mismo que en panela y el dulce obtenido claro y de buena calidad comercial (MAG, 1984).

1.5.2 Estado de limpieza de los peroles

Al hervir las mieles se va formando en los peroles una costra de miel quemada, conocida comúnmente como "Sarro". Al echar nuevamente jugo y cocerse, la miel se oscurece por esta suciedad (MAG, 1984).

1.5.3 Temperatura y tiempo de cocción

Es muy importante controlar la intensidad del fuego con el que se cuecen los jugos. Las mieles cocidas con fuego alto o por lo contrario muy bajo; se oscurece. Los jugos obtenidos de caña con madurez no uniforme, necesitan

mayor tiempo de cocimiento que los de caña madura, lo que significa un mayor gasto de combustible y menor calidad de panela (MAG, 1984).

1.5.4 Habilidad del puntero

Es el factor de mayor importancia, porque de él depende la identificación del “punto” correcto de cocción que producirá la buena calidad de dulce de panela, o los otros subproductos que se elaboren en la molienda.

1.5.5 Batido de las mieles

Al extraer las mieles de los peroles de cocción en el Punto de Miel de Panela, para batirlas en los peroles u ollas, los batidores o “Sacatrapos” tienen que hacerlo correctamente, es decir, batir la miel con movimientos rápidos y envolventes lanzándola contra las paredes del perol, para luego colocarla en los moldes de dulce (MAG, 1984).

1.5.6 Empleo de blanqueadores

Estos tienen por objeto eliminar las impurezas del jugo para que las mieles sean claras. El empleo de blanqueadores parece ser justificable sólo cuando se tiene caña con madurez no uniforme. Aplicar estas sustancias cuando la caña está en su madurez óptima, no representa, aparentemente, beneficio alguno.

Entre los blanqueadores pueden mencionarse: la corteza de la planta llamada “Caulote” (Guazuma ulmiflora, Lomar K) o “Mozote” y productos químicos, como Hidrosulfito de Sodio y Oxido de Calcio (MAG, 1984).

2.0 GENERALIDADES SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR

La caña de azúcar es una gramínea tropical que pertenece a la misma tribu que el sorgo y el maíz (Andropogoneae), es una planta herbácea, provista de tallos redondos y nudosos, la altura que alcanza en su completo desarrollo varia de acuerdo con las condiciones climáticas y de suelo, ya que mientras algunas plantaciones apenas alcanzan los dos metros de altura, en otras puede llegar a los cinco metros. Existen numerosas variedades de caña de azúcar de valor comercial, actualmente la caña que se cultiva es un híbrido complejo de dos o más de las cinco especies del género *saccharum*, las cuales son: *S. barberi* Jeswiet, *S. officinarum* L., *S. robustum* Brandes & Jesw.ex Grassl, *S. sinense* Roxb. y *S. spontaneum*. En El Salvador las variedades de mayor cultivo son: Píndaro, Hawai y Criolla.

La caña se propaga por medio de pedazos de tallo provisto de dos o mas yemas (semillas), los cuales son ubicados en forma horizontal en un agujero poco profundo o surcos en el terreno y se cubren con una capa ligera de tierra por medio de un azadón o rastra de disco en algunos casos se añaden herbicidas de preemergencia poco después de la siembra y se agregan fertilizante después que empieza el crecimiento. En las áreas tropicales, se puede plantar o bien la parte superior de la caña o segmentos cortos del tallo (semilla). Las proporciones de siembra varían de acuerdo con la facilidad de germinación; las áreas tropicales irrigadas utilizan menos de dos toneladas de semilla por hectárea.

La caña de azúcar se adapta a numerosos tipos de suelo; pero existen algunas tierras que son especialmente adecuadas para esta cosecha, debido a que poseen condiciones físicas que permiten una labranza fácil y a que están provistas de elementos fertilizantes. Los terrenos de capa vegetal profunda que tengan buen drenaje son en general, buenos para el cultivo.

Los ensayos verificados con abonos en la caña de azúcar en diversas partes del mundo, han puesto de manifiesto que el nitrógeno (como nitratos) son

necesario para el crecimiento de la planta, el fósforo (como fosfatos) contribuyen al desarrollo y parece que activa la madurez de la planta y el potasio (potasa) es esencial en la formación del azúcar, por lo que deben de aplicarse en combinaciones adecuadas según el tipo de suelo.

La calidad de la caña en el campo tiende a mejorar con la edad, pero 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 corta la caña.

El deterioro antes de la recolección puede deberse a los daños causados por las enfermedades, plagas y el clima. Después de cortada, la caña de azúcar pierde agua (1 a 2% diariamente en la primera semana).

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.

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 ácido y compuestos coloreados.

El deterioro microbiano es causado principalmente por una bacteria del género *Leuconostoc*, aunque existen muchos otros tipos de bacterias que pueden invadir a la caña cortada. Los organismos del género *Leuconostoc* consumen sacarosa, produciendo largas cadenas de glucosa (polímeros con enlace en su mayor parte α -1,6) y fermentando la fructosa a ácidos orgánicos como productos secundarios. Cantidades relativamente pequeñas de dextrana presentes en el jugo de la caña (del orden de 10^3 ppm) aumentan la viscosidad, retardan la cristalización y disminuyen el rendimiento de sacarosa.

Por lo general nunca se espera la completa madurez de la caña para su corte, por lo que se realiza un proceso de monitoreo en el campo para saber si la

caña a alcanza un grado de madurez adecuada. En El Salvador el periodo de corta de la Caña o Zafra se verifica entre los meses de Octubre y Abril (Durán, 1998).

2.1 COMPOSICION QUIMICA DE LA CAÑA DE AZUCAR

La composición de la caña de azúcar es en extremo variable y se encuentra sujeta a la influencia de numerosos factores, tales como la variedad, el tipo de suelo, el clima, la edad de la planta, el cultivo y la clase de abono o fertilizantes empleados

La caña de retoño generalmente contiene mayor cantidad de azúcar y fibra leñosa que las cañas de planta (la caña de primer corte se llama caña de planta y la que ha recibido uno o más cortes se denomina caña de retoño).

La composición del jugo de caña es muy variable dependiendo de la parte del tallo de donde es extraído. Los efectos de la basura procedente de cada fracción de la planta de caña depende de su contribución a la sacarosa y a los componentes indeseables. Los jugos del cogollo (incluyendo la punta del tallo, hojas y entrenudos blandos y en proceso de alargamiento, vainas y hojas enrolladas) contienen menos de un 1% de sacarosa pero son relativamente ricas en almidón, polisacáridos solubles y azúcares reductores (Cuadro 2.1). Estos constituyentes indeseables son extraídos cuando se muelen el cogollo y las hojas muertas y afectan adversamente a la recuperación de la sacarosa. La basura de la caña mezclada con los tallos exprimidos absorbe una gran cantidad de jugo de los tallos, y sale del molino con un mayor porcentaje de sacarosa que con el que entró al molino.

La extracción del jugo (Cuadro 2.1) es más alta en el tallo en donde las células ricas en jugo almacenan la sacarosa. Es corriente una menor extracción en las otras partes de la planta, excepto la cepa o soca que tiene valores tanto de extracción como de sacarosa similares a la porción del tallo por encima del

terreno. Por lo general la cepa se clasifica como basura debido a su estrecha asociación con la tierra del campo.

El tallo de la caña (libre de basuras) está compuesto aproximadamente de 75% de agua (Cuadro 2.2) y el resto consiste en fibras y sólidos solubles. La cantidad de cada uno de éstos componentes es heredable y son bien conocidas las diferencias entre variedades (Chen, 1991).

Cuadro 2.1 Carbohidratos que se encuentran en las diferentes partes de la caña de azúcar.

Parte	Porción del total (%)	Extracción del Jugo (%)	Análisis del Guarapo (mg/ml)				
			Almidón	Polisacáridos Solubles	Sacarosa	Fructosa	Glucosa
Lámina Foliar	11.1	40.0	0.32	5.40	7.72	3.75	6.76
Vaina de la Hoja	4.3	38.6	0.05	4.03	14.20	3.33	5.92
Envoltura Foliar	2.0	48.2	0.09	5.58	6.85	7.56	13.60
Punta del tallo	1.6	47.6	0.08	5.90	14.82	12.94	17.52
Caña Triturable							
<i>Primeros 60 cm. Superiores</i>	14.0	69.3	0.07	1.81	130.46	6.88	9.84
<i>Segundos 60 cm.</i>	14.8	71.3	0.06	1.45	154.88	5.38	6.08
<i>Terceros 60 cm.</i>	17.8	73.6	0.04	1.47	181.85	3.63	4.04
<i>Cuartos 60 cm.</i>	19.5	71.1	0.03	1.30	185.10	3.06	2.80
Cepa	9.3	65.3	0.07	2.01	152.50	3.01	5.94
Raíces	1.3	27.2	0.00	1.28	8.76	1.25	2.50
Hojas Muertas	4.3	37.1	0.00	5.42	0.00	0.00	0.00

Chen (1991)

Cuadro 2.2 Composición química de la caña de azúcar y de los sólidos del guarapo

<i>Caña Triturada</i>	<i>Caña (% p/p)</i>
Agua	73 - 76
Sólidos	24 - 27
Sólidos solubles	10 - 16
Fibra (seca)	11 - 16
<i>Componentes del guarapo</i>	<i>Sólidos solubles</i>
Azúcares	75 - 92
Sacarosa	70 - 88
Glucosa	2 - 4
Fructosa	2 - 4
Sales	3.0 - 4.5
Ácidos inorgánicos	1.5 - 4.5
Ácidos orgánicos	1.0 - 3.0
Ácidos orgánicos	1.5 - 5.5
Ácidos carboxílicos	1.1 - 3.0
Aminoácidos	0.5 - 2.5
Otros no azúcares orgánicos	
Proteínas	0.5 - 0.6
Almidón	0.001 - 0.050
Gomas	0.30 - 0.60
Ceras, grasa, fosfátidos	0.05 - 0.15
Otros	3.0 - 5.0

Chen (1991)

La sacarosa en el jugo y la celulosa en la fibra son los dos principales constituyentes químicos de la caña de azúcar; cada uno de ellos está compuesto de azúcares simples. Los azúcares simples, glucosa (Dextrosa) y fructosa (Levulosa) se encuentran así mismo sin formar cadenas en la caña de azúcar, por lo general en cantidades menores que la sacarosa. La producción de azúcar o panela a partir del jugo de la caña de azúcar se basa en la capacidad que tiene la sacarosa de cristalizar a partir de un jarabe espeso, mientras que la glucosa y la fructosa permanecen disueltos. Otros azúcares están presentes en la caña como constituyentes de las gomas o de las paredes celulares.

a) Sacarosa

La sacarosa es el azúcar de uso doméstico e industrial mas conocido y es el azúcar más común en el reino vegetal. La sacarosa se encuentra en todas las partes de la planta de caña de azúcar (Cuadro 2.1), 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 las porciones blandas del extremo del tallo y las hojas enrolladas.

Los azúcares monosacáridos se condensan para formar sacarosa y agua. La sacarosa tiene la fórmula empírica $C_{12}H_{22}O_{11}$ y un peso molecular de 342.3 (Fig. 2.1).

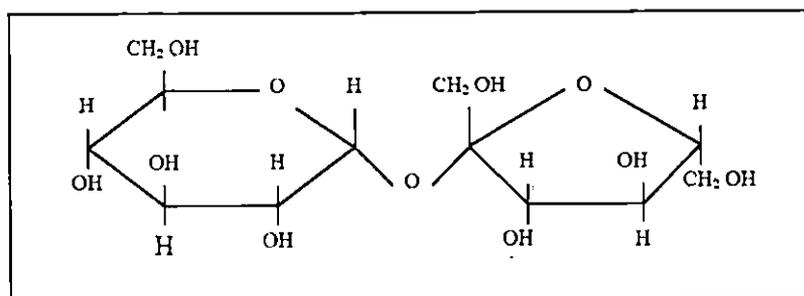


Fig. 2.1 Molécula de Sacarosa

Los cristales de sacarosa son prismas monoclinicos que tienen una densidad de 1.588; una solución al 26% (p/p) tiene una densidad de 1.18175 a 20°C. Su punto de fusión es de 188°C (370°F) y se descompone al fundirse. El índice de refracción es de 1.3740 para una solución al 26% (p/p). La sacarosa es soluble tanto en agua como en etanol; las soluciones saturadas a 20°C contienen 67.09 y 0.9% por peso respectivamente. La sacarosa es solo ligeramente soluble en metanol e insoluble en éter o cloroformo.

Cuando se hidroliza, ya sea mediante un ácido o la enzima invertasa, la sacarosa produce cantidades equimolares de glucosa y fructosa y la mezcla se conoce como "Azúcar Invertida" (Chen, 1991).

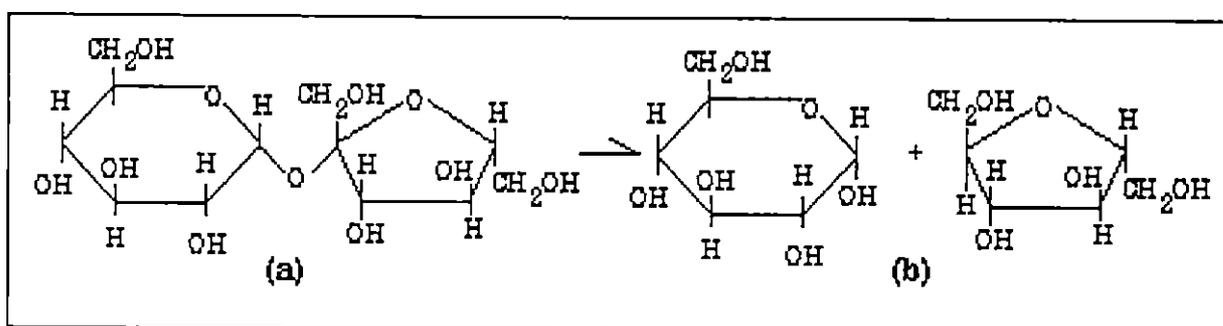


Fig. 2.2 (a) Sacarosa, (b) Azúcar Invertida (Glucosa + Fructosa)

b) Glucosa (Dextrosa)

Metabólicamente la Glucosa o Fructosa es el azúcar más importante en las plantas y en los animales. Sólo en la porción en crecimiento activo de la planta de caña de azúcar (punta del tallo) el contenido de glucosa excede el de sacarosa (Cuadro 2.1). Al comienzo de la zafra el contenido de glucosa del guarapo es alto y disminuye con la madurez.

La fórmula empírica de la glucosa es $C_6H_{12}O_6$ y el peso molecular es 180.2. Los cristales anhidros de glucosa son rómbicos, se funden a 146 °C y tienen una densidad de 1.544.

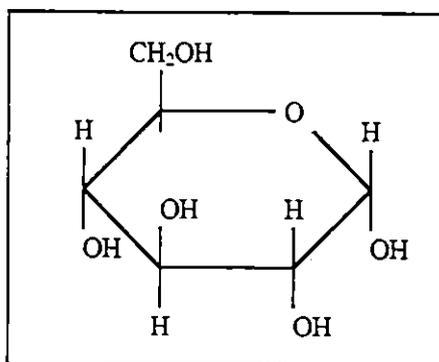


Fig. 2.3 Molécula de Glucosa

La glucosa es menos soluble en agua que la sacarosa, ya que aún a 30°C una solución saturada contiene sólo un 57.6% (p/p). Es soluble en etanol e insoluble en éter (Chen, 1991).

c) Fructosa (Levulosa)

Es llamada también azúcar de frutas, es más dulce que la sacarosa y la glucosa; de las tres es la menos abundante en la caña. A semejanza de la glucosa, es más abundante en las partes en crecimiento de la planta y menos abundante en la parte inferior del tallo y las raíces. La fructosa disminuye con la maduración y puede ser imposible de detectar en algunas variedades de alta pureza en la madurez.

La fórmula empírica de la fructosa es la misma que la de la glucosa y de igual peso molecular. Los cristales ortorrómbicos de la fructosa tienen una densidad de 1.598 y una solución al 26% (p/p) tiene una densidad 1.1088; los cristales funden a 105°C, es muy soluble en agua y ligeramente soluble en etanol; una solución saturada en agua a 20°C contiene 78.94% de fructosa (Chen, 1991).

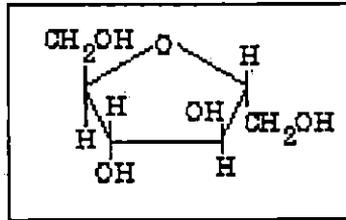


Fig. 2.4 Molécula de Fructosa

d) Polisacáridos de la caña de azúcar.

Los principales polisacáridos que están presentes en la caña de azúcar son : el Almidón, las Dextranas y las Gomas.

El jugo de los tallos de la caña de azúcar contiene pequeñas cantidades (0.0005%, Cuadro 1.1) de almidón, un polímero de unidades de glucosa con enlaces α -1,4 principalmente (Fig. 2.5).

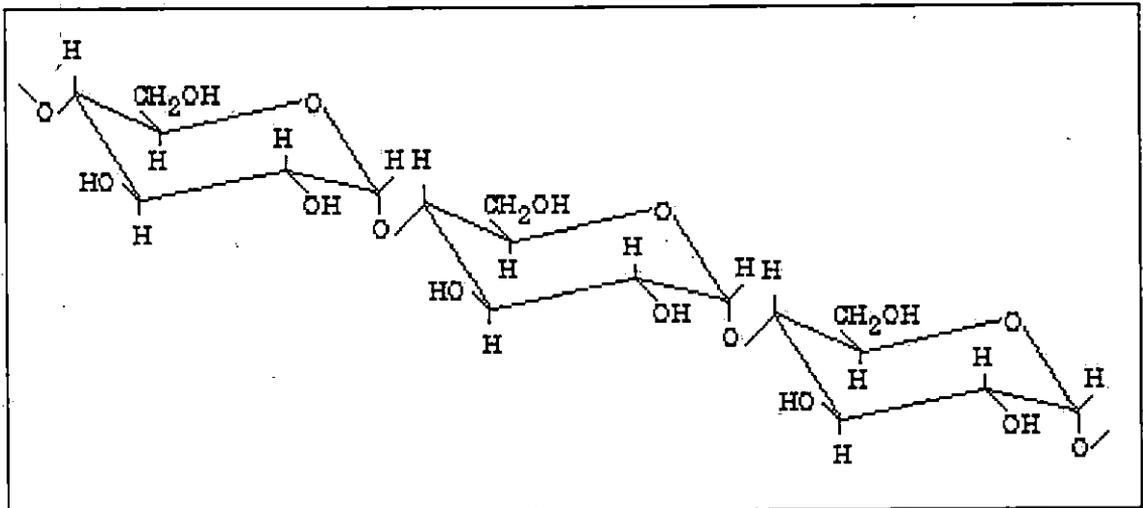


Fig. 2.5 Conformación de la molécula del Almidón

El almidón está generalmente limitado al meristemo intercalar, la parte del tallo exactamente arriba del nudo que crece después de que la caña se extiende horizontalmente, y que ayuda a poner de nuevo verticales a los tallos. El hecho de que este almidón sirve como alimento de reserva queda demostrado por su desaparición temporal después de que la caña se *acama* y después del brote de raíces o yemas. El contenido

de almidón del tallo aumenta a medida que madura la caña y desaparece después de la congelación.

Al parecer toda la caña en proceso de crecimiento contiene una cierta cantidad de almidón, pero algunas variedades poseen un contenido más elevado de almidón que otras. El almidón existe en dos formas, la amilosa, una estructura lineal helicoidal, y la amilopectina, la fracción más ramificada.

El almidón no es soluble en agua fría, pero se vuelve parcialmente soluble en agua caliente. Se remueve una cierta cantidad de almidón al efectuar la cristalización en la fábrica pero el remanente es suficiente para retardar la cristalización en el jarabe y disminuir el agotamiento de las melazas.

Los problemas causados por el almidón en el proceso se pueden evitar mediante la selección de variedades de la caña y la reducción al mínimo de la molienda de las hojas verdes y la caña joven (Chen, 1991).

Las Dextranas y las gomas son polisacáridos que, a diferencia del almidón son solubles en el guarapo frío. Las dextranas son los productos de la infección microbiana de la célula dañada, causada por bacterias del género *Leuconostoc*. Si la caña se ha deteriorado y formado dextrana, el nivel de goma excede el 1%. Las dextranas se forman rápidamente en condiciones de pH ácido, bajo °Brix y temperatura ligeramente elevada. La acumulación de dextranas causa muchos problemas en el proceso tales como : pérdidas del rendimiento, baja recuperación, aumento de la viscosidad y la pureza de las mieles .

e) Componentes minerales

Las plantas extraen normalmente sus componentes minerales del suelo (Brian. Et al, 1993). Algunos factores afectan la disponibilidad de estos minerales de forma que la planta los puede obtener fácilmente o no. Los principales factores que afectan la disponibilidad de estos

minerales son : la concentración en el suelo, velocidad de liberación de los minerales en el suelo, la actividad de los microorganismos del suelo, la selección efectuada por la raíz de la planta, etc. Los mecanismos principales que permiten la entrada de minerales al suelo son el intemperismo mineral¹, la descomposición de la materia orgánica, la lluvia, las sales contenidas en las aguas de riego, la fertilización, etc. (Brian. Et al, 1993).

Los componentes inorgánicos de la caña de azúcar se presentan como agua, iones, sales, constituyentes de moléculas orgánicas complejas, o compuestos insolubles.

f) pH y Acidez

La concentración de ion hidrógeno (pH) en el jugo de una planta madura normal de caña de azúcar varía entre 4.73 y 5.63, pero el valor corriente oscila entre 5.2 y 5.4. Los valores de la acidez titulable varían con mayor amplitud que los del pH, y ésta se utiliza comúnmente como indicador de calidad. Los valores de la acidez constituyen solamente un indicador indirecto del deterioro; el contenido de polisacáridos solubles, especialmente los dextranas, representan un valor más directo (Chen, 1991).

g) Ácidos orgánicos

Muchos ácidos orgánicos existen en forma natural en la caña de azúcar, especialmente como intermediarios metabólicos. De todos ellos, el ácido aconítico es el ácido con mayor importancia comercial, existiendo a un nivel promedio de 1.54% de los sólidos del jugo, o alrededor de tres veces el nivel de otros ácidos (cítrico, málico, oxálico, glicólico, mesacónico, tartárico, succínico, fumárico y siríngico).

¹ El intemperismo es el proceso de transformación química de los suelos.

Los ácidos acético y láctico no son constituyentes naturales de la caña, sino productos de infección microbiana que se observan particularmente en la caña fermentada (caña que ha sufrido un proceso de inversión microbiana de la sacarosa) (Chen, 1991).

h) Proteínas

Los aminoácidos libres se acumulan en las melazas y contribuyen a la pérdida de sacarosa; pero cuando se enlazan para formar proteínas resultan beneficiosas. La proteína que se encuentra en el guarapo, a pesar de estar presente en pequeñas cantidades, se coagula por el calor y la cal y ayuda a la clarificación (Chen, 1991).

i) Colorantes, precursores de colores, componentes del sabor y otros.

En las partes verdes de la caña de azúcar, están presentes los familiares pigmentos verdes y amarillos de las plantas : las clorofilas A y, los carotenos y las xantófilas, mismos que se extraen fácilmente en el laboratorio y en la fábrica. La mayor parte de dichos pigmentos son destruidos o separados durante la clarificación y la ebullición.

El colorante de azúcar, la mezcla de compuestos que dan color a las mieles y azúcares están formados por cuatro componentes principales. En primer lugar, los compuestos derivados de la propia planta, en su mayor parte compuestos fenólicos, polifenólicos y flavonoides, son los principales contribuyentes al color del azúcar. Muchos de ellos tienen colores que varían del amarillo al café y existen en la planta como compuestos incoloros que son oxidados a un estado coloreado en el guarapo, ya sea por acción de enzimas u oxidación química. En los azúcares se hallan cantidades infinitesimales de algunos pigmentos del tipo de la antocianina, aunque estos compuestos rojo, púrpura, café, contribuyen muy poco al color del azúcar.

En segundo lugar los compuestos del caramelo (formados por la descomposición de la sacarosa y del azúcar invertido por la acción del calor), y en tercer lugar, los compuestos del tipo de la melanoidina (formados por reacción de los azúcares con compuestos aminados) suministran el color oscuro y café, y a menudo proceden de compuestos con un peso molecular muy elevado. Cuando se calienta el azúcar a un pH ácido se forma hidroximetil furfural, de por sí incoloro, pero que se descompone rápidamente para formar un compuesto polimérico de color oscuro. El cuarto grupo está formado por la degradación de la fructosa en condiciones básicas, como las que existen en la refinera de azúcar.

Asimismo se ha encontrado que el dimetilsulfuro constituye un componente principal del sabor en las melazas, y el ácido acético, de las melazas y el azúcar morena. La mayor parte de estos compuestos proceden de la planta de caña de azúcar. Algunos se producen por la actividad microbiana, otras por reacciones termoquímicas de los azúcares o de los fenoles (Chen, 1991).

2.2 REACCIONES DE INVERSION

En sentido químico, inversión quiere decir el cambio de la actividad óptica dextrógira a levógira o viceversa. El término se ha utilizado para describir el cambio en la rotación como resultado de la hidrólisis ácida de una solución de sacarosa y en el que la rotación dextrógira de la sacarosa se invierte a la rotación levógira de la mezcla resultante de glucosa y fructosa. Actualmente el término Inversión se extiende a la hidrólisis ácida o enzimática de la sacarosa para producir azúcares invertidos. El término inversión se usa ampliamente, aunque en forma errónea, refiriéndose al deterioro de la calidad de la caña que tiene lugar después de la recolección o quema, cuando la sacarosa es metabolizada por las bacterias, y la rotación dextrógira del jugo aumenta debido a la formación de dextrana.

La inversión por enzimas invertasas tiene lugar en la caña de azúcar cosechada. La actividad enzimática depende de la edad, variedad y temperatura. La rápida inversión de la caña inmadura en la época de calor da por resultado valores más bajos de pureza. El metasilicato de sodio actúa como un inhibidor de la invertasa en el jugo de caña.

La inversión ácida depende tanto del calor como del pH, por ejemplo cuando el pH del jugo es de 5.8 y la temperatura de 120°C la inversión reduce la concentración de sacarosa a una tasa de 2% por hora. La inversión ácida se reduce al mínimo por la adición de cal a fin de mantener el pH a un valor de 7.0 o ligeramente mayor (Chen, 1991).

3.0 PLAN DE MONITOREO PARA LA CARACTERIZACION DEL PROCESO ARTESANAL DE PRODUCCION DE DULCE DE PANELA

El objetivo de establecer un plan de monitoreo es el de recopilar información que permita caracterizar el proceso artesanal de producción de dulce de panela. El plan de monitoreo a seguir en esta investigación, se divide esencialmente en cuatro etapas :

- I. Monitoreo de pre-molienda
- II. Monitoreo de molienda (extracción del jugo de caña)
- III. Monitoreo de proceso de cocción
- IV. Monitoreo de hornos

De la sección 3.1 a la 3.4 se presentan los objetivos específicos y la descripción de las actividades para el monitoreo de cada etapa.

3.1 MONITOREO DE PRE-MOLIENDA

El objetivo del monitoreo de esta etapa, es el de recabar información referente a las operaciones previas al proceso de elaboración del dulce de panela, lo que proporcionará información importante que permitirá una descripción detallada de los aspectos físicos que involucra una molienda, así como las diferentes partes constituyentes de la estructura de la misma.

Las actividades que se realizan en esta etapa, pretenden describir las características físicas principales de la molienda como lo son:

- a) Distribución en planta
- b) Número de peroles
- c) Separación entre las masas del molino
- d) Tipo de molino (de motor eléctrico o combustible)
- e) Volumen de los peroles

- f) Disposición de los peroles en la molienda
- g) Identificación de puntos de descarga de residuos del proceso
- h) Forma de transporte de la caña hasta la molienda
- i) Número de personas laborando en la molienda

Otras actividades de monitoreo de pre-molienda a desarrollar serán :

- i. Tomar de Lectura del contador de energía Eléctrica (para las moliendas con motor eléctrico) o el gasto de combustible (para las moliendas con motor Diesel) al iniciar el lote o jornada de trabajo.
- ii. Determinación de la cantidad de caña molida para llenar con jugo un perol

3.2 MONITOREO DE MOLIENDA (EXTRACCIÓN DEL JUGO DE CAÑA)

El objetivo del monitoreo de la etapa de molienda, es el de obtener información acerca de la eficiencia de extracción del proceso, el consumo energético (combustible o electricidad) por lote, así como la cantidad y composición de las aguas de lavado del molino (contenido de sacarosa). En esta etapa se realizarán diversas actividades, con el fin de recopilar la información suficiente para la caracterización del proceso de molienda de la caña de azúcar, para la obtención del jugo el cual se procesa para la obtención de la Panela y los diferentes subproductos del proceso.

Las actividades desarrolladas durante esta etapa son :

- a) Toma de muestra de Jugo de Caña proveniente de los molinos
- b) Toma de muestra de bagazo saliendo de molinos
- c) Lectura de contador de energía eléctrica o de consumo de combustible
- d) Toma de muestra de caña alimentada al molino

Los procedimientos para las distintas actividades de monitoreo realizadas se describen en la sección 4.0.

3.3 MONITOREO DE PROCESO DE COCCIÓN

El principal objetivo del monitoreo de esta etapa es el de obtener datos experimentales mediante los cuales se pretende caracterizar cada uno de los “puntos de miel” en el proceso de cocción a través de variables como Temperatura, Concentración de iones Hidrógeno (pH), Grados polarimétricos (°Pol), Porcentaje en peso de sólidos totales disueltos (°Brix) y Color. La selección de estas propiedades y características se fundamenta en que son estas las monitoreadas y controladas en la industria azucarera, ya que proporcionan la mayoría de parámetros de control químico en un Ingenio Azucarero entre otras.

En el proceso de cocción, como se explica en la sección 1.3.3, se lleva a cabo la concentración del jugo de caña por medio de la evaporación de la mayor parte del agua que contiene originalmente el mismo.

A lo largo de esta etapa del proceso, se encuentran los principales puntos de monitoreo (para los fines de este trabajo), como lo son los diferentes puntos de miel, desechos generados, productos químicos o naturales adicionados.

Aunque la adición de energía calorífica para la concentración del jugo es parte esencial del proceso de cocción, esta se considera como una etapa aparte para fines del monitoreo.

Todas las actividades de monitoreo en esta etapa requieren toma de muestras para su posterior análisis fisicoquímico. Las actividades de monitoreo que se realizan para ésta etapa son :

- a) Toma de muestra de espuma conteniendo la mayoría de impurezas del jugo (espuma de “cuche” o espuma sucia).
- b) Toma de muestra de cada “punto de miel “ del proceso:
 - Punto de Miel de Mesa
 - Punto de Miel de Azúcar

- Punto de Miel de Batido
 - Punto de Miel de Panela
- c) Toma de temperatura de cada “punto de miel” del proceso:
- Punto de Miel de Mesa
 - Punto de Miel de Azúcar
 - Punto de Miel de Batido
 - Punto de Miel de Panela
- d) Toma de tiempo transcurrido entre cada “Punto de Miel”.
- e) Toma de temperatura de espuma sucia y agua de lavado de peroles

Los procedimientos de cada una de las actividades de monitoreo de esta etapa, se describen en la sección 4.0.

3.4 MONITOREO DE HORNOS

El monitoreo de los hornos se realiza con el objeto de determinar la cantidad de bagazo alimentado a los mismos (que es el combustible utilizado para proporcionar la energía calorífica a los peroles), para lograr la concentración del jugo hasta obtener el Punto de Miel de Panela, con el cual finaliza el proceso de cocción. También se determina la cantidad de cenizas generadas por la combustión del bagazo, y se realiza un monitoreo del bagazo alimentado a los hornos, para determinar su humedad. y poder Calorífico.

Las actividades de monitoreo para ésta etapa son :

- a) Toma de muestra de bagazo alimentado a los hornos para determinar humedad y poder Calorífico.
- b) Determinación de peso de bagazo alimentado a los hornos para cada perol.
- c) Toma de muestra de cenizas de combustión del bagazo, y determinación de cantidad generada, de la misma.

4.0 DESCRIPCION DE METODOS DE TOMA DE MUESTRAS Y DE ANALISIS FISICOQUIMICOS PARA LA CARACTERIZACION DEL PROCESO DE PRODUCCION DE DULCE DE PANELA

El monitoreo para la caracterización del proceso de producción de dulce de panela, cuya descripción se presenta en el capítulo 3.0, se realizó mediante la toma y análisis fisicoquímicos de muestras de los materiales propios de los distintos puntos del proceso. Estos materiales son los siguientes :

- Planta de la caña de azúcar
- Jugo de caña de azúcar
- Bagazo de caña de azúcar
- Mieles generadas en las diferentes etapas de cocción
- Espuma sucia del jugo de caña
- Agua de lavado de molinos y peroles de cocción
- Cenizas provenientes de la combustión del bagazo en los hornos

4.1 JUGO DE CAÑA

Es el jugo o guarapo procedente de la molienda de los tallos de la caña en el molino; los análisis fisicoquímicos que se le realizarán a la muestra de jugo son:

- a) Grados polarimétricos (° Pol)
- b) Porcentaje en peso de sólidos totales disueltos (° Brix)
- c) Concentración de iones hidrógeno (pH)
- d) Color

4.1.1 Toma de muestra

La muestra de jugo de caña se toma directamente del molino, en el momento que se esté llenando el último perol de la molienda, con el objeto de

minimizar el tiempo de almacenamiento antes de su traslado al laboratorio y así evitar la pérdida de las propiedades originales del jugo debido a la inversión de la sacarosa y la fermentación del mismo por acción de microorganismos que se alimentan de los azúcares presentes en el jugo.

La preservación de la muestra de jugo de caña es de mucha importancia puesto que este es susceptible de descomponerse, debido a la inversión de la sacarosa contenida en el mismo (Sección 2.2), y la cuál es el componente de interés a lo largo del proceso llevado a cabo en las moliendas.

Preservación del jugo: El preservante utilizado para conservar las muestras de jugos de caña para determinar °Brix y °Pol es la solución saturada de dicloruro de mercurio (HgCl_2) al 10% p/v

Debido a que el jugo de caña es muy susceptible a los efectos de contaminantes, sean éstos sustancias químicas o microorganismos, es preciso tener una serie de precauciones tanto antes como después de haber tomado las muestras de jugo, algunas de éstas son :

- a) Lavar muy bien los recipientes en que se colocaran las muestras y secarlos perfectamente.
- b) Añadir a la muestra contenida en el depósito, la cantidad indicada de solución de HgCl_2 de acuerdo a la cantidad de jugo a preservar.
- c) Mantener las muestras a temperaturas cercanas a los 20°C, colocándolas para ello en un contenedor refrigerado.

La solución de HgCl_2 junto con la refrigeración, ayudan a preservar las características del jugo de caña por aproximadamente 8 horas.

El procedimiento para la toma de la muestra es el siguiente :

- a) Lavar el recipiente en el que se recolecta la muestra con un poco de jugo de caña y descartar

- b) Llenar el recipiente en el que se recolecta la muestra con el jugo a la salida del molino hasta rebalsar, evitando que queden burbujas de aire dentro del recipiente.
- c) Agregar 2 gotas de solución de HgCl_2 por cada 100 ml de jugo, para evitar la inversión de la sacarosa.
- d) Tapar, sellar herméticamente y rotular el recipiente.
- e) Refrigerar (colocar en hielera) para ayudar a la preservación.

4.2 BAGAZO DE CAÑA

Durante el proceso de molienda, la caña es exprimida para extraer la mayor parte del jugo que ésta contiene, sin embargo la extracción está lejos de ser la máxima posible, esto se debe, entre otras cosas, a problemas asociados a la combustión del bagazo, lo cual se explica en la sección 1.3.3. Por eso es necesario determinar el contenido de sacarosa remanente en el bagazo de caña, así como otros aspectos de interés para una combustión apropiada del mismo, como humedad y fibra.

Las características del bagazo a determinar a través de análisis fisicoquímicos son :

- a) ° Pol
- b) % de Humedad (después de secado)
- c) Fibra en el bagazo
- d) Poder Calorífico

4.2.1 Toma de muestra

La muestra de bagazo se tomará de la caña molida para el llenado del último perol. Por el contenido de jugo que ha quedado remanente en el bagazo éste enfrenta problemas de inversión y fermentación por lo que se deben tener

precauciones en la toma, manipulación y transporte de la muestra ya que no es posible la adición de preservante

La muestra de bagazo se toma directamente a la salida del molino, éste se corta en trozos pequeños y se introduce en una bolsa de polietileno para su transporte, con el objeto de evitar también que la pérdida de humedad varíe el resultado de los análisis..

4.3 MIELES

Como se define en la sección 1.3.3, las mieles son los puntos intermedios por los que pasa el jugo de caña, en su concentración durante el proceso de cocción, hasta llegar a la miel para dulce de panela. La identificación de estos “puntos de miel” se presenta en la sección 3.3.

Los análisis fisicoquímicos que se realizan en las muestras tienen por objeto obtener valores numéricos de las características seleccionadas en la sección 3.3.

Las características de las mieles a determinar mediante análisis fisicoquímicos son :

- a) ° Pol
- b) ° Brix
- c) pH
- d) Color

4.3.1 Toma de muestra

La toma de muestras de las mieles se realiza directamente del perol, cuando el puntero indica que se ha alcanzado el “punto” a monitorear.

La muestra se toma utilizando el “ramillón”, utensilio empleado para sacar la miel de los peroles. La muestra se coloca en un “huacal de morro”,

luego se toma la temperatura de la muestra y se depositan aproximadamente 240 ml de miel en un recipiente resistente a temperaturas elevadas.

Este procedimiento se realiza en cada uno de los “puntos” a monitorear.

4.4 ESPUMAS DEL JUGO DE CAÑA

Las espumas, como se definen en la sección 1.3.3, son las impurezas del jugo de caña (tierra, bagacillo, etc.), las cuales salen a flote por efectos del calentamiento del mismo y que se recogen con el “Pascón” para luego desecharlas.

Así, las características que se determinan en las espumas del jugo de caña, mediante análisis fisicoquímicos son :

- a) ° Pol
- b) Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- c) Temperatura

4.4.1 Toma de Muestra

El muestreo de la espuma sucia se realiza del Pascón cuando el puntero retira la espuma durante la limpieza del jugo o guarapo de los peroles de cocción, en un recipiente de 1 un litro para el análisis de DQO y en un recipiente de 0.5 litros para el análisis de °Pol (lavados y esterilizados previamente) resistente a medianas temperaturas, con tapones de rosca que permitan un sello hermético; la separación de las muestras se realiza con el objeto de evitar cualquier interferencia del preservante utilizado para realizar el análisis de ° Pol (Cloruro de Mercurio al 10% p/v) en el análisis de DQO.

4.5 AGUA DE LAVADO DE MOLINOS Y PEROLES DE COCCION

Al igual que las espumas, las aguas de lavado constituyen uno de los principales desechos generados en el proceso de producción de dulce de panela.

Las aguas de lavado se generan en los peroles de cocción principalmente; éstas son desaguadas en la mayoría de los casos en los terrenos aledaños a la molienda, los cuales por lo general están cultivados con caña de azúcar. Sin embargo en los casos en los cuales las aguas de desecho son tiradas a terrenos aledaños a la molienda, sin ningún propósito o control, esto puede tener algún efecto de contaminación sobre el medio ambiente cercano a las moliendas.

La característica principal a determinar en estas aguas es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

4.5.1 Toma de Muestra

El muestreo del agua de lavado de peroles se realiza directamente del perol de cocción cuando este es lavado por el puntero en un recipiente de 1 litro (lavado y esterilizado previamente) resistente a medianas temperaturas, con tapones de rosca que permitan un sello hermético.

4.6 CENIZAS PROVENIENTES DE LA COMBUSTION DEL BAGAZO EN LOS HORNOS

El bagazo de caña como se mencionó en la sección 1.3.3, es el combustible mayormente utilizado en las moliendas que existen en la actualidad, debido a esto las cantidades de ceniza generadas son considerables y podrían tener algún efecto sobre el medio ambiente, si su disposición no es la adecuada(uso en los terrenos de cultivo como suplemento agrícola o fertilizante).

Los análisis fisicoquímicos que se realizan a las muestras de ceniza tomadas son :

- a) Contenido de Nitrógeno
- b) Contenido de Potasio
- c) Contenido de Fósforo

4.6.1 Toma de Muestra

El muestreo de ceniza se realiza tomando una mezcla de 2 kg de las cenizas de cada uno de los promontorios ubicados en la boca de los hornos durante la limpieza de los mismos.

4.7 CAÑA DE AZÚCAR

El muestreo de la caña de azúcar se realiza con el objeto de determinar la parte fibrosa del tallo de la caña

4.7.1 Toma de muestra de caña

La muestra de caña se obtiene, tomando al azar aproximadamente 4.5 Kg. de la caña a moler (se debe de tomar en cuenta que la caña tenga sus tres partes principales las cuales son : tronco, medio y punta, ya que existe gran diferencia en la distribución de la concentración de sacarosa en el jugo en cada una de estas partes) luego se cuartea y mezcla para tomar una muestra de dos kilogramos para realizar el análisis de fibra en la caña.

5.0 PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS PARA LA CARACTERIZACION DEL PROCESO DE PRODUCCION DEL DULCE DE PANELA

Luego de haber realizado el monitoreo de las diferentes etapas que comprende el proceso de producción de dulce de panela, y de haber obtenido las muestras necesarias para caracterizar dicho proceso, se llevan a cabo los respectivos análisis fisicoquímicos especificados en la sección 4.0. Estos análisis se realizan utilizando el equipo e instalaciones del ingenio *Chanmico ubicado en el municipio de San Juan Opico del Departamento de La Libertad*.

Los procedimientos analíticos de laboratorio efectuados se describen de la sección 5.1 a 5.5 y son tomados del manual "Prácticas de laboratorio para la industria azucarera", utilizadas en dicho ingenio.

5.1 DETERMINACION DE °BRIX

La luz viaja a diferentes velocidades en diferentes sustancias. Si la luz incide en una superficie en determinado ángulo, también cambia de dirección (se desvía o se refracta). El índice de refracción de una sustancia depende del grado de desviación de la luz. Cada sustancia tiene un índice de refracción característico, y es función de la cantidad relativa de los componentes de la mezcla. El instrumento de medición de esta propiedad física es el refractómetro.

Se conoce por °Brix al porcentaje en peso de sólidos totales disueltos (o solubles) en solución. En ingenios azucareros se ha hecho costumbre utilizar el termino "Densidad", refiriéndose a los °Brix o Baumé de un producto.

Existen diversos tipos de refractómetros calibrados a distintas temperaturas: 17.5 °C ; 20 °C ; 25 °C. Los calibrados a 17.5 °C están fuera de uso por acuerdo del Congreso Internacional de Química Aplicada, en países de clima cálido, algunos ingenios usan refractómetros calibrados a 25 °C, otros usan los

calibrados a 20 °C, basándose que esta es la temperatura a la cual están calibrados los Sacarímetros, mal llamados Polarímetros por la costumbre. Estos últimos son los adoptados como oficiales por el Congreso Internacional de Química Aplicada y el Bureau of Standard de E.E.U.U. Por tanto, cuando la temperatura de la solución a la cual se le esta determinando los °Brix, no es igual a la temperatura a que esta calibrado el refractómetro, habrá que efectuar la corrección correspondiente, que será aditiva, si la temperatura de la solución es mayor que la calibración del refractómetro y sustractiva si es menor.

El °Brix Refractométrico se calcula como sigue:

$$^{\circ}\text{Brix Refractométrico} = \text{Lectura} \pm \text{Corrección por Temperatura}$$

La corrección por temperatura se encuentra tabulada (Spencer, 1967) y se presentan en el anexo B.

El equipo requerido es :

- a) Refractómetro
- b) Gotero plástico
- c) Piseta con agua destilada

5.1.1 Procedimiento

I. Muestra de Jugo

- a) Verificar si el refractómetro se encuentre limpio. Chequear la calibración agregando una gota de agua desmineralizada o destilada. La lectura debe ser 0+0.1

- b) Colocar en la unidad óptica del refractómetro la cantidad de muestra necesaria para efectuar la lectura (1 a 2 ml de la muestra previamente mezclada o agitada)
- c) Realizar la lectura
- d) Obtener el valor de temperatura de la muestra
- e) Corregir la lectura, por temperatura

II. Muestra de Miel

- a) Tarar dos beaker en la balanza de torsión
- b) Adicionar en uno de los beaker una cantidad considerable de miel
- c) En el otro beaker se agrega agua destilada hasta nivelar la balanza. En esta forma se habrá pesado igual cantidad de miel y agua, resultando una solución 1:1
- d) Disolver la miel con esa agua y dejarla en reposo para que desaloje el aire acumulado.
- e) Obtener el valor de temperatura de la muestra
- f) Determinar la lectura en el refractómetro, aplicando el correspondiente factor de dilución y corregir por temperatura

5.2 DETERMINACION DE °Pol

La luz ordinaria, como la del sol o la de una lampara incandescente, es una onda electromagnética cuyo vector eléctrico oscila en todas las direcciones en ángulo recto a la dirección de propagación. Por lo tanto, un rayo de luz ordinaria está compuesto de vibraciones que se propagan en un número infinito de planos. Por medio de varios dispositivos ópticos es posible lograr que un rayo de luz vibre solo en un plano. Tal luz se dice que está polarizada o mas específicamente polarizada en un plano al que se le llama plano de polarización.

Muchas sustancias, incluyendo las soluciones de sacarosa y otros azúcares, tienen la propiedad de hacer girar el plano de polarización. La rotación del plano de luz polarizada debido a la actividad óptica de la sacarosa, causada por la presencia de carbonos asimétricos en su estructura molecular, al encontrarse en solución acuosa es la base para la polarimetría del azúcar.

El ángulo de rotación de soluciones acuosas de sacarosa pura es proporcional a la concentración, con precisión suficiente para servir como medida de concentración de sacarosa. Puesto que las soluciones de azúcar siempre contienen sustancias activas, que influyen en la rotación, el resultado no es el reflejo exacto del contenido de sacarosa, pero puede considerarse como una medida bastante aproximada, en productos que tienen predominantemente sacarosa.

Cuando un rayo de luz polarizada pasa a través de una solución de cualquier azúcar, la rotación varía con la concentración de la solución, la longitud de la celda, la longitud de onda de la luz y la temperatura. Si se tiene una longitud constante de la celda y la longitud de onda de la luz, la temperatura, el peso y el volumen y la fuente de luz son estándar, la rotación se vuelve una función de la concentración de azúcar en la muestra. Al medir la rotación en estas condiciones constantes se determina la concentración del azúcar presente.

La aplicación de la polarimetría a productos azucarados esta basada en la determinación de una razón óptica, Las condiciones básicas de este método son fijadas por ICUMSA. La escala internacional establece : el punto 100 está definido por la rotación de la luz polarizada a una longitud de onda de 546.23 nm . a través de una solución normal de 26 g de sacarosa en 100 ml de agua destilada. Como en jugos y mieles no es posible evaluar 26 g de sacarosa, es necesario recurrir a tablas o correlaciones ya establecidas, con el objeto de corregir la lectura polarimetrica y traducirla a °Pol observados.

°Pol corregidos :

$$^{\circ}\text{Pol} = A + \text{Lectura del Sacarímetro}$$

El valor de corrección A se encuentra tabulada (Spencer, 1967) y se presentan en el anexo B.

Modernamente se le llama °Pol a la determinación del porcentaje en peso de sacarosa aparente, que se determina por medio del sacarímetro o polarímetro en los métodos generales de análisis.

El equipo a utilizar en esta prueba es :

- a) Balón aforado de boca ancha
- b) Tubo de polarizar con copa lateral (200 mm)
- c) Cápsula de acero inoxidable
- d) Balanza con precisión de 0.001g
- e) Beaker de 250 ml
- f) Equipo de filtración (embudo)
- g) Papel filtro grado 226
- h) Sacarímetro (Sucromat)

5.2.1 Procedimiento

I. Muestras de Jugo

- a) Colocar una muestra de 150 ml de jugo de caña en un erlenmeyer.
- b) Adicionar subacetato de plomo, en cantidad suficiente para una buena clarificación , agitar hasta obtener una buena mezcla.
- c) Filtrar la muestra anterior, utilizando los primeros 10 ml de filtrado para lavar el beaker recolector y descartarlos.
- d) Lavar el tubo de polarizar de 200 mm con la muestra filtrada.
- e) Llenar el tubo de polarizar con el resto del filtrado, colocarlo en el polarímetro y realizar la lectura.

II. Muestra de Mieles

- a) Tarar dos beaker en la balanza de torsión
- b) Adicionar en uno de los beaker una cantidad considerable de miel
- c) En el otro beaker se agrega agua destilada hasta nivelar la balanza. En esta forma se habrá pesado igual cantidad de miel y agua, resultando una solución 1:1
- d) Disolver la miel con esa agua y dejarla en reposo par que desaloje el aire acumulado.
- e) Pesar 26 g de la solución en una cápsula de acero inoxidable, en la balanza de precisión
- f) Transferir al balón de 200 ml lavando la cápsula con agua destilada y recogiendo los lavados en el balón .
- g) Añadir suficiente cantidad de subacetato de plomo para clarificar
- h) Agitar y filtrar
- i) Determinar los °Pol

5.3 DETERMINACION DE pH

Antes de la introducción de los métodos que utilizan el pH para la medición de las reacciones en los jugos y licores azucarados (clarificación), en los ingenios azucareros, los únicos medios disponibles eran los papeles indicadores o las titulaciones, Estos métodos solo median la cantidad de acidez o alcalinidad, mientras que la concentración de iones hidrógeno o pH es la medida de la intensidad de la acidez o alcalinidad. Debido a que la capacidad de un ácido para invertir la sacarosa es una función directa del grado de disociación o sea de la cantidad de iones hidrógenos en solución es de mucha la importancia su determinación.

La medición electrónica del pH depende del potencial eléctrico generado por un sistema de electrodos, que constan de un electrodo de vidrio con un bulbo detector de vidrio sensible al H^+ , sumergido en la solución problema y un electrodo de referencia que generalmente incorpora una media celda de calomel y un puente de cloruro de potasio saturado, actualmente se utilizan electrodos de referencia con doble unión.

El equipo utilizado es :

- a) Beaker de 250 ml
- b) pHmeter (potenciómetro)

5.3.1 Procedimiento

I. Muestra de Jugo

- a) Tomar una muestra de jugo en un beaker
- b) Revisar que el aparato se encuentre calibrado
- c) Lavar el electrodo con suficiente agua destilada y secar el bulbo con papel
- d) Sumergir el electrodo en el jugo, tratando de cubrir la mitad de este y al centro del beaker
- e) El aparato debe estabilizarse, luego tome la lectura
- f) Lavar el electrodo y sumergirlo en un beaker con agua destilada

II. Muestra de Miel

- a) Talar dos beaker en la balanza de torsión
- b) Adicionar en uno de los beaker una cantidad considerable de miel
- c) En el otro beaker se agrega agua destilada hasta nivelar la balanza. En esta forma se habrá pesado igual cantidad de miel y agua, resultando una solución 1:1

- d) Disolver la miel con esa agua y dejarla en reposo par que desaloje el aire acumulado.
- e) Tomar una muestra de la solución en un beaker
- f) Revisar que el aparato se encuentre calibrado
- g) Lavar el electrodo con suficiente agua destilada y secar el bulbo con papel cuidadosamente
- h) Sumergir el electrodo en el jugo, tratando de cubrir la mitad de este y al centro del beaker
- i) El aparato debe estabilizarse, luego tome la lectura
- j) Lave el electrodo y sumérjalo en un beaker con agua destilada

5.4 DETERMINACIÓN DEL COLOR

El espectro electromagnético consiste en radiaciones con longitudes de onda que varían de menos de un nanómetro (nm) para los rayos X, hasta mas de 25 cm para las ondas de radio. La luz visible representa solo una región muy pequeña de este espectro electromagnético y se considera por lo general que varia de 400 nm a 800 nm.

Muchos compuestos orgánicos con grupos cromofóricos, incluyendo los colorantes del azúcar, muestran una absorción de una naturaleza característica en la región visible. Esta absorción de ciertas longitudes de onda causa un desequilibrio en las mezclas de colores, lo que da por resultado la aparición de color restante.

El color de una solución de azúcar se dice a menudo que varia casi incoloro pasando por los matices ámbar y pardo, hasta pardo oscuro y casi negro. Existen algunas variaciones en el matiz. Se debe de hacer notar que esta descripción es meramente subjetiva, debido sencillamente a que el ojo humano no siempre distingue correctamente, y las propiedades de los colores cambian a menudo con la concentración del azúcar, la longitud de la trayectoria ópticas o ambas.

El equipo utilizado es :

- a) Espectrofotómetro
- b) Balanza con precisión de 0.001g
- c) Equipo de filtración manual
- d) Membrana de 0.45 μ m MFS
- e) Cubetas o celdas de absorción
- f) Refractómetro

5.4.1 Procedimiento

I. Muestra de Jugo

- a) Tomar 100 ml de jugo
- b) Filtrar el jugo
- c) Usar los primeros mililitros filtrados para lavar el beaker recolector y descartarlos
- d) Medir los °Brix del jugo y anotar el resultado
- e) Lavar la cubeta o celda de absorción con la solución filtrada , con mucho cuidado. Posteriormente llenar la cubeta evitando la formación de burbujas.
- f) Limpiar la parte exterior de la cubeta, de manera que no quede residuos.
- g) Colocar la cubeta en el espectrofotometro y leer a 420 nm la absorbancia obtenida y anotar el resultado.

II. Muestra de Mieles

- a) Tarar dos beaker en la balanza de torsión
- b) Adicionar en uno de los beaker una cantidad considerable de miel

- c) En el otro beaker se agrega agua destilada hasta nivelar la balanza. En esta forma se habrá pesado igual cantidad de miel y agua , resultando una solución 1:1
- d) Disolver la miel con esa agua y dejarla en reposo par que desaloje el aire acumulado.
- e) Tomar una muestra de la solución en un beaker
- f) Filtrar el jugo
- g) Usar los primeros mililitros filtrados para lavar el beaker recolector y descartarlos
- h) Medir los °Brix del jugo y anotar el resultado
- i) Lavar la cubeta o celda de absorción con la solución filtrada , con mucho cuidado. Posteriormente llenar la cubeta evitando la formación de burbujas.
- j) Limpiar la parte exterior de la cubeta, de manera que no quede residuos.
- k) Colocar la cubeta en el espectrofotometro y leer a 420 nm la absorbancia obtenida y anotar el resultado.

5.5 ANALISIS DE BAGAZO

5.5.1 Determinación de Humedad en el Bagazo

Para el análisis de humedad se cuartea la muestra de bagazo, se determina por secado en el DETROIT calibrado a 225 - 235 °F, utilizando pesas de 100 gr. de muestra y manteniendo en secado por 30 minutos, repitiéndose el secado por 10 minutos hasta lograr peso constante.

Para un peso de cápsula y muestra antes (P1) y después (P2) del secado, la humedad será:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P1 - P2}{100} = W$$

La humedad reportada será directa.

Procedimiento :

- a) Limpiar la cesta de la estufa, nivelar la balanza de torsión y tarar la cesta con su respectiva tara.
- b) Pesar exactamente 100 g de bagazo
- c) Colocar en la estufa y pesar hasta obtener peso constante.
- d) 100 menos el peso constante nos dará el % de Humedad (W)

5.5.2 Determinación de los °Brix, Fibra y °Pol en el Bagazo

Pesar 200.0 gr. de bagazo, transferirlos al desintegrador, agregando 2 litros de agua destilada y desintegrar por 45 minutos, operando el equipo de acuerdo al instructivo.

Después de desintegrar se cuela el extracto recibiendo en un beaker de 1 litro, tomar 200 ml en un balón y agregar 1 gr. de subacetato de Plomo seco, o la cantidad necesaria para su filtración, agitar el balón y dejar reposar por 5 minutos, volver agitar el la muestra y filtrar desechando los primeros 20.0 ml , recogiendo 90 ml.

De este filtrado se llena el tubo de polarización para la lectura respectiva del °Pol (°Pol del extracto R).

Cálculo:

$$\text{°Pol \% Bagazo} = \frac{R \times 0.26 (1000 + W)}{200 - \frac{26 \times R}{Q}}$$

Donde :

R = Lectura de Polarización del Extracto

W = Humedad del bagazo

Q = Pureza del Jugo Residual (Puede asumirse Q= 70)

$$^{\circ}\text{Brix \% Bagazo} = \frac{\text{Pol \% Bagazo} \times 100}{70}$$

$$\text{Fibra \% Bagazo} = 100 - (^{\circ}\text{Brix \% Bagazo} + W)$$

5.5.3 Poder Calorífico del bagazo de caña que se alimenta a los hornos

Es un valor que representa la energía por unidad de masa que el bagazo genera al quemarse completamente.

Para el cálculo de este valor, se utiliza la marcha analítica contenida en la norma ASTM D 3286-96, "Standard test method for gross calorific value of coal and coke by the isoperibol bomb calorimeter" (Berríos y Castro, 1997).

Este análisis se realizó en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.

5.5.4 Factor de Dilución

Es el numero que representa la proporción en la cual se efectúa la dilución del material objeto de análisis y por el cual habrá que afectar los $^{\circ}\text{Brix}$ corregido de la solución para determinar los $^{\circ}\text{Brix}$ y los $^{\circ}\text{Pol}$ del producto.

Este factor se utiliza en los casos de productos muy densos, que requieren ser diluidos para determinarles los $^{\circ}\text{Brix}$ y los $^{\circ}\text{Pol}$ como es el caso de las muestras de mieles.

6.0 PUESTA EN MARCHA DEL PLAN DE MONITOREO PARA LA CARACTERIZACION DEL PROCESO ARTESANAL DE PRODUCCION DE DULCE DE PANELA

La industria panelera se ha concentrado principalmente en la zona Paracentral y Oriental de El Salvador, por lo que con el objeto de obtener resultados experimentales que reflejen en forma confiable las variables fisicoquímicas que afectan el proceso de producción de Panela, es necesario elegir el tamaño de la muestra de molindas a monitorear, atendiendo a esta distribución, así como al número actual de molindas existentes.

De acuerdo al planteamiento anterior, se seleccionaron aleatoriamente tres molindas para ser monitoreadas, ubicadas estas, una en el Departamento de San Vicente y dos en el Departamento de San Miguel. De las molindas seleccionadas, una de las ubicadas en el Departamento de San Miguel posee 6 peroles y las dos restantes poseen 8 peroles cada una.

En las molindas, independientemente del número de peroles que posea, un día de operación corresponde a un "Lote" procesado en la misma. Para garantizar que cualquier día de operación o "Lote" tiene la misma probabilidad de ser sometido al monitoreo, se eligieron al azar dos "Lotes" en cada molinda y para que el número de muestras obtenidas en cada lote sea significativo es necesario seleccionar un número adecuado de peroles, por lo cual se fijó éste en 2 peroles por cada lote monitoreado. Definido el proceso a seguir para el monitoreo en las molindas seleccionadas (sección 3.0), los análisis fisicoquímicos que se efectúan a las muestras tomadas durante la etapa de monitoreo (sección 4.0), y el número de molindas, lotes y peroles a monitorear se prosigue a la ejecución de dicho proceso en cada una de las molindas, lo cual se muestra en las secciones 6.1 a 6.4.

El proceso de monitoreo abarcó dos molindas en el Departamento de San Miguel y una en el Departamento de San Vicente, a continuación se

describen las características principales de cada una de ellas. En el Departamento de San Vicente se monitorea la denominada molienda "Chacón" propiedad del Sr. Tulio Chacón, ubicada en el municipio de Apastepeque. La cual cuenta con una extensión de 2.5 mz. ; en las que se distribuye una galera de hornos de dos aguas ubicada de Norte a Sur, de construcción rústica de adobe, teja y madera, en la que se encuentran ubicados los peroles de cocción ; una galera de molino de dos aguas de construcción de ladrillo de calavera, madera y teja. Está provista además de una bodega de almacenamiento de dulce de Panela.

En el Departamento de San Miguel se monitorean dos moliendas, la primera de ellas es la denominada molienda "González", propiedad del Sr. Aristides González, ubicada en el municipio de Lolotique. La cual cuenta con una extensión de 2 mz., en las que se distribuye una galera de hornos de dos aguas, de construcción de ladrillo de calavera, cemento, techo de teja y madera donde se ubican también los peroles de cocción ; una galera de molino de dos aguas, de construcción de ladrillo de calavera, cemento, de techo de madera y tejas separada de la galera de hornos 2.3 mt., esta molienda no posee bodega de almacenamiento de dulce de Panela.

La segunda molienda monitoreada en el Departamento de San Miguel es la denominada molienda "Valles", propiedad del Sr. José Antonio Romero, ubicada en el Caserío Zelaya, cantón San Pedro Arenales en el municipio de Chinameca. La cual cuenta con una extensión de 3.5 mz., en las que se distribuye una galera de hornos de dos aguas, de construcción de adobe, ladrillo de calavera, cemento, techo de teja y madera, ubicada de Norte a Sur ; posee además una galera de molino de dos aguas, de construcción de madera y techo de teja, y una bodega de almacenamiento de dulce de Panela.

En el cuadro 6.1 se muestran otras características importantes de cada una de las moliendas seleccionadas para el monitoreo.

Cuadro 6.1 Principales características de las molientes monitoreadas

CARACTERISTICAS	M. CHACÓN	M. GONZÁLEZ	M. VALLES
Terreno de molienda	2.5 mz.	2 mz.	3.5 mz.
Area de construcción	183 m ²	143 m ²	157 m ²
Bodega de almacenamiento de dulce	si	no	si
Número de peroles en molienda	8	8	6
Volumen de peroles	0.8452 m ³	0.9067 m ³	0.7866 m ³
Separación del fondo del perol a la base del horno	18 - 20 cm	19 - 21 cm	21 - 23 cm
Cantidad de leña utilizada	500 rajas	1000 rajas	700 rajas
Tiempo de precalentamiento de peroles	10 min.	5 min.	5 min.
Cantidad de bagazo quemado para precalentamiento	2 pelotas	3 pelotas	3 pelotas
Tiempo promedio de llenado de perol	48 min.	61 min.	62 min.
Número promedio de pelotas de bagazo quemadas por perol	55 pelotas	45 pelotas	40 pelotas
Peso promedio de pelotas de bagazo	5.09 Kg	7.63 Kg	8.72 Kg
Sustancias químicas adicionadas (CaO)	0.2 Kg / perol	0.11 Kg / perol	0.17 Kg / perol
Número de puntos identificados hasta Miel de Panela	4	5	4
Medio de transporte para la caña	Carreta	camión (3 Ton)	Carreta
Tipo de motor del molino	Eléctrico Trif.	Diesel	Diesel
Productos elaborados en la molienda	Panela y batidos	Panela y batidos	Panela
Número de operarios en la molienda	10	9	8
Cantidad de caña procesada durante el periodo de molienda	14 mz	12 mz	8 mz
Número promedio de lajas de dulce de panela por perol	240	228	228
Costo promedio de la carga de atados	€ 200- €300	€200- €300	€200- €300
Peso promedio de las lajas de dulce de panela	0.4709 Kg	0.467 Kg	0.474 Kg
Tipo de residuos generados durante el proceso :			
<i>Gases</i> : Vapor de agua y gases de combustión			
<i>Sólidos</i> : Bagazo, cenizas y residuos azucarados			
<i>Líquidos</i> : Espuma sucia, agua de lavado de peroles, molino y utensilios			

6.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PANELA EN LAS MOLIENDAS MUESTREADAS

Las actividades encaminadas a la elaboración del dulce de panela, inician con la limpieza de cada horno, la cual consiste en retirar las cenizas acumuladas de la jornada anterior, estas cenizas se colocan a la entrada de la boca de cada horno para su posterior recolección, descarga y acumulación en las proximidades de la molienda.

El proceso de elaboración de dulce de panela se inicia transportando la caña recién cortada a la molienda por medio de carretas o vehículos, la caña es descargada en el patio de la molienda, luego uno de los operarios la apila en la galera del molino para ser posteriormente alimentada a éste en forma manual.

El equipo para la molienda de la caña y extracción del jugo esta compuesto de un molino de tres masas movido por un motor (eléctrico trifásico, molienda Chacón ; Diesel, moliendas Valles y González). El jugo que sale del molino arrastra considerable cantidad de partículas gruesas de bagazo, tierra y rastros vegetales las cuales son retenidas al pasar el jugo por una palangana de latón perforado (básicamente un colador de agujeros circulares) ubicada en la parte inferior del molino, la cual se mantiene limpia en forma manual. El bagazo obtenido de la molienda de la caña es recogido y colocado en el patio de secado manualmente, operación que realiza el bagacero.

El jugo después de extraído y colado se transporta por gravedad a través de un canal (de cemento y ladrillo de calavera en la molienda Chacón y Valles; y por medio de un tubo de acero inoxidable en la molienda González , desde el molino hasta la canaleta que alimenta a los peroles en la galera de hornos; el llenado de cada perol se realiza en forma individual uno a continuación de otro (Anexo A, Fig. A.4 B).

Los peroles son recipientes de forma hemisférica, fabricados de laminas de hierro fundido, los cuales son colocados en hornos individuales (Anexo A, Fig. A.6). Para calentar el jugo durante el proceso de cocción, se suministra calor al perol por medio de la combustión del bagazo generado en la etapa de molienda, en los hornos. El bagazo de la caña es secado al sol en el patio de secado (Anexo A, Fig. A.2) aproximadamente de 6-8 horas, suministra prácticamente todo el combustible para la elaboración de la panela; el bagazo es alimentado en forma de manojos (pelotas) con una humedad del 32.5% y un poder calorífico igual a $4,454.95 \pm 135.33$ Kcal/Kg, los cuales se alimentan aproximadamente a una velocidad de 2 a 3 pelotas cada 15 a 20 min.. Sin embargo al inicio de la temporada de molienda es necesario la utilización de leña en cantidades que van de 500 a 1000 rajas, dependiendo de la molienda, como combustible para poder arrancar la temporada de molienda.

El calor suministrado para el calentamiento del jugo, hace que las impurezas coagulables y otras materias extrañas, sean arrastradas a la superficie del jugo antes del primer hervor, el sobrenadante (llamado espuma sucia o espuma de cuche) es retirada por el operario (puntero) depositándolas en un recipiente para su posterior descarga en terrenos aledaños a la molienda, luego de retirar estas impurezas se agrega al jugo en ebullición Cal (CaO), variando la cantidad adicionada de una molienda a otra (Cuadro 6.1).

Una vez que el jugo esta libre de impurezas, en tanto como lo permita el método usado, este continua calentándose y ebulliciendo aproximadamente durante cinco a seis horas (Cuadro 6.6) hasta que se observa el primer punto del proceso de elaboración de panela : punto de Miel de Mesa, luego le siguen en su orden con intervalos de tiempo entre cada uno de ellos (Cuadro 6.6), el Punto de Miel de Azúcar de Pílon, punto de Miel de Batido y Miel de Panela, cada uno de estos puntos son determinados por el puntero, esta actividad la realiza introduciendo el dedo índice, previamente humedecido, en la miel, la

consistencia al tacto de cada miel es la característica que permite al puntero identificar los diversos puntos.

En el punto de Miel de Batido el puntero extrae del perol una cantidad de miel suficiente para llenar parcialmente los moldes para batidos (en aquellas en las que además de Panela se elaboran batidos, Cuadro 6.1); la elaboración de batidos consiste en agregar a la miel ciertas especies como lo son vainilla, canela, ajonjolí y leche (para batidos denominados como “especiales”) y luego se bate constantemente por medio de una pequeña paleta de madera, hasta que la miel toma una consistencia sólida, es aquí donde se moldea en forma elíptica típica para la comercialización del batido, se espera que se enfríe totalmente y se solidifique para luego sepáralos del molde y ser puestos a la venta

En el punto de Miel de Panela; la miel se traslada rápidamente a otro perol independiente de los hornos (perol de batido), colocado sobre una carreta de madera. En este perol se enfría la miel por medio de aireación mediante la agitación con paletas de madera, luego de enfriada pero aún en estado fluido, se pasa a los moldes de madera (Anexo A, Fig. A.5) los cuales han sido previamente humedecidos para evitar que la miel al formar las lajas de dulce se peguen a la superficie del molde; la miel se deja enfriar hasta que se solidifique; las lajas se desprenden mediante golpes al molde volteado para ello se utiliza un martillo de madera; las lajas obtenidas en forma completa son envueltas en pares utilizando tusa y son amarradas con mecate para luego almacenarlas para su posterior comercialización, las lajas incompletas son depositadas y acumuladas en canastos o recipientes plásticos.

Después que el puntero traslada en su totalidad la miel en el Punto de Miel de Panela del perol de cocimiento al perol de enfriamiento, se lava el perol de cocimiento aún en caliente, esta actividad se realiza teniendo el cuidado de eliminar todos los residuos azucarados en el interior del perol y en la estructura que lo sostiene, este lavado consume de 3 a 5 galones de agua, al

finalizar, el agua de lavado es descargada (en los terrenos aledaños en la molienda Chacón, y en las molindas Valles y González, se almacena en barriles y se vende como complemento alimenticio para ganado).

Las actividades de la jornada de molienda finalizan, lavando el molino y limpiando los moldes, los residuos sólidos en su mayoría residuos de dulce de panela, son acumulados junto a las lajas incompletas, mientras el agua de lavado es descargada a los terrenos continuos a la molienda.

El proceso descrito anteriormente, se muestra esquemáticamente para cada molienda en las figuras 6.1 a 6.3, y las observaciones particulares para cada una de éstas se describen de la sección 6.1.1 a la 6.1.3.

6.1.1 Observaciones del proceso de la molienda Chacón

- Aproximadamente 10 minutos antes de iniciar el llenado de un perol, este se precalienta utilizando dos pelotas de bagazo.
- El tiempo de llenado por perol es de aproximadamente 45 minutos; este tiempo puede variar según la geometría de la caña y a la velocidad de alimentación al molino.
- Para la etapa de cocción del jugo hasta obtener el dulce de panela se utilizan un promedio de 55 pelotas de bagazo.
- La espuma sucia o espuma de cuche es un sobrenadante que se retira durante el llenado del perol y antes del primer hervor; es en ella donde se retira la mayor parte de impurezas que acompañan al jugo del proceso de extracción.

- Se agrega una cantidad de cal aproximadamente de 196 g por perol después del primer hervor, esto con el objeto de garantizar una buena consistencia en el dulce.
- El proceso de enfriamiento por medio de la agitación de la Miel de Panela, proporciona el color final y la textura a la miel antes del volteado en los moldes, para obtener un buen dulce.
- El puntero solo reconoce cuatro puntos: Miel de Mesa, Punto de Miel de Azúcar, Miel de Batido y Miel de Panela.
- La espuma sucia o espuma de cuche, el agua de lavado del molino y de los peroles son la mayor parte de los residuos líquidos del proceso de elaboración de panela que son descartados en los terrenos aledaños a la misma.
- Los residuos sólidos azucarados, en su mayoría lajas de dulce de panela incompletas y sobrantes de la limpieza de moldes (los cuales no son lavados), son vendidos como complementos para alimentación animal.
- Las cenizas del bagazo de caña son acumuladas en los alrededores de la molienda, para luego ser utilizadas al final de la temporada como fertilizante.

6.1.2 Observaciones del proceso de la molienda González

- Aproximadamente 5 minutos antes de iniciar el llenado de un perol, este se precalienta utilizando tres pelotas de bagazo en los hornos.
- Para aumentar la cantidad de caña transportada por el camión la caña es partida por la mitad.

- Para la etapa de cocción del jugo hasta obtener el dulce de panela se utilizan un promedio de 45 pelotas de bagazo.
- La espuma sucia o espuma de cuche es un sobrenadante que se retira durante el llenado del perol y antes del primer hervor; es en ella donde se retira la mayor parte de impurezas que acompañan al jugo del proceso de extracción.
- Se agrega una cantidad de cal aproximadamente de 4 onzas por perol después del primer hervor.
- El proceso de enfriamiento por medio de la agitación de la Miel de Panela le da el color final y la textura a la miel antes del volteado en los moldes, para obtener un buen dulce
- La espuma sucia o espuma de cuche, el agua de lavado del molino son la mayor parte de los residuos de la molienda que son descartados en los terrenos aledaños a la misma
- El agua de lavado de los peroles de cocción se almacena en barriles para luego ser comercializada como complemento para alimento animal (ganado)
- Los residuos sólidos azucarados, en su mayoría lajas de dulce de panela incompletas y sobrantes de la limpieza de moldes, son vendidos como sobrantes para alimentación animal

6.1.3 Observaciones del proceso de la molienda Valles

- Aproximadamente 10-5 minutos antes de iniciar el llenado de un perol, este se calienta con tres pelotas de bagazo
- El tiempo empleado en llenar un perol con jugo de caña es de 62 min.

- Para la etapa de cocción del jugo hasta obtener el dulce de panela se utilizan un promedio de 35-40 pelotas de bagazo
- La espuma sucia o espuma de cuche, en ella se retira la mayor parte de impurezas que acompañan al jugo proveniente del proceso de extracción
- Se agrega una cantidad de cal aproximadamente de 6 onzas por perol después del primer hervor
- El proceso de enfriamiento por medio de la agitación del la Miel de Panela se realiza en peroles, los cuales descansan sobre un *yagual*
- El puntero reconoce cuatro puntos: Miel de Mesa, Miel de Batido, Punto de Miel de Azúcar, y Miel de Panela
- La espuma sucia o espuma de cuche, el agua de lavado del molino son la mayor parte de los residuos de la molienda que son descartados en los terrenos aledaños a la misma.
- El agua de lavado de los peroles se almacena en barriles para su posterior comercialización como complemento de alimentación animal (ganado).
- Los residuos sólidos azucarados (lajas de dulce de panela incompletas y sobrantes de la limpieza de moldes), son disueltos en el agua de lavado de peroles para ser utilizados como alimentación animal
- En esta molienda no se elaboran batidos

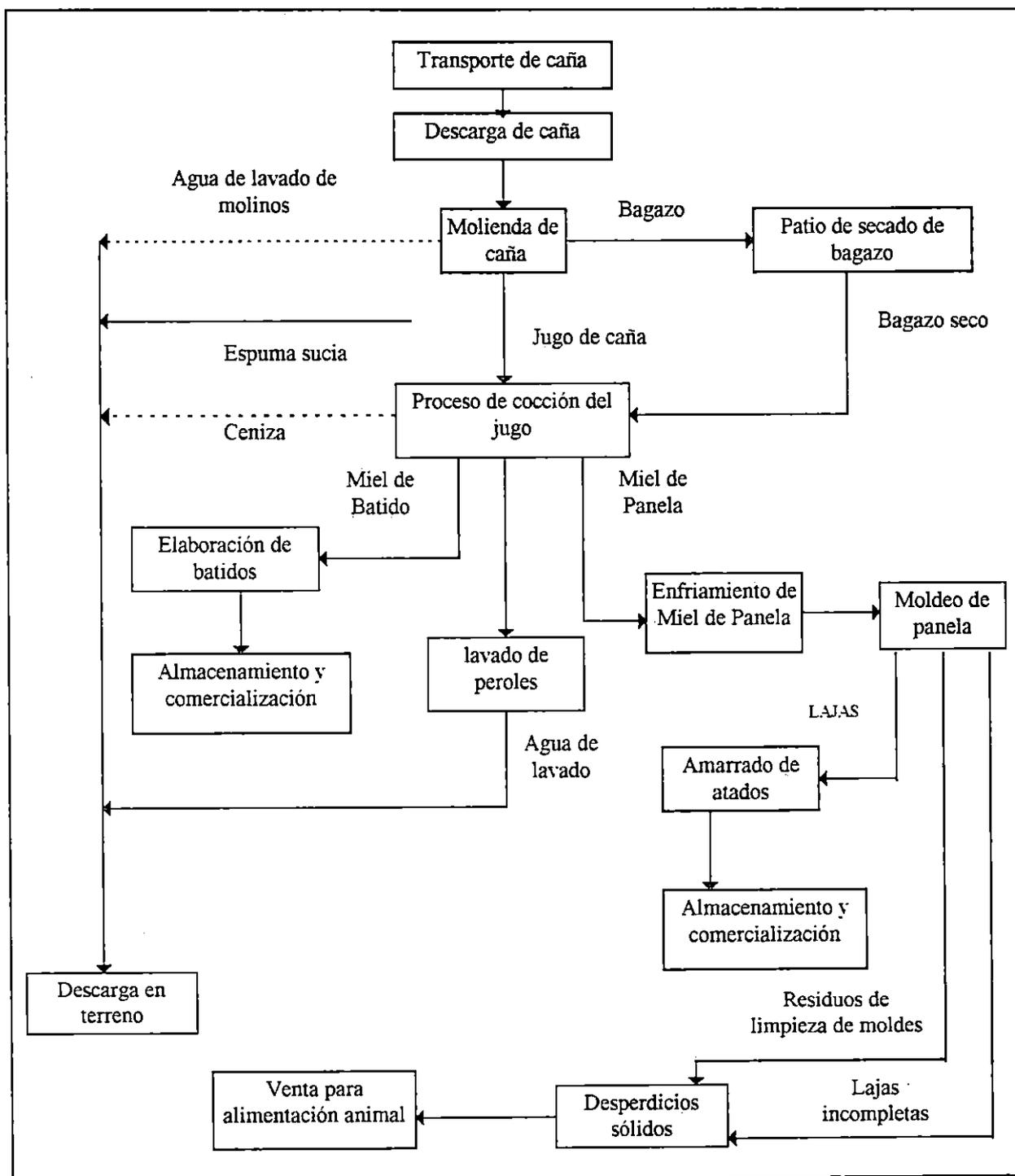


Fig. 6.1 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de dulce de panela en la molienda Chacón

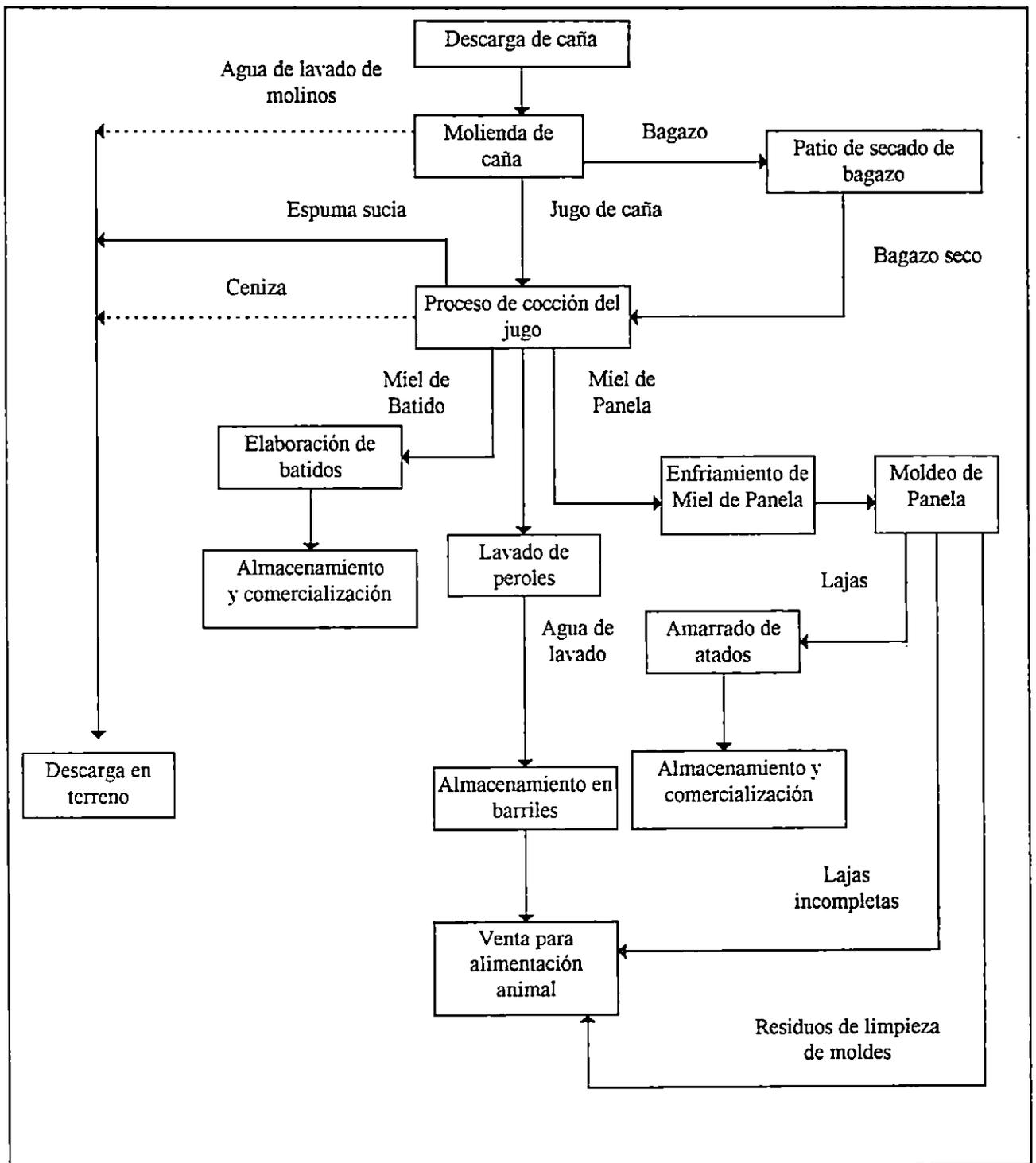


Fig. 6.2 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de dulce de panela en la molienda González

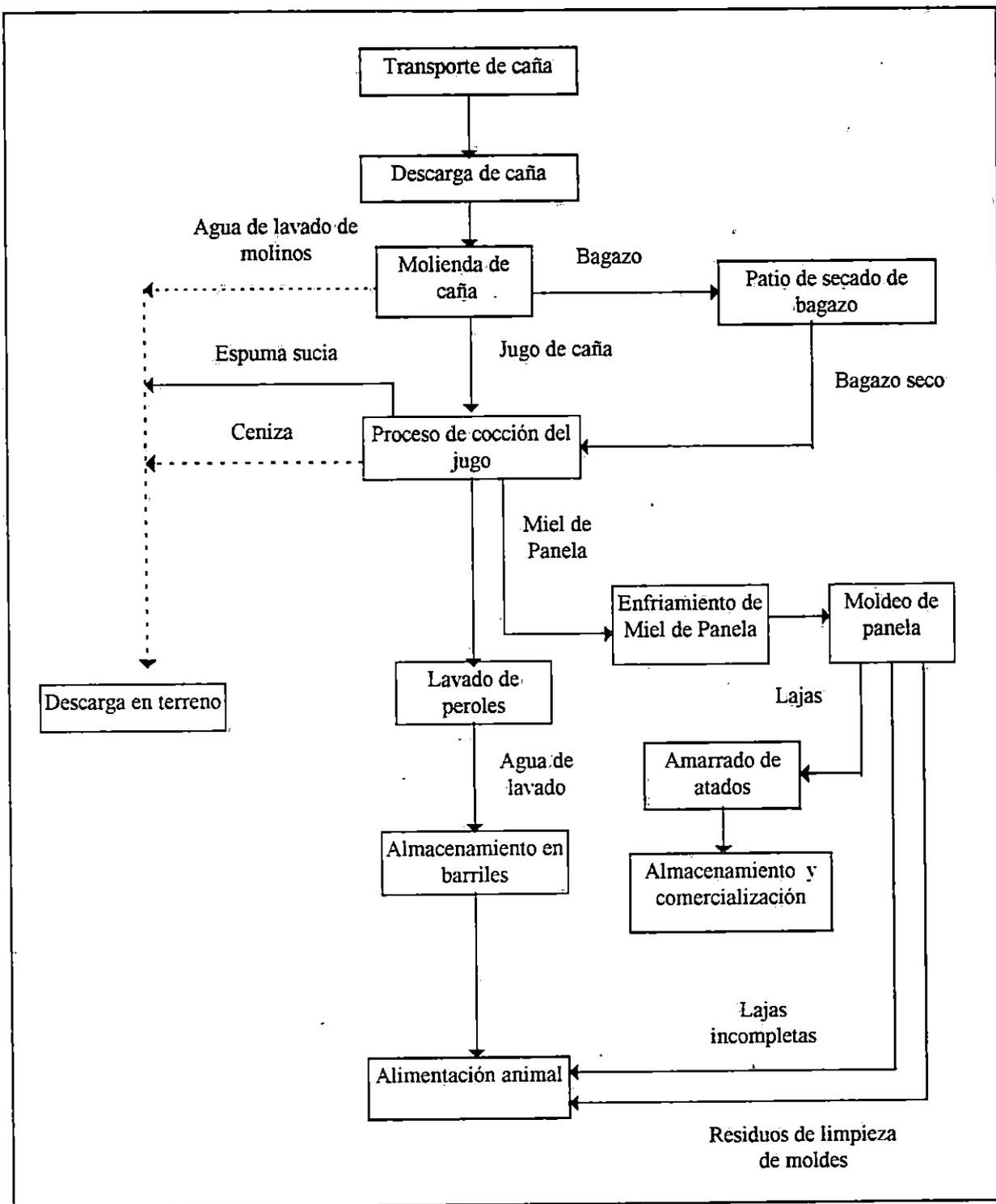


Fig. 6.3 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de dulce de panela en la molienda Valles

6.2 RESULTADOS DEL MONITOREO PARA LAS MOLIENDAS

Los resultados del proceso de monitoreo y análisis fisicoquímico de las muestras de las molientes seleccionadas (sección 3.0 y Sección 4.0) se presentan del Cuadro 6.2 al Cuadro 6.11.

Cuadro 6.2 Características del proceso de producción de panela en las molientes monitoreadas

CARACTERISTICAS	M. CHACON	M. GONZALEZ	M. VALLES
Numero de peroles	8	8	6
Volumen de perol (m ³)	0.8453	0.9067	0.7866
Productos elaborados	Panela y Batidos	Panela y Batidos	Panela
Tiempo Total de Cocción (minutos)	413	423	426
Peso de caña molida por perol (kg)	1172.52	1222.89	1069.40
Peso de bagazo por perol (kg)	512.57 43.87%	581.35 47.54%	512.8 47.95%
Peso de bagazo quemado por perol (kg)	305.4	343.35	348.88

Sum
46.4

Cuadro 6.3 Consumo de combustible en las molientes

Molienda	Unidades	Gasto de energía para proceso de molienda	
		Lote 1	Lote 2
M. CHACON	Kwh	27	21
M. GONZALEZ	gal. Diesel	5	5½
M. VALLES	gal. Diesel	3½	4

Cuadro 6.4 Resultados de análisis en caña y bagazo de muestras tomadas en las molientes monitoreadas

Análisis	M. CHACON	M. GONZALEZ	M. VALLES
Humedad de la caña (%p/p)	65.90	56.39	61.32
Fibra en caña (%p/p)	15.22	12.83	14.75
Humedad del Bagazo (%p/p)	50.44	53.66	52.09
°Pol del Bagazo (%p/p)	4.23	6.23	5.28
Poder calorífico del bagazo con un %H=32.5	*	4,454.95 ± 135.33 Kcal/Kg	*

* No se evaluó el poder calorífico del bagazo en la molienda

Cuadro 6.5 Resultados de análisis en jugo de caña extraído directamente de los molinos

ANALISIS	M. CHACON		M. GONZALEZ		M. VALLES	
	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2	Lote 1	Lote 2
pH	5.45	5.26	5.39	5.33	5.37	5.41
°Pol	15.92	15.40	16.43	15.53	14.86	15.33
°Brix	20.86	18.78	22.86	17.55	18.57	19.36
COLOR (umas)	1,112	1,241	1,321	1,273	1,289	1,393

Cuadro 6.6 Intervalos de tiempo entre etapas del proceso de cocción en las molindas muestreadas (tiempo en min)

MOLIENDA	LOTE	PEROL	t1	t2	t3	t4	t5
M. CHACON	L1	P1	58	345	23	2	1
		P2	52	339	18	3	2
	L2	P1	40	339	19	3	2
		P2	42	342	21	2	1
M. GONZALEZ	L1	P1	63	328	19	5	3
		P2	68	341	15	6	5
	L2	P1	58	333	20	6	5
		P2	55	338	15	8	4
M. VALLES	L1	P1	59	333	18	3	5
		P2	65	328	21	4	4
	L2	P1	61	341	19	6	3
		P2	63	339	21	5	4

Donde :

- t1 : Tiempo para llenado de perol
- t2 : Tiempo de cocción hasta Miel de Mesa
- t3 : Tiempo de cocción de Miel de Mesa a Punto de Miel de Azúcar
- t4 : Tiempo de cocción de Punto de Miel de Azúcar a Miel de Batido
- t5 : Tiempo de cocción de Miel de Batido a Miel de Panela

Cuadro 6.7 Temperatura de puntos de miel (°C)

MOLIENDA	LOTE	PEROL	Miel de Mesa	Azúcar de Pilón	Miel de Batido	Miel de Panela
M. CHACON	L1	P1	99	113	114	115
		P2	97	111	113	114
	L2	P1	102	113	115	117
		P2	102	112	114	115
M. GONZALEZ	L1	P1	101	113	117	119
		P2	103	114	118	121
	L2	P1	100	114	116	119
		P2	100	114	118	120
M. VALLES	L1	P1	100	110	116	118
		P2	101	112	117	120
	L2	P1	100	111	115	117
		P2	99	112	117	118

Cuadro 6.8 Valores de pH en puntos de miel

MOLIENDA	LOTE	PEROL	Miel de Mesa	Azúcar de Pilón	Miel de Batido	Miel de Panela
M. CHACON	L1	P1	5.92	5.97	6.00	6.03
		P2	5.98	6.06	6.11	6.19
	L2	P1	6.09	6.15	6.20	6.25
		P2	6.15	6.22	6.28	6.31
M. GONZALEZ	L1	P1	5.74	5.82	5.89	5.96
		P2	5.56	5.70	5.81	5.91
	L2	P1	5.64	5.76	5.86	5.94
		P2	5.65	5.71	5.80	5.91
M. VALLES	L1	P1	5.71	5.76	5.89	5.92
		P2	5.63	5.71	5.82	5.88
	L2	P1	5.57	5.75	5.81	5.90
		P2	5.61	5.77	5.86	5.90

Cuadro 6.9 Valores de °Brix para puntos de miel

MOLIENDA	LOTE	PEROL	Miel de Mesa	Azúcar de Pílon	Miel de Batido	Miel de Panela
M. CHACON	L1	P1	74.56	88.36	89.69	92.49
		P2	74.36	87.39	91.16	93.30
	L2	P1	74.60	88.19	91.00	93.63
		P2	74.97	86.55	88.14	93.58
M. GONZALEZ	L1	P1	71.73	82.87	87.20	90.73
		P2	76.53	87.67	89.13	92.87
	L2	P1	75.07	87.47	91.07	92.27
		P2	75.13	85.07	87.53	91.47
M. VALLES	L1	P1	72.60	87.53	89.73	92.80
		P2	73.66	86.33	90.67	91.53
	L2	P1	69.93	83.73	87.46	90.20
		P2	71.87	85.20	88.33	91.27

Cuadro 6.10 Valores de °Pol para puntos de miel

MOLIENDA	LOTE	PEROL	Miel de Mesa	Azúcar de Pílon	Miel de Batido	Miel de Panela
M. CHACON	L1	P1	31.05	36.17	36.92	38.07
		P2	31.71	36.73	37.61	38.03
	L2	P1	31.03	37.01	37.70	38.97
		P2	32.46	37.26	38.19	39.00
M. GONZALEZ	L1	P1	29.13	34.39	35.87	37.21
		P2	31.02	34.14	35.64	36.00
	L2	P1	29.77	34.93	37.11	37.79
		P2	28.89	34.25	35.64	37.57
M. VALLES	L1	P1	28.59	33.77	34.86	36.14
		P2	29.77	32.57	34.43	35.77
	L2	P1	31.05	33.73	35.65	37.56
		P2	31.51	32.49	35.56	37.57

Cuadro 6.11 Valores de color (umas) para puntos de miel

MOLIENDA	LOTE	PEROL	Miel de Mesa	Azúcar de Pilon	Miel de Batido	Miel de Panela
M. CHACON	L1	P1	1.092	1.588	1.714	2.187
		P2	1.143	1.469	1.642	2.044
	L2	P1	1.268	1.441	1.778	2.249
		P2	1.176	1.546	1.699	2.005
M. GONZALEZ	L1	P1	1.352	1.693	1.794	2.084
		P2	1.456	1.625	1.766	2.104
	L2	P1	1.293	1.735	1.840	2.299
		P2	1.315	1.615	1.806	2.524
M. VALLES	L1	P1	1.167	1.593	1.731	2.104
		P2	1.118	1.725	1.830	2.432
	L2	P1	1.301	1.600	1.720	2.266
		P2	1.239	1.698	1.773	2.300

7.0 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DEL PROCESO DE COCCION EN LAS MOLIENDAS MUESTREADAS

Para caracterizar fisicoquímicamente la etapa de cocción del proceso artesanal de producción de dulce de panela en las moliendas muestreadas, se analizaron estadísticamente las observaciones obtenidas en el monitoreo de dicha etapa.

Como se especifica en el Anexo C, el modelo de análisis de datos que se utiliza es el Análisis de Varianza en Dos Sentidos, estableciéndose que las hipótesis que se desean comprobar (hipótesis nulas), son que: “no existe diferencia significativa en las observaciones de las variables que caracterizan el proceso de cocción entre las moliendas” y que “no hay diferencia significativa en las observaciones de las variables que caracterizan el proceso de cocción en una misma molienda”.

Las hipótesis anteriores tratan de establecer que la variación en las observaciones de las variables de caracterización en una misma molienda y entre las moliendas visitadas se deben exclusivamente al azar.

Por ejemplo para el caso del tiempo de llenado de peroles se tiene:

Hipótesis nula, H_0 : No existe diferencia estadística significativa en los tiempos de llenado de peroles entre las diferentes moliendas monitoreadas.

Hipótesis nula, H_0' : No existe diferencia estadística significativa en los tiempos de llenado de peroles para una misma molienda.

Y sus respectivas hipótesis alternativas son:

Hipótesis alternativa, H_1 : Existe diferencia estadística significativa en los tiempos de llenado de peroles entre las diferentes moliendas monitoreadas.

Hipótesis alternativa, H_1' : Existe diferencia estadística significativa en los tiempos de llenado de peroles para una misma molienda.

De la misma forma, se plantean las hipótesis nulas y las hipótesis alternativas para las restantes variables monitoreadas para cada punto de miel .

Para la comprobación de las hipótesis nulas planteadas se realiza un Análisis de Varianza en Dos Sentidos con un nivel de confianza del 95 %.

Los resultados obtenidos de aplicar el modelo de Análisis de Varianza en Dos Sentidos, se presentan tabulados en el Anexo C, y el resumen de la interpretación de los resultados obtenidos del análisis estadístico se presenta en el Anexo D.

En las secciones 7.1 a 7.7 se presentan los resultados de la interpretación de la información obtenida del análisis estadístico aplicado a cada una de las variables del proceso de monitoreo.

En el cuadro 7.8.2 se presentan los resultados de aceptación o rechazo para cada una de las hipótesis planteadas para cada variable en las diferentes etapas monitoreadas.

7.1 TIEMPO DE LLENADO DE PEROLES

En el cuadro 6.6 se presentan los datos obtenidos de la medición del intervalo de tiempo del llenado de peroles para las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 1 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 1) (para el efecto molienda $F_c (22.593) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (8.549) > F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.278) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa de los datos obtenidos del tiempo de llenado de peroles para las moliendas y entre los lotes de cada molienda; en la Molienda Chacón la mayor diferencia se presenta en los datos obtenidos en el muestreo del segundo lote (Cuadro 6.6). No así para el efecto peroles donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que el tiempo de llenado de

los peroles en las molientes muestreadas podrá variar en un rango de 40 a 68 minutos.

7.1.1 Factores que influyen en la diferencia de los valores de las variables

Las observaciones del proceso de elaboración de dulce de panela muestran que las diferencias en el tiempo de llenado de peroles pueden deberse a que depende en gran parte del tipo de fuerza impulsora del molino con que cuentan las molientes y a la velocidad de alimentación de la caña por parte de los operarios del molino.

7.2 TIEMPOS DE COCCIÓN

7.2.1 Tiempo de cocción hasta el punto de Miel de Mesa

En el cuadro 6.6 se presentan los datos obtenidos del intervalo de tiempo desde la finalización del llenado del perol hasta el punto de cocción de Miel de Mesa para las molientes muestreadas. En el cuadro C. 2 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 2) (para el efecto moliente $F_c (1.946) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (1.211) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.207) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del tiempo de llenado hasta el punto de Miel de Mesa entre las molientes monitoreadas, por lo que puede concluirse que el tiempo de cocción desde la finalización del llenado del perol hasta el punto de Miel de Mesa en las molientes muestreadas es de un promedio de 337.17 minutos, a un 95% de significancia.

7.2.2 Tiempo de Cocción de Miel de Mesa a punto de Miel de Azúcar

En el cuadro 6.6 se presentan los datos obtenidos del intervalo de tiempo de cocción desde el punto de Miel de Mesa hasta el punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.3 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 3) (para el efecto molienda el $F_c (2.145) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.137) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.312) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa en el intervalo de tiempo de cocción de Miel de Mesa al punto de Miel de Azúcar, por lo que puede concluirse que el tiempo de cocción desde al punto de Miel de Mesa hasta del punto de miel de azúcar en las moliendas muestreadas es de un promedio de 18.92 minutos, a un 95% de significancia.

7.2.3 Tiempo de cocción de punto de miel azúcar a punto de Miel de Batido

En el cuadro 6.6 se presentan los datos obtenidos del intervalo de tiempo de cocción desde el punto de Miel de Azúcar hasta el punto de Miel de Batido en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.4 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 4) (para el efecto molienda el $F_c (18.778) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (2.778) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (1.000) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del intervalo de tiempo de cocción del punto de miel azúcar al punto de Miel de Batido para las moliendas, esta diferencia se identifica para la todas las moliendas muestreadas. No así para los efectos lote

y perol, donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que el tiempo de cocción desde el punto de miel azúcar hasta el punto de miel batido en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 2 a 8 minutos, mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 2.5 minutos ; para la molienda González 6.25 minutos; para la molienda Valle de 4.5 minutos, a un 95% de significancia.

7.2.4 Tiempo de Cocción de punto de Miel de Batido a punto de Miel de Panela

En el cuadro 6.6 se presentan los datos obtenidos del intervalo de tiempo de cocción desde el punto de Miel de Batido hasta el punto de Miel de Panela en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.5 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 5) (para el efecto molienda el $F_c (10.472) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.472) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.094) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del intervalo de tiempo de cocción del punto de miel batido al punto de Miel de Panela para las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol, donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que el tiempo de cocción desde el punto de Miel de Batido hasta el punto de Miel de Panela en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 1 a 5 minutos, mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 1.5 minutos ; para la molienda González 4.25 minutos; para la molienda Valle de 4 minutos, a un 95% de significancia.

7.2.5 Factores que influyen en la diferencia de los valores de las variables

Las diferencias que se presentan desde la finalización del llenado de perol hasta el punto de Miel de Panela puede deberse a la composición del jugo de caña, variedad de la caña, tipo de suelo, intensidad del fuego y a la habilidad, experiencia y rapidez del puntero en la vigilancia del proceso de cocción de jugo de caña.

7.3 TEMPERATURA DE PUNTOS DE MIELES

7.3.1 Punto de Miel de Mesa

En el cuadro 6.7 se presentan los datos obtenidos de la medición de la temperatura del punto de cocción de Miel de Mesa en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.6 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 6) (para el efecto molienda el $F_c (1.333) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (7.000) > F_t (5.45)$ y para el efecto perol $F_c (0.000) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa de la temperatura de Miel de Mesa para el efecto lote, esta diferencia se identifica para los lotes de la molienda Chacón y el primer lote de la molienda González. No así para los efectos molienda y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que la temperatura del punto de Miel de Mesa en las moliendas y peroles será un promedio de $100.33 \text{ } ^\circ \text{C}$; mientras que la temperatura para los lotes para las moliendas variara según se muestra: para la molienda Chacón de $99 \text{ a } 102 \text{ } ^\circ \text{C}$; para la molienda González de $100 \text{ a } 103 \text{ } ^\circ \text{C}$; para la molienda Valle de $99 \text{ a } 101 \text{ } ^\circ \text{C}$, a un 95% de significancia.

7.3.2 Punto de Miel de Azúcar

En el cuadro 6.7 se presentan los datos obtenidos de la temperatura del punto de cocción de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 7 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C.7) (para el efecto molienda el $F_c (5.876) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.231) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.077) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa de la temperatura de Miel de Azúcar para las moliendas, esta diferencia se identifica entre las moliendas Valle y González. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que la temperatura para el punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 110 a 114 °C, mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio de temperaturas el cual será para la molienda Chacón de 112.5 °C ; para la molienda González 113.75 °C ; para la molienda Valle de 111.25 °C, a un 95% de significancia.

7.3.3 Punto de Miel de Batido

En el cuadro 6.7 se presentan los datos obtenidos de la temperatura del punto de cocción de Miel de Batido en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.8 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 8) (para el efecto molienda el $F_c (11.875) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.536) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (1.429) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa de la temperatura de Miel de Batido entre las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para

los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que la temperatura del punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 113 a 118 °C, mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio de temperaturas el cual será para la molienda Chacón de 114 °C ; para la molienda González 117.25 ; para la molienda Valle de 116.25 °C, a un 95% de significancia.

7.3.4 Punto de Miel de Panela

En el cuadro 6.7 se presentan los datos obtenidos de la temperatura del punto de cocción de Miel de Panela en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.9 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 9) (para el efecto molienda el $F_c (15.556) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (1.173) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.556) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa de la temperatura de Miel de Panela para las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que la temperatura del punto de Miel de Panela en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 114 °C a 121 °C , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio de temperaturas el cual será para la molienda Chacón de 115.25 °C ; para la molienda González 119.75 °C; para la molienda Valle de 118.25 °C, a un 95% de significancia.

7.3.5 Factores que influyen en la diferencia de los valores de las variables

Las observaciones del proceso de toma de temperatura en los puntos de cocción de mieles (Sección 4.3.1) muestran que las diferencias que se presentan en la temperatura de los diferentes puntos de mieles pueden ser causadas por la forma indirecta en que se llevó a cabo la toma de muestra ya que se corre el riesgo de que al momento de realizar las lecturas de temperatura las condiciones de las mieles sean afectadas, así también podrá contribuir en la variación de temperatura que alcanzan los puntos de mieles, la habilidad del puntero en la determinación de los mismos.

7.4 °Pol DE PUNTOS DE MIELES

7.4.1 Punto de Miel de Mesa

En el cuadro 6.10 se presentan los datos obtenidos del análisis polarimétrico realizado al punto de cocción de Miel de Mesa en las moliendas muestreadas. En la cuadro C.10 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C.10) (para el efecto molienda el $F_c (7.892) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (3.675) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (4.018) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis polarimétrico de Miel de Mesa entre las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse los °Pol para el punto de Miel de Mesa en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 28.59 a 32.46 °Pol , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el

cual será para la molienda Chacón de 31.5625 °Pol ; para la molienda González 29.7025 °Pol; para la molienda Valle de 30.23 °Pol, a un 95% de significancia.

7.4.2 Punto de Miel de Azúcar

En el cuadro 6.10 se presentan los datos obtenidos del análisis polarimétrico realizado al punto de cocción de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.11 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C.11) (para el efecto molienda el $F_c (48.965) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.694) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (1.938) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis polarimétrico de Miel de Azúcar entre las moliendas, esta diferencia se identifica para todas las moliendas muestreadas. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que los °Pol para el punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 32.49 a 37.26 °Pol , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 36.7925 °Pol ; para la molienda González 34.4275 °Pol ; para la molienda Valle de 33.14 °Pol, a un 95% de significancia.

7.4.3 Punto de Miel de Batido

En el cuadro 6.10 se presentan los datos obtenidos del análisis polarimétrico realizado al punto de cocción de Miel de Batido en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 12 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 12) (para el efecto molienda el $F_c (21.372) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (2.019) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.303) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis polarimétrico de Miel de Batido entre las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia estadística, por lo que puede concluirse los $^{\circ}\text{Pol}$ para el punto de Miel de Batido en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 34.43 a 38.19 $^{\circ}\text{Pol}$, mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 37.605 $^{\circ}\text{Pol}$; para la molienda González 36.065 $^{\circ}\text{Pol}$; para la molienda Valle de 35.125 $^{\circ}\text{Pol}$, a un 95% de significancia.

7.4.4 Punto de Miel de Panela

En el cuadro 6.10 se presentan los datos obtenidos del análisis polarimétrico realizado al punto de cocción de Miel de Panela en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 13 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 13) (para el efecto molienda el $F_c (31.740) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (14.010) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (2.558) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis polarimétrico de Miel de Panela entre las Moliendas y Lotes, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón; no así para el efecto peroles donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que los $^{\circ}\text{Pol}$ del punto de Miel de Panela para las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 35.77 a 39.00 $^{\circ}\text{Pol}$.

7.4.5 Factores que influyen en la diferencia de los valores de las variables

Las observaciones del proceso muestran que las diferencias en los análisis de Polarimetría para los diferentes puntos de miel pueden ser causadas por el manejo de las muestras de mieles en el traslado de las mismas desde las moliendas al laboratorio de análisis (Ingenio Chanmico), además se corre el riesgo de que al momento de la realización de los análisis de polarimetría las condiciones de las mieles puedan ser afectadas por la preparación de las muestras, así también contribuye al resultado de los análisis la habilidad del puntero en la determinación de los puntos de miel, la variedad de caña molida, tiempo de madurez y tipo de suelo de cultivo, extracción del molino.

7.5 pH DE PUNTOS DE MIELES

7.5.1 Punto de Miel de Mesa

En el cuadro 6.8 se presentan los datos obtenidos del análisis de pH realizado al punto de cocción de Miel de Mesa en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 14 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 14) (para el efecto molienda el $F_c (45.234) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (2.540) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.146) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis pH de Miel de Mesa entre las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse el pH para el punto de Miel de Mesa en las moliendas muestreadas

podrá variar en un rango de 5.56 a 6.15 , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 6.0215 ; para la molienda González 5.6475 ; para la molienda Valle de 5.63, a un 95% de significancia.

7.5.2 Punto de Miel de Azúcar

En el cuadro 6.8 se presentan los datos obtenidos del análisis de pH realizado al punto de cocción de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.15 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C.15) (para el efecto molienda el $F_c (50.925) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (3.089) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.021) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis pH de Miel de Azúcar entre las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse que el pH para el punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 5.70 a 6.22 pH , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 6.1 ; para la molienda González 5.7475 ; para la molienda Valle de 5.7475, a un 95% de significancia.

7.5.3 Punto de Miel de Batido

En el cuadro 6.8 se presentan los datos obtenidos del análisis de pH realizado al punto de cocción de Miel de Batido en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.16 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por

medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C.16) (para el efecto molienda el $F_c (34.702) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (3.266) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.021) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis pH de Miel de Batido entre las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse el pH para el punto de Miel de Batido en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 5.80 a 6.28 , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 6.1475; para la molienda González 5.84; para la molienda Valle de 5.845, a un 95% de significancia.

7.5.4 Punto de Miel de Panela

En el cuadro 6.8 se presentan los datos obtenidos del análisis de pH realizado al punto de cocción de Miel de Panela en las moliendas muestreadas. En el cuadro C.17 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 17) (para el efecto molienda el $F_c (32.408) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (2.971) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.256) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis pH de Miel de Panela entre las moliendas, esta diferencia se identifica para la molienda Chacón. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse el pH para el punto de Miel de Panela en las moliendas muestreadas podrá variar en un rango de 5.88 a 6.31 pH , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual

será para la molienda Chacón de 6.195 ; para la molienda González 5.93; para la molienda Valle de 5.90, a un 95% de significancia.

7.5.5 Factores que influyen en la diferencia de los valores de las variables

Las observaciones muestran que en la práctica del proceso de elaboración del dulce de panela, la utilización de óxido de calcio (CaO) como regulador de pH en diferentes cantidades para cada molienda muestreada (Cuadro 6.1), origina diferencias considerables entre ellas, así también las propiedades del jugo de caña según su variedad, tiempo de madurez y tipo de suelo de cultivo.

7.6 °BRIX DE PUNTOS DE MIELES

7.6.1 Punto de Miel de Mesa

En el cuadro 6.9 se presentan los datos obtenidos del análisis de los °Brix, realizado al punto de cocción de Miel de Mesa en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 18 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 18) (para el efecto molienda el $F_c (5.222) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (1.157) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (3.104) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del análisis Refractométrico de Miel de Mesa, por lo que puede concluirse que los °Brix para el punto de Miel de Mesa en las moliendas muestreadas es de un promedio de 73.75, a un 95% de significancia.

7.6.2 Punto de Miel de Azúcar

En el cuadro 6.9 se presentan los datos obtenidos del análisis de los °Brix realizado al punto de cocción de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 19 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 19) (para el efecto molienda el $F_c (1.324) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.680) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.000) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del análisis Refractométrico de Miel de Azúcar, por lo que puede concluirse que los °Brix para el punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas es de un promedio de 86.36 °Brix, a un 95% de significancia.

7.6.3 Punto de Miel de Batido

En el cuadro 6.9 se presentan los datos obtenidos del análisis de los °Brix realizado al punto de cocción de Miel de Batido en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 20 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 20) (para el efecto molienda el $F_c (0.620) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.874) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.042) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del análisis Refractométrico de Miel de Azúcar, por lo que puede concluirse que los °Brix para el punto de Miel de Batido en las moliendas muestreadas es de un promedio de 89.26 °Brix, a un 95% de significancia.

7.6.4 Punto de Miel de Panela

En el cuadro 6.9 se presentan los datos obtenidos del análisis de los °Brix realizado al punto de cocción de Miel de Panela en las molindas muestreadas. En el cuadro C. 21 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 21) (para el efecto molienda el $F_c (4.487) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (1.069) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.377) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del análisis Refractométrico de Miel de Panela, por lo que puede concluirse que los °Brix para el punto de Miel de Azúcar en las molindas muestreadas es de un promedio de 92.18 °Brix, a un 95% de significancia.

7.6.5 Factores que influyen en la diferencia de los valores de las variables

Las observaciones del proceso de elaboración de panela muestran que las diferencias presentes en los resultados de los análisis de Refractometría pueden deberse al posible error involucrado en la preparación de las muestras para la elaboración de dichos análisis (Ver sección 5.1.1) además de la habilidad del puntero en la determinación del punto de miel y la variedad de caña molida en cada molienda.

7.7 COLOR DE PUNTOS DE MIELES

7.7.1 Punto de Miel de Mesa

En el cuadro 6.11 se presentan los datos obtenidos del análisis de color realizado al punto de cocción de Miel de Mesa en las molindas muestreadas. En el cuadro C. 22 presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 22) (para el efecto molienda el $F_c (13.360) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (4.349) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.020) < F_t (6.61)$); puede observarse que existe diferencia significativa del análisis de color de Miel de Mesa entre las molindas, esta diferencia se identifica para la molienda González. No así para los efectos lote y perol donde no se observa diferencia significativa, por lo que puede concluirse el color para el punto de Miel de Mesa en las molindas muestreadas podrá variar en un rango de 1092 a 1456 umas , mientras que para lotes y peroles de una misma molienda se podrá obtener un promedio el cual será para la molienda Chacón de 1169.75 umas ; para la molienda González 1354 umas; para la molienda Valle de 120625 umas, a un 95% de significancia.

7.7.2 Punto de Miel de Azúcar

En el cuadro 6.11 se presentan los datos obtenidos del análisis de color realizado al punto de cocción de Miel de Azúcar en las molindas muestreadas. En el cuadro C. 23 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 23) (para el efecto molienda el $F_c (4.215) < F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.074) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.009) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del análisis color de la Miel de Azúcar, por lo que puede concluirse que el Color para el punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas es de un promedio de 1610 umas, a un 95% de significancia.

7.7.3 Punto de Miel de Batido

En el cuadro 6.11 se presentan los datos obtenidos del análisis de color realizado al punto de cocción de Miel de Batido en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 24 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 24) (para el efecto molienda el $F_c (3.469) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (0.876) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.122) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del análisis color de la Miel de Azúcar, por lo que puede concluirse que el Color para el punto de Miel de Azúcar en las moliendas muestreadas es de un promedio de 1758 umas, a un 95% de significancia.

7.7.4 Punto de Miel de Panela

En el cuadro 6.11 se presentan los datos obtenidos del análisis de color(ver capítulo) realizado al punto de cocción de Miel de Panela en las moliendas muestreadas. En el cuadro C. 25 se presentan los resultados de la evaluación de los datos por medio del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel del 95% de significancia.

De los resultados del análisis de varianza (Cuadro C. 25) (para el efecto molienda el $F_c (1.197) > F_t (5.79)$; para el efecto lote el $F_c (1.455) < F_t (5.41)$ y para el efecto perol $F_c (0.174) < F_t (6.61)$); puede observarse que no existe diferencia significativa del análisis de color para el punto de Miel de Panela, por lo que puede concluirse que el color para el punto de Miel de Panela en las moliendas muestreadas es de un promedio de 2216 umas, a un 95% de significancia.

7.7.5 Factores que influyen en la diferencia de los valores de las variables

Las observaciones muestran que en la practica del proceso de elaboración del dulce de panela, la utilización de bisulfito de sodio como clarificador en una sola molienda (Chacón) origina diferencias considerables entre ellas, así también el tiempo de madurez y por experiencia de los dueños de molienda el tipo de fertilizante utilizado en los suelo de cultivo afecta el color final del dulce de panela.

Además son causas de variación ; la preparación de la muestra para llevar a cabo los análisis de color así como también la calibración del equipo utilizado.

7.8 VALORES PROMEDIO O RANGOS DE VALORES PARA VARIABLES MONITOREADAS EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE DULCE DE PANELA

En base al análisis estadístico de los datos obtenidos del monitoreo, presentado en las secciones previas, se ha elaborado el cuadro 7.1 el cual contiene los valores promedio o los rangos de valores, según los resultados del análisis estadístico efectuado. Los valores promedio se reportan cuando no existe diferencia significativa entre los datos y se ha colocado a la par de cada

valor promedio, el error cometido al tomar dicho promedio en relación con los verdaderos valores de las variables, este error se ha calculado para un 95% de confianza ; en aquellos casos en los cuales de acuerdo al análisis estadístico existe diferencia significativa, se reporta un intervalo o rango de valores.

En el cuadro C.27 se presentan los resultados de aceptación o rechazo para cada una de las hipótesis planteadas para cada variable en las diferentes etapas monitoreadas.

Cuadro 7.1 Rango o promedio de condiciones de operación de molindas muestreadas según análisis estadístico.

Puntos de operación	Promedio o rango de condiciones de operación en las molindas	Promedio o rango de condiciones de operación por molindas							
		M. CHACON		M. GONZALES		M. VALLE			
LLENADO DE PEROLES	40 - 68 min.	40 - 58 min.		55 - 68 min.		59 - 65 min.			
TIEMPO DE COCCION (MINUTOS)									
Punto de Miel									
		Error		Error		Error		Error	
DE MESA	333.17	3.47	333.17	4.57	333.17	9.10	333.17	9.40	
DE AZUCAR	18.92.	1.52	18.92	3.53	18.92	4.18	18.92	2.39	
DE BATIDO	2 - 8	-	2.5	0.92	6.25	2.00	4.5	2.05	
DE PANELA	1 - 5	-	1.5	0.92	4.25	1.52	4	1.30	
TEMPERATURA (°C)									
		Error		Error		Error		Error	
DE MESA	100.33	1.03	99 - 102	-	100 - 103	-	99 - 101	-	
DE AZUCAR	110 - 114	-	112.5	1.52	113.75	0.79	111.25	1.52	
DE BATIDO	113 - 118	-	114	1.30	117.25	1.52	116.25	1.52	
DE PANELA	114 - 121	-	115.25	2.00	119.75	1.52	118.25	2.00	
pH									
		Error		Error		Error		Error	
DE MESA	5.56 - 6.15	-	6.02	0.16	5.64	0.12	5.63	0.09	
DE AZUCAR	5.70 - 6.22	-	6.1	0.17	5.74	0.09	5.74	0.04	
DE BATIDO	5.80 - 6.28	-	6.14	0.19	5.84	0.07	5.84	0.06	
DE PANELA	5.88 - 6.31	-	6.19	0.19	5.93	0.04	5.9	0.03	
°Brix									
		Error		Error		Error		Error	
DE MESA	73.15	1.18	73.15	0.40	73.15	3.24	73.15	2.50	
DE AZUCAR	86.36	1.13	86.36	1.32	86.36	3.61	86.36	2.58	
DE BATIDO	89.26	0.96	89.26	2.23	89.26	2.82	89.26	2.27	
DE PANELA	92.18	0.72	92.18	0.84	92.18	1.49	92.18	1.70	
°Pol									
		Error		Error		Error		Error	
DE MESA	28.59 - 32.46	-	31.56	1.08	29.70	1.52	30.23	2.10	
DE AZUCAR	32.49 - 37.26	-	36.79	0.75	34.42	0.56	33.14	1.12	
DE BATIDO	34.43 - 38.19	-	37.12	0.83	36.06	1.12	35.12	0.93	
DE PANELA	35.74 - 39.0	-	35.77 - 39.0	-	35.77 - 39.0	-	35.77 - 39.0	-	
COLOR (UMAS)									
		Error		Error		Error		Error	
DE MESA	1092 - 1456	-	1169.75	-	1354	114.90	1206.25	127.90	
DE AZUCAR	1610	59.71	1610	108.00	1610	90.78	1610	107.20	
DE BATIDO	1758	36.97	1758	88.92	1758	48.76	1758	79.34	
DE PANELA	2216	100.7 0	2216	184.00	2216	326.50	2216	214.60	

8.0 BALANCE DE MATERIALES PARA EL PROCESO DE MOLIENDA

El balance de materiales para el proceso de producción de dulce de panela comprende el cálculo de las siguientes cantidades:

- Caña molida
- Bagazo generado por perol
- Jugo para llenar un perol
- Bagazo quemado en hornos
- Bagazo remanente
- Cenizas generadas
- Dulce de panela producido
- Residuos generados : agua de lavado de molino, agua de lavado de peroles de cocción, residuos azucarados
- Rendimiento de Panela

Debido a que los cálculos para el balance de materiales son los mismos para cada una de las moliendas monitoreadas, se presentan de la sección 8.1 a la sección 8.4 los procedimientos y las expresiones, en forma generalizada, que se utilizarán para tales cálculos; posteriormente se aplican dichas expresiones a los casos particulares de cada molienda.

8.1 CAÑA MOLIDA Y BAGAZO GENERADO POR PEROL

Procedimiento

Para determinar la cantidad de caña que se muele y la cantidad de bagazo que se obtiene por perol en la moliendas se realizó el siguiente procedimiento:

- a) Determinar el volumen del perol de cocción, utilizando para el calculo, el radio del mismo
- b) Muestreo en el molino, el procedimiento consistió en pesar una cantidad de caña, para luego alimentarla al molino, el jugo extraído se recolecta para medir el volumen del mismo y luego se determina el peso de bagazo obtenido.
- c) Cálculos

- Volumen del perol:

$$V_{\text{Perol}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right)$$

Donde : V_{perol} : volumen del perol de cocción, en m^3
 r : radio del perol, en metros

- Caña molida por perol:

$$C_{\text{molida}} = \frac{PM_{\text{caña}}}{V_{\text{jugo}}} (V_{\text{perol}})$$

- Bagazo producido por perol:

$$B_{\text{perol}} = C_{\text{molida}} \cdot \left(\frac{P_{\text{bagazo}}}{PM_{\text{caña}}} \right)$$

Donde : C_{molida} : caña molida por perol, en Kg
 B_{perol} : bagazo generado por perol, en Kg
 $PM_{\text{caña}}$: peso de muestra de caña, en Kg
 V_{jugo} : volumen de jugo de caña extraído de la muestra, m^3
 V_{perol} : volumen de perol de cocción, m^3
 P_{bagazo} : peso de bagazo obtenido de la muestra de caña, en Kg

8.2 BAGAZO QUEMADO, CENIZAS Y EXCEDENTE DE BAGAZO POR PEROL

Procedimiento

Para determinar la cantidad de bagazo quemado, cenizas y el bagazo remanente por perol se realizo el siguiente procedimiento :

- a) Monitorear los hornos, determinando el peso de “n” pelotas de bagazo que son alimentadas, y calcular su promedio
- b) Para determinar la cantidad de ceniza por perol se pesó la ceniza procedente de cada uno de los “n” hornos de la molienda
- c) Cálculos :
 - Peso promedio de pelotas de bagazo alimentadas a los hornos:

$$P_{PB} = \frac{\sum_{i=1}^n PB_i}{n}$$

- Donde :
- n : Numero de pelotas pesadas
 - P_{Bi} : Peso de la pelota i de bagazo, en Kg
 - P_{PB} : Peso promedio de pelotas de bagazo, en Kg

- Cantidad de bagazo quemado en los hornos:

$$B_{quemado} = P_{PB} \times N_p$$

- Donde :
- N_p : Número de pelotas alimentadas por perol
 - $B_{quemado}$: Bagazo quemado por perol, en Kg
 - P_{PB} : Peso promedio de pelotas de bagazo, en Kg

- Bagazo excedente por perol:

$$B_{\text{excedente}} = B_{\text{perol}} - B_{\text{quemado}}$$

Donde : $B_{\text{excedente}}$: Bagazo Remanente por Perol, en Kg

B_{perol} : Bagazo obtenido por perol, en Kg

B_{quemado} : Bagazo quemado por perol, en Kg

- Peso promedio de ceniza por perol:

$$P_{\text{Ceniza}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Ci}}{n}$$

Donde : n : Número de hornos muestreados

P_{Ci} : Peso de ceniza del horno i , en Kg

P_{ceniza} : Peso promedio de ceniza por horno, en Kg

8.3 PANELA Y RESIDUOS SOLIDOS AZUCARADOS POR PEROL

Procedimiento

Para determinar la cantidad de panela y los residuos sólidos azucarados por perol se realizó el siguiente procedimiento :

- Monitorear el proceso de moldeo y desmoldado de panela, determinando el peso de “n” lajas de panela obtenidas en forma completa
- Monitorear el proceso de moldeo y desmoldado de panela con el objeto de determinar el número de lajas de panela por perol , esta actividad se realiza para “n” número de peroles

c) Para determinar la cantidad de residuos sólidos azucarados de la etapa de moldeo y desmoldado de panela por perol , se procede a limpiar los moldes utilizados por perol ,los residuos sólidos azucarados así obtenidos se pesan, esta actividad se repite para “n” numero de peroles.

- Peso promedio de lajas de dulce de panela:

$$P_{laja} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Li}}{n}$$

Donde : n : Número total de lajas muestreada
 P_{Li} : Peso de la laja i de panela, en Kg
 P_{laja} : Peso promedio de una laja de panela, en
 Kg

- Numero promedio de lajas de dulce de panela obtenidas por perol:

$$N_{Lperol} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{Li}}{n}$$

Donde : n : Número total de peroles muestreados
 N_{Li} : Número de lajas de panela para el perol
 i
 N_{Lperol} : Número promedio de lajas por perol

8.4 RENDIMIENTO DE PANELA

El rendimiento del dulce de panela se expresa como la relación de la cantidad de éste producida por tonelada de caña procesada

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{kg de Panela producida}}{\text{Tonelada metrica de cañ a procesada}}$$

Donde:

Panela producida = Peso de Dulce de Panela + Peso de Residuos sólidos Azucarados

8.5 RESULTADOS DEL BALANCE DE MATERIALES PARA LAS MOLIENDAS

Los resultados obtenidos del balance de materiales para cada una de las moliendas monitoreadas, al aplicar las expresiones planteadas de la sección 8.1 a 8.3, para efectuar los balances de materiales, se presentan en los cuadros 8.1 a 8.5 y un ejemplo de cálculo para cada caso en una molienda se muestran en el Anexo F.

Cuadro 8.1 Volumen de peroles de cocción

Molienda	Volumen (m ³)
M. Chacón	0.8453
M. González	0.9067
M. Valles	0.7866

Cuadro 8.2 Caña molida y bagazo generado por perol para una muestra analizada

Molienda	Caña (kg caña/perol)	Bagazo (kg bzo./perol)
M. Chacón	1,172.33	512.57
M. González	1,222.89	581.35
M. Valles	1,069.40	512.80

Cuadro 8.3 Promedios de bagazo quemado, cenizas y bagazo excedente por perol

Molienda	B.zo quemado (pelotas/perol)	B.zo quemado (kg bzo. / perol)	B.zo excedente (kg bzo. / perol)	Cenizas (kg / perol)
M. Chacón	60	305.40 ± 16.69	207.17	30.63 ± 2.68
M. González	45	343.35 ± 23.59	238.00	38.84 ± 5.18
M. Valles	40	348.88 ± 17.85	163.92	36.34 ± 4.62

Cuadro 8.4 Promedios de panela y residuos sólidos azucarados por perol

Molienda	Panela (lajas/perol)	Panela (kg /perol)	Residuos (kg /perol)
M. Chacón	240 ± 6.98	113.02 ± 6.99	2.68 ± 0.58
M. González	228 ± 6.57	106.250 ± 6.57	3.60 ± 0.96
M. Valles	228 ± 11.26	107.84 ± 11.27	4.82 ± 0.90

Cuadro 8.5 CANTIDADES DE MATERIALES GENERADOS PARA UN DÍA DE OPERACIÓN EN MOLIENDA Y RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN DE PANELA

Materiales	M. Chacón	M. González	M. Valles
Caña molida (kg/día)	9380.16	9783.12	6416.4
Bagazo generado (kg/día)	4100.56	4650.80	3076.80
Bagazo quemado (kg/día)	2443.20	2747.60	2093.28
Bagazo excedente (kg/día)	1657.36	1903.20	983.52
Panela (kg/día)	904.28	850.16	647.88
Residuos azucarados (kg/día)	21.49	28.72	28.97
Rendimiento de panela (kg panela /TMC)	98.69	89.84	105.49

9.0 DIAGNOSTICO DEL EFECTO AMBIENTAL DEL PROCESO DE ELABORACION DE DULCE DE PANELA

En El Salvador la agroindustria Panelera es una industria no tecnificada, por lo que no ha habido hasta ahora interés alguno en realizar estudios referentes a su impacto ambiental ya sea a manera de diagnóstico o de estudios orientados a la disposición de los desechos que puedan generarse durante el proceso.

Por esto mismo, no se posee una base sobre la que se puedan comparar las condiciones de operación de las molineras, y determinar si se está afectando el medio ambiente debido al contenido de materiales contaminantes presentes en las diferentes corrientes de residuos que ellas generan.

El diagnostico ambiental desarrollado pretende identificar los residuos generados, sus fuentes y cuando los medios lo permitan, su composición, así como la disposición actual de que son objeto tales corrientes de desechos, por parte de los propietarios de las molineras.

Para realizar el diagnostico, se parte de la revisión del proceso de elaboración del dulce de panela, con el objeto de identificar las fuentes de generación de residuos (sólidos líquidos y gaseosos) y la caracterización fisicoquímica de los mismos para determinar el tipo de materiales presentes en su composición. Al final, se establece, en base a lo observado sus posibles efectos (positivos o negativos) sobre el medio ambiente.

9.1 REVISION DEL PROCESO DE ELABORACION DE DULCE DE PANELA

El Proceso de elaboración de dulce de panela comprende diversas actividades las cuales se presentan en la sección 1.3, tales actividades comprenden desde el corte de la caña de azúcar, hasta la obtención del dulce de panela listo para su comercialización.

En el proceso de monitoreo se recaban datos sobre los diversos materiales que ingresan y/o abandonan el proceso de producción de dulce de panela. Para elaborar el diagnóstico de los efectos de los residuos generados en el proceso, se presentan tabulados en los cuadros 9.1 y 9.2 todos los materiales que abandonan y/o ingresan al proceso, esto para cada etapa del mismo, identificando al mismo tiempo la naturaleza de los materiales que abandonan el proceso: cuales se consideran residuos y cuales se consideran desechos en las condiciones actuales de operación de las moliendas.

Cuadro 9.1 Identificación de las entradas en el proceso de elaboración de dulce de panela

Etapa	Entrada de Materiales
Recibo y transporte de caña	<ul style="list-style-type: none"> • Caña cortada • Rastrojos
Molido	<ul style="list-style-type: none"> • Caña cortada • Agua de lavado de molino
Cocción y Limpieza del Jugo	<ul style="list-style-type: none"> • Jugo de caña o guarapo • Pelotas de Bagazo (hornos) • agua de lavado de peroles • Adición de Cal (CaO)
Batido de miel	<ul style="list-style-type: none"> • Miel en el Punto de Miel de Panela
Enmoldado / Desenmoldado	<ul style="list-style-type: none"> • Agua para humedecimiento y lavado de moldes • Miel de Panela parcialmente fría
Envoltura	<ul style="list-style-type: none"> • Lajas de Dulce de panela • Mecate • Tusa
Elaboración de pelotas de bagazo	<ul style="list-style-type: none"> • Bagazo seco
Lavado de Utensilios	<ul style="list-style-type: none"> • Agua

Cuadro 9.2 Identificación de salidas en el proceso de elaboración de dulce de panela

Etapa	Salida de Materiales	Residuos	Desechos
Recibo y transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Rastrojos 	<ul style="list-style-type: none"> • Rastrojos 	
Molido	<ul style="list-style-type: none"> • Jugo de Caña o guarapo • Agua de lavado de molinos • Bagazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Bagazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua de lavado de molinos
Cocción y Limpieza del jugo	<ul style="list-style-type: none"> • Miel en el Punto de Miel de Panela • Espuma Sucia • Agua de lavado de peroles • Ceniza de Bagazo • Agua evaporada 	<ul style="list-style-type: none"> • Ceniza de bagazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Gases de combustión • Espuma Sucia • Agua de lavado de peroles
Batido	<ul style="list-style-type: none"> • Miel de Panela fría 	<ul style="list-style-type: none"> • Restos sólidos de panela 	
Enmoldado y Desenmoldado	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos sólidos azucarados • Agua de humedecimiento de moldes • Lajas completas, lajas incompletas 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos sólidos azucarados de la limpieza de moldes • Lajas incompletas 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua de humedecimiento de moldes
Envoltura	<ul style="list-style-type: none"> • Atados de Dulce 	<ul style="list-style-type: none"> • Tusa y mecate • Lajas quebradas en el proceso de envoltura 	
Secado de bagazo y elaboración de pelotas	<ul style="list-style-type: none"> • Pelotas de bagazo • Bagazo remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • Bagazo remanente 	
Lavado de utensilios	<ul style="list-style-type: none"> • Agua de lavado de utensilios 		<ul style="list-style-type: none"> • Agua de lavado de utensilios

9.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DESECHOS Y EFLUENTES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL DULCE DE PANELA

9.2.1 Residuos o desechos líquidos

Durante el proceso de elaboración del dulce de panela, el agua es utilizada en las etapas de lavado y limpieza de peroles, moldes, utensilios y molino; generando volúmenes de agua de desecho que pueden variar entre 30 y 40 galones/día dependiendo de las actividades que se desarrollan en una molienda en particular.

Los efluentes líquidos en las moliendas monitoreadas pueden identificarse como:

a) Agua de lavado de Peroles

Proviene del agua utilizada para la limpieza de los peroles de cocimiento; actividad que se desarrolla después de que es retirada la miel en el Punto de Miel de Panela de los peroles.

b) Aguas de Lavado

Proviene del agua utilizada para la limpieza y humedecimiento de moldes, lavado de utensilios y molino.

c) Espuma Sucia

Proviene de la limpieza del jugo de caña durante la etapa de cocción; este residuo arrastra gran cantidad de materia sólida, derivada del proceso de extracción del jugo de caña.

El mayor volumen de desechos líquido corresponde al agua de lavado de peroles y que en la mayoría de moliendas estos efluentes son vertidos en un mismo sitio de descarga.

9.2.2 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones de partículas a la atmósfera se producen por la combustión del bagazo en los hornos, y descargadas en el aire y pueden identificarse como:

a) Cenizas volantes

Es el nombre aplicado a las partículas de cenizas arrastradas por el aire caliente resultado de la quema del bagazo así como las partículas de ceniza que son dispersas por las corrientes de aire al pasar por las acumulaciones formadas en los puntos de la molienda donde son depositadas durante toda la temporada.

b) Humo

Este se forma de las partículas de hollín o carbón resultado de la combustión incompleta del bagazo en los hornos de la molienda

9.2.3 Residuos o desechos sólidos

Los residuos sólidos del proceso de elaboración del dulce de panela los conforman:

a) Bagazo remanente

Es el bagazo que no es utilizado como combustible (excedente), el cual queda diseminado en los entornos de la molienda como rastrojo agrícola.

b) Ceniza

Es el residuo de la combustión del bagazo en los hornos de la molienda

c) Residuos azucarados

Proviene de la limpieza de los moldes y de las lascas incompletas del proceso de desmoldado.

d) Residuos sólidos varios

Proviene principalmente del proceso de recibo y transporte (rastros) así como de la operación de envoltura del dulce de panela (tusa y mecate).

Los residuos sólidos azucarados pueden ser incorporados al proceso de elaboración del dulce de panela en la etapa de cocción del jugo.

9.3 DISPOSICION DE RESIDUOS Y/O DESECHOS DEL PROCESO DE PRODUCCION DE PANELA EN LAS MOLIENDAS MONITOREADAS

Las actividades de disposición de residuos que los mismos productores de panela realizan no tienen por objeto brindarle un tratamiento a sus residuos y/o desechos, si no sacarlos del proceso de producción para que no interfieran en el desarrollo de éste.

La disposición de los desechos y/o residuos que se realiza en las moliendas monitoreadas se hace en base a la naturaleza de estos. Las formas en que se dispone de estos efluentes se divide en líquidos y sólidos, los efluentes gaseosos no son objeto de ninguna disposición en las moliendas seleccionadas.

9.3.1 Efluentes Líquidos

- a) Espuma sucia o espuma de cuche: Disposición en terrenos cercanos a la molienda

- b) Agua de lavado de peroles de cocción: Descarga en los terrenos aledaños a la molienda en la molienda Chacón y en las molindas González y Valles se venden como complemento para alimentación animal.

9.3.2 Desechos sólidos

- a) Bagazo de Caña: Cierta cantidad de bagazo de caña remanente es utilizada en el almacenamiento del dulce de panela, el resto es quemado.
- b) Ceniza: La Ceniza es utilizada como abono por los cañicultores dueños de las molindas.
- c) Residuos sólidos azucarados: Los residuos sólidos del dulce de panela son vendidos para alimentación animal.
- d) Rastrojos : Los rastrojos por generarse en cantidades relativamente pequeñas, simplemente son arrojados a los terrenos o cañales aledaños a las molindas.
- e) Tusa y Mecate : Los restos de tusas y mecate son utilizados, al igual que parte del bagazo remanente, en el almacenamiento del dulce de panela, y lo que no puede ser utilizado de esta manera es quemado también junto con el bagazo no utilizado.

9.4 CARACTERIZACION DE LOS DESECHOS LIQUIDOS

Para realizar una descripción de los efluente líquidos se consideran como análisis más apropiados la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los que se convierten en el principal parámetro para la caracterización de los efluentes líquidos con alto contenido de materia orgánica (en este caso azúcares).

Para la toma de muestra de los efluentes líquidos se considera que los mayores volúmenes provienen del agua de lavado de peroles y espuma sucia, esto se debe a que estos desechos son generados en cada perol, de una

molienda; mientras que el agua de lavado de utensilios y limpieza de moldes, molinos son actividades de limpieza que se desarrollan al final de la jornada de molienda, las que generan volúmenes pequeños de desechos, los cuales son descargados directamente a los terrenos aledaños a la molienda.

Los resultados de los análisis de las agua de lavado de peroles y espuma sucia se presenta en el cuadro 9.3.

Cuadro 9.3 Resultados de Análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno en muestras de agua de lavado de las moliendas monitoreadas.

Muestra	DBO	DQO	°Pol	Temperatura (°C)
Agua de lavado de peroles	----	235,596 ppm	12	76 - 88
Espuma sucia	108,750 ppm		4.5	47 - 62

Los análisis de DBO y DQO fueron efectuados en los laboratorios de :
ESPECIALIDADES INDUSTRIALES S.A. de C.V. (Anexo E).

9.5 CARACTERIZACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS

Para realizar una descripción de los desechos sólidos se considero a la ceniza proveniente de la combustión del bagazo en los hornos el único desecho sólido en el proceso de elaboración del dulce de panela que puede representar un contaminante (considerando también que es el único desecho sólido que fue posible cuantificar, además de los residuos sólidos azucarados), esto se debe a la gran cantidad generada y a la disposición final que se les da en los terrenos de la molienda.

Los análisis realizados a las cenizas tienen por principal objeto establecer el contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio de las mismas, puesto que son los componentes que por su uso en formulaciones para abonos, puedan

darle a las cenizas un potencial de uso como abono en los suelos de las molindas, y en su defecto, determinar si la practica de incorporarlas al terreno de la molienda no ocasionaba daños al mismo.

Los resultados de los análisis de las muestras de ceniza se presentan en el cuadro 9.4.

Cuadro 9.4 Resultados de análisis de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en muestras de ceniza de la combustión del bagazo, en las molindas monitoreadas

Muestra	pH	K	P	N
ceniza de bagazo molienda valle	10.8	80.500 ppm	5,150 ppm	mayor de 35 ppm
ceniza de bagazo molienda Chacón	10.7	80.00 ppm	5,287.5 ppm	menor de 35 ppm

Los análisis fueron efectuados en el laboratorio de Suelos de la Facultad Ciencias Agronómicas UES. (Anexo E).

9.6 CONSIDERACIONES FINALES DEL DIAGNOSTICO

Considerando la naturaleza de los desechos líquidos, volúmenes y disposición final que se les brinda (descarga en terrenos de la molienda), y la carga orgánica expresada como DBO y DQO, puede considerarse que el efluente líquido de las aguas de lavado, representan un potencial peligro sobre el medio ambiente que rodea a las molindas. Sin embargo, es sabido que en el suelo se encuentra presente una flora microbiana natural, la cual se alimentará de la materia orgánica presente en este descomponiéndola y liberando durante el proceso materia orgánica degradada y minerales que las plantas pueden utilizar como fuente de nutrientes. A. Burges (1971), sostiene que el factor principal que limita el crecimiento bacteriano en el suelo es la escasez de alimento, o la carencia de una fuente de energía apropiada y disponible, y que

por consiguiente cualquier adición de material energético fresco al suelo provocará, casi invariablemente un crecimiento en la actividad bacteriana. Es decir, las bacterias pueden casi sin ninguna dificultad, disponer de los residuos ricos en materia orgánica que se descargan al suelo y aprovecharlos en su actividad metabólica. Sin embargo, no puede afirmarse tal comportamiento sin poseer información que pueda apoyar esta hipótesis, por lo que es necesario realizar un estudio microbiológico en estos suelos, tanto en aquellos que no son objeto de descarga como aquellos que sí, con el fin de verificar si la descarga continua de los desechos líquidos azucarados del proceso de elaboración de dulce de panela (agua de lavado, de peroles, agua de humedecimiento y limpieza de moldes y espuma sucia) durante la temporada de molienda pueda alterar la flora microbiana y la calidad de los suelos, restando con ello su potencial agrícola o por el contrario, si esta práctica beneficia en alguna medida el desarrollo de la flora microbiana del suelo.

La utilización de las aguas con residuos azucarados (específicamente agua de lavado de peroles) para el uso de alimentación animal en las molinas ofrece una alternativa viable para evitar su descarga directamente a los terrenos, lo cual se practica en dos de las molinas monitoreadas.

La Espuma Sucia, por su composición (componentes coagulables del jugo de caña durante el proceso de cocción) representaría uno de los mayores problemas de contaminación por descarga líquida a los terrenos de las molinas, por lo que debe de considerarse realizar un estudio que caracterice estos efluentes mediante un análisis proximal del mismo.

En cuanto a las cenizas, de acuerdo con el cuadro 9.4 la alcalinidad de las mismas es alta (pH), por lo que su descarga a los terrenos de cultivo podría estar desplazando el equilibrio natural del suelo hacia valores altos de pH, esto no resultaría ser un problema, si se considera que la escala de pH que normalmente toleran las bacterias del suelo se encuentra entre un pH de 4 y un pH de 10, encontrándose el óptimo dentro de estos márgenes y más desplazado hacia el lado alcalino (Burgess, 1971), así como también muchos

micronutrientes importantes para las plantas son liberados al adicionar productos alcalinos al suelo (Banco de Fomento Agropecuario, 1977), lo cual puede en alguna medida, aumentar la disponibilidad de estos elementos, con lo que se reduce la cantidad de fertilizante artificial necesario para proporcionar tales elementos. Sin embargo, como en el caso de la descarga de los efluentes líquidos ricos en materia orgánica, sería necesario realizar comparaciones entre la composición de los suelos naturales (sin las descargas de ceniza), la composición de los suelos afectados por las descargas y los niveles óptimos de pH necesarios para el cultivo de diferentes plantas, que en la zona de interés se produzcan, de tal forma que se pueda establecer un balance entre las necesidades de los cultivos, la disponibilidad de nutrientes en el suelo natural así como su pH y las cantidades extra de materia mineral que se esta adicionando con la práctica de descarga de las cenizas, para saber si el balance es positivo (no hay efectos adversos sobre el medio ambiente) o si el balance es negativo (efectos adversos). Debe de por lo tanto, realizarse un estudio completo que determine los efectos de estas prácticas de descarga en los suelos y con ello determinar si esta no altera la composición y calidad de los suelos para el cultivo de la caña de azúcar (u otro cultivo), así también debe de ser monitoreado el efecto del arrastre de los componentes de la ceniza por las aguas lluvias hacia otros terrenos cercanos o hacia fuentes de agua subterráneas o ríos y lagos cercanos.

Tomando en cuenta la naturaleza de las emisiones gaseosas (hollín) del proceso de elaboración del dulce de panela deberá de realizarse un estudio que las cuantifique y determine el posible impacto ambiental que estas puedan generar.

Si se considera que los residuos sólidos azucarados son reincorporados generalmente al proceso de producción junto con la materia prima en la etapa de cocción o que son vendidos como suplemento para la alimentación animal, estos no representaran una fuente de contaminación ambiental.

10.0 OBSERVACIONES

1. Muy pocas investigaciones se han realizado en torno al proceso de elaboración de dulce y azúcar de panela, lo cual sumado al desinterés por apoyar esta agroindustria no ha permitido que ésta tenga un desarrollo como el que han logrado las agroindustrias azucarera y del café.
2. El proceso de producción de dulce y azúcar de panela está dominado ampliamente por el conocimiento empírico y por la habilidad de los punteros en la determinación de los puntos de miel y dirección de las actividades de las moliendas, que se ha transmitido de generación en generación, lo cual también ha incidido en la resistencia que presentan los propietarios y trabajadores a las mejoras técnicas que pueden lograrse en dicho proceso.
3. Una de las causas de la desaparición de muchas de las moliendas se debe a la preferencia de los cañicultores de vender su caña a los ingenios en lugar de procesarla ellos mismos en dulce y azúcar de panela ; lo mismo por una baja en la demanda ocasionada por el cambio en las costumbres del consumidor actual hacia el azúcar de los ingenios.
4. La selección de las variables de monitoreo: Temperatura, °Brix, pH, Color y °Pol utilizadas para realizar la caracterización fisicoquímica del proceso de elaboración de dulce de panela se fundamenta en que no existe ningún estudio anterior que sirva como base para dicha caracterización, y son las que proporcionan los parámetros de operación en un ingenio azucarero, que es un proceso que guarda similitud con el llevado a cabo en las

moliendas, por lo que en este estudio se consideró que describirían las condiciones de operación de estas.

5. En las tres moliendas en estudio se agrega al jugo de caña Cal (CaO) como regulador de pH durante la etapa de cocción después de iniciada la ebullición, las cantidades adicionadas varían de 0.11 a 0.2 Kg de Cal/perol. El CaO a su vez ejerce efecto de clarificación del jugo, lo que en términos del conocimiento empírico manejado en las moliendas se toma como el de evitar que el dulce de panela salga negro.
6. El cálculo de volumen de los peroles de cocción para elaborar los balances se ha tomado como el volumen de una semiesfera, esta consideración se basa en que la altura del perol es aproximadamente igual al diámetro del mismo.
7. El análisis de color de las mieles no se realizó por triplicado debido a los inconvenientes que se presentaba el tiempo que tarda la preparación de la muestra.
8. El lavado de molinos al finalizar las actividades de la molienda no es una practica generalizada, según propietarios de las moliendas.
Esta actividad se observó solo en la molienda Chacón.
9. La descarga de las cenizas procedentes de la combustión del bagazo en los hornos en los terrenos de cultivo aledaños a las instalaciones de la molienda es una práctica generalizada.

10. La descarga del agua de lavado de peroles en los terrenos aledaños a la molienda (práctica observada en la molienda Chacón) no es una práctica generalizada según propietarios de las moliendas, ya que éstas generalmente son almacenadas en barriles para luego ser utilizadas como complemento para la alimentación animal.
11. Los análisis fisicoquímicos efectuado a las muestras del proceso de elaboración de dulce de panela fueron realizadas utilizando el equipo e instalación de laboratorio de control de calidad del Ingenio Chanmico; los procedimientos analíticos son tomados del Manual de Prácticas de Laboratorio para la Industria Azucarera.
12. El subacetato de plomo utilizado como clarificante en los procedimientos de análisis de laboratorio que se utiliza en los análisis de °Pol, es una sustancia contaminante debido a la presencia de plomo, cuya toxicidad para los seres vivos se ha demostrado ser alta, y su utilización no está permitida en algunos países siendo sustituida por la utilización de polímeros y sales de aluminio.
13. La construcción de la galera de hornos en las instalaciones de una molienda se ubica generalmente de norte a sur con el objeto de evitar las corrientes de aire que puedan afectar la combustión del bagazo en los hornos.
14. La utilización de leña para el arranque de la temporada de elaboración de dulce de panela es una práctica necesaria en las moliendas debido a que no se cuenta con bagazo para ser utilizado en los hornos, las cantidades utilizadas de ésta varían de 500 a 1000 rajas.

15. Los puntos de miel son puntos intermedios en el proceso de cocción del jugo de caña, en el cual el jugo se ha concentrado hasta el estado de sobresaturación con azúcar, este término se modifica en punto de Miel de Mesa, punto de Miel de Azúcar, punto de Miel de Batido y punto de Miel de Panela, de acuerdo con la consistencia la cual es determinada por el puntero en forma empírica introduciendo el dedo índice, previamente humedecido en la miel, la consistencia al tacto es la que le permite la identificación de cada punto.
16. El proceso de enfriamiento de la Miel de Panela mediante la agitación en los peroles de enfriamiento proporciona las condiciones finales de textura adecuadas a la miel para evitar dulce de panela “soplado” (huecos en el dulce) o porosos y quebradizos.
17. Los residuos sólidos azucarados, en su mayoría lajas de panela incompletas y sobrantes de la limpieza de moldes son utilizados para alimentación animal o son reincorporados al proceso en la etapa de cocción del jugo.
18. La espuma sucia (sobrenadante que se retira durante los primeros hervores del proceso de cocción del jugo la cual contiene la mayor parte de las impurezas del jugo), es descargada en los terrenos aledaños a las molindas como una práctica generalizada debido a que ésta no posee ninguna utilidad.
19. El diagnóstico ambiental desarrollado muestra que se necesita mayor cantidad de información en cuanto a la caracterización de los efluentes líquidos, sólidos y gaseosos del proceso, para poder determinar con

exactitud el tipo de impacto que esta práctica tiene sobre el medio ambiente, dejándose como base la investigación contenida en el presente trabajo para tomarla como una referencia en futuros trabajos que tengan como objetivo la evaluación del impacto ambiental en esta agroindustria.

11.0 CONCLUSIONES

1. El proceso de elaboración del dulce de panela consiste en la concentración por evaporación del jugo de caña o guarapo, en peroles abiertos durante un promedio de 6 a 7 horas, en el cual la habilidad y experiencia del puntero en el control del proceso de cocción del jugo y determinación de los puntos de miel, en particular el punto de Miel de Panela son factores que inciden en la calidad del dulce obtenido .
2. La adición de óxido de calcio (CaO) al jugo de caña o guarapo durante la etapa de cocción del proceso de elaboración de dulce de panela es realizada con el fin de clarificar el jugo al igual que en los ingenios, así también con el objeto de aumentar el pH de las mieles, para evitar la inversión de la sacarosa de los jugos de caña cuyo pH varía de 5.2 a 5.42.
3. Las principales fuentes de error y diferencia en los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras obtenidas de los puntos intermedios de cocción o puntos de miel del proceso de elaboración del dulce de panela pueden atribuirse al método empírico empleado por los punteros en la determinación de las diferentes condiciones de miel, así también a la posibilidad de que el traslado de las muestras desde el lugar de monitoreo (moliendas) al laboratorio de control de calidad del Ingenio Chanmico pudo afectar las condiciones y propiedades de las mieles.
4. Los puntos de miel de mayor importancia en el proceso de elaboración del dulce de panela se considera que son : los puntos de Miel de Batido y punto de Miel de Panela ya que el producto elaborado a partir de ellas (Batidos y Dulce de Panela) conservan en la actualidad una demanda en el mercado nacional. El punto de Miel de Azúcar se determina en aquellas moliendas

que elaboran Azúcar de Pilón, práctica que ha tendido a desaparecer por la mayor demanda de azúcar \neq elaborada en los ingenios.

5. Para la variable Tiempo se obtuvieron los siguientes valores : Tiempo de llenado de peroles 40-68 min, tiempo de cocción hasta Miel de Mesa 333.17 min, tiempo de cocción de Punto de Miel de Mesa hasta Punto de Miel de Azúcar 18.92 min, tiempo de cocción de Punto de Miel de Azúcar hasta Punto de Miel de Batido 2-8 min, y tiempo de cocción de Punto de Miel de Batido hasta Punto de Miel de Panela 1-5 min.
6. Para la variable Temperatura se obtuvieron los siguientes valores : temperatura en Punto de Miel de Mesa 100.33 °C, temperatura en Punto de Miel de Azúcar 110-114 °C, temperatura en Punto de Miel de Batido 113-118 °C, y temperatura en Punto de Miel de Panela 114-121 °C.
7. Para la variable pH se obtuvieron los siguientes valores : pH en Punto de Miel de Mesa 5.56-6.15, pH en Punto de Miel de Azúcar 5.70-6.22, pH en Punto de Miel de Batido 5.8-6.28, y pH en Punto de Miel de Panela 5.88-6.31.
8. Para la variable °Brix se obtuvieron los siguientes valores : °Brix en Punto de Miel de Mesa 73.15, °Brix en Punto de Miel de Azúcar 86.36, °Brix en Punto de Miel de Batido 89.26, y °Brix en Punto de Miel de Panela 92.18.
9. Para la variable °Pol se obtuvieron los siguientes valores : °Pol en Punto de Miel de Mesa 28.59-32.46, °Pol en Punto de Miel de Azúcar 32.49-37.26, °Pol en Punto de Miel de Batido 34.43-38.19, y °Pol en Punto de Miel de Panela 35.74-39.00.

10. Para la variable Color se obtuvieron los siguientes valores : Color en Punto de Miel de Mesa 1,092-1,456 umas, Color en Punto de Miel de Azúcar 1,616 umas, Color en Punto de Miel de Batido 1,758 umas, y Color en Punto de Miel de Panela 2,216 umas.
11. De los resultados obtenidos de aceptación o rechazo de las hipótesis nulas planteadas se observa una mayor tendencia a las diferencias en los procesos llevados a cabo en las molientes monitoreadas que en el proceso llevado a cabo en una misma moliente principalmente en las variables, Tiempo de llenado de peroles y tiempo de cocción entre puntos de miel, pH y °Pol, mientras que en las variables ° Brix, Temperatura y Color se observa una mayor tendencia a que no haya diferencia en los procesos llevados a cabo en las molientes monitoreadas.
12. A partir de los resultados del monitoreo de la etapa de cocción se determinó, para un 95% de confianza en el análisis estadístico realizado, que no existe una uniformidad generalizada en las variables evaluadas en dicha etapa entre las molientes monitoreadas y en una misma moliente, sólo encontrándose uniformidad en °Brix entre molientes y para las variables pH, °Brix y Color, en una misma moliente.
13. Los análisis realizados al bagazo indican: un °Pol remanente de 4.23 - 6.23 y un poder calorífico de $4,454.95 \pm 135.33$ Kcal/Kg para una humedad de 32.5%; que comparados con los reportados para bagazo procedente de ingenios azucareros (4,050 Kcal/Kg para un %H de 12% y 2,530 Kcal/Kg para un %H de 45%), podrían indicar que al aumentar la extracción del jugo de caña disminuye el poder calorífico del bagazo; lo cual a la vez podría afectar la combustión del mismo en los hornos. De información brindada en las molientes, se dice que al aumentar el nivel de extracción del jugo en el molino se requiere mayor cantidad de bagazo en los hornos.

12.0 RECOMENDACIONES

1. En base a los resultados estadísticos obtenidos, podrían realizarse otros trabajos de investigación tomando como referencia el presente, que estén orientados a la determinación de otras posibles variables que caractericen el proceso de producción de dulce de panela, orientándolo además a la determinación del impacto ambiental que esta agroindustria ocasiona en el medio ambiente que rodea a las molindas.
2. Establecer contactos con la Cooperativa de paneleros de EL Salvador, fundada en agosto de 1998, con el objeto conocer sus programas de desarrollo, para la realización de futuros trabajos o proponer a la misma investigaciones que busquen la tecnificación del proceso.
3. Hacer un experimento planeado para definir con exactitud que variables del proceso de producción de dulce de panela podrían controlarse técnicamente; de tal forma que se mantenga el carácter tradicional del producto sin depender de la habilidad del puntero para controlar el proceso; dado que, las generaciones presentes van perdiendo poco a poco el interés para continuar trabajando en este tipo de actividades.

12.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BFA, (1977) "Suelos, Fertilizantes y Minerales", Banco de Fomento Agropecuario, Boletín Técnico, publicación N° 13, El Salvador, C.A.
2. Berríos, G. y Castro. M., (1997) "Evaluación del Potencial Energético de los Residuos Agrícolas en El Salvador 1° Parte: Maíz y Caña de Azúcar". Trabajo de Graduación previo al título de Ingeniero Químico. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
3. Brian, L. Et al, (1993) "Química del Suelo", 2° Edición, Editorial Limusa, México.
4. Burges, A., Raw, F., (1971) "Biología del Suelo", 1° Edición, Ediciones Omega S.A., Barcelona, España.
5. Chen, J.,(1991) "Manual del Azúcar de Caña", 1° Edición. Editorial Limusa. México.
6. Cruz, J. Et al, (1981) "Estudio del Proceso de Elaboración de Panela en el Departamento de San Vicente", Trabajo de graduación realizado para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica Latinoamericana, Facultad de Ingeniería, El Salvador, C.A.
7. Durán, J. A., (1998), Datos de Encuesta. Extensión Agrícola San Vicente, Ministerio de Agricultura y Ganadería / Centro de Tecnología Agrícola, El Salvador, C.A.
8. Fassbender, H., (1986) "Química de Suelos", Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.

9. MAG, (1984) **"Ensayos Preliminares con fertilizantes en caña de azúcar y su efecto sobre el rendimiento y calidad de la Panela"**, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Circular N°59. El Salvador.

10. Manual **"Prácticas de Laboratorio para la Industria Azucarera"**, utilizadas en el Ingenio Chanmico, municipio de San Juan Opico, Departamento de La Libertad.

11. Spencer M., (1967) **"Manual del Azúcar de Caña"** Editorial Montaner y Simón, S.A. México D.F.

14.0 GLOSARIO

1. *CANALETA DE MADERA*: Se utiliza para evitar que la miel en el Punto de Miel de Panela se derrame al ser trasladada a los peroles donde será batida.
2. *CARRETILLA DE METAL*: Se utiliza en algunas moliendas para transportar el bagazo del molino a los patios de secado.
3. *COMPRA DE CAÑALES EN PIE*: Compra de cañales por parte de los propietarios de las moliendas directamente en los terrenos de cultivos, siendo este mismo responsable de la corta y transporte.
4. *CORVOS DE MADERA PARA ENMOLDAR*: Se utilizan para llenar los moldes para el dulce de panela.
5. *HERVORES* : Se conoce así a la ebullición violenta del jugo de caña que se está concentrando en los peroles durante el proceso de cocción.
6. *ESPUMA SUCIA*: Es la espuma obtenida en los primeros hervores del jugo de caña durante el proceso de cocción, ésta es retirada arrastrando consigo a la superficie impurezas y bagacillo.
7. *FOGONERO*: Es la persona encargada dentro de la molienda de alimentar las pelotas de bagazo a los hornos.
8. *HISOPO*: Utensilio utilizado para lavar el perol de cocción después de sacar la miel en el Punto de Miel de Panela.

9. *OBRADOR*: Se le conoce a la galera de hornos en una molienda, es decir, al lugar en el que se encuentran ubicados los hornos y peroles de una molienda.
10. *PASCON*: Se utiliza para extraer las impurezas del jugo durante el proceso de cocción.
11. *PUNTERO*: Es la persona encargada dentro de la molienda de la determinación de los puntos de miel durante el proceso de cocción.
12. *RAMILLON*: Se utiliza para sacar la miel en el Punto de Miel de Panela y trasladarla a los peroles u ollas para batirla.
13. *SARRO*: Se llama así a la miel quemada en el punto de panela que queda adherida a los peroles de cocción cuando éstos no son lavados.

ANEXOS

ANEXO A

ESQUEMAS DE LAS INSTALACIONES DE UNA MOLIENDA

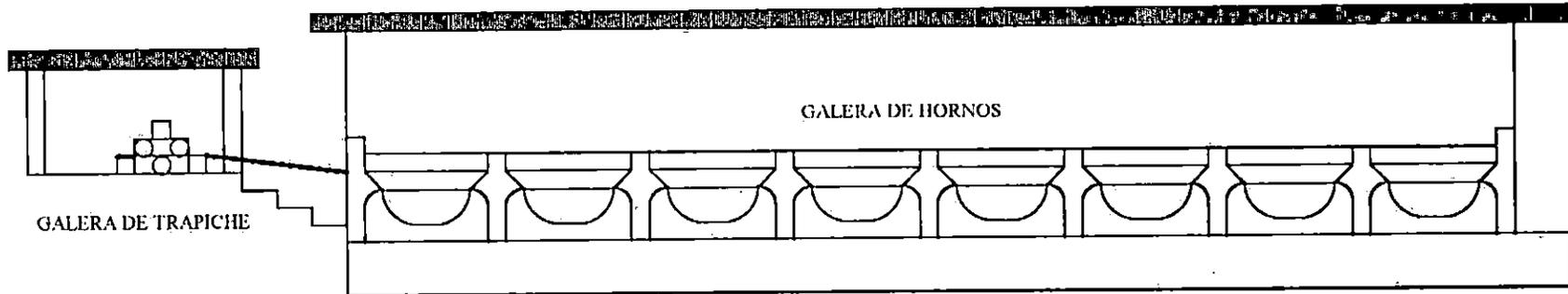


FIGURA A.1

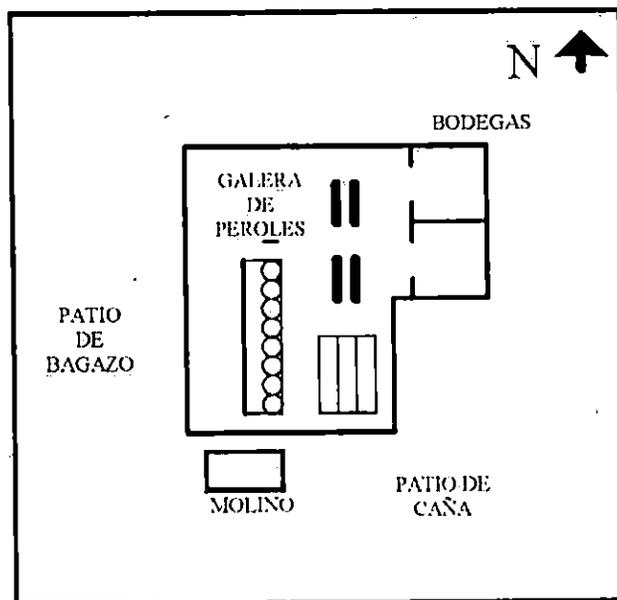


FIGURA A.2

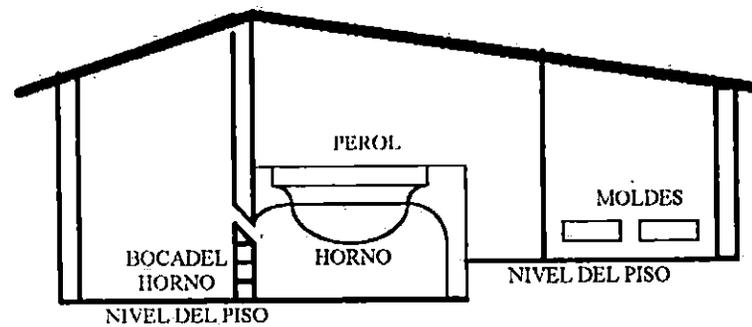


FIGURA A.3

ESQUEMA DE MOLIENDA	
LEVANTAMIENTO: RAUL AGUILAR JAVIER BOJORQUEZ IRMA MERINO	
SIN ESCALA	MARZO 1998

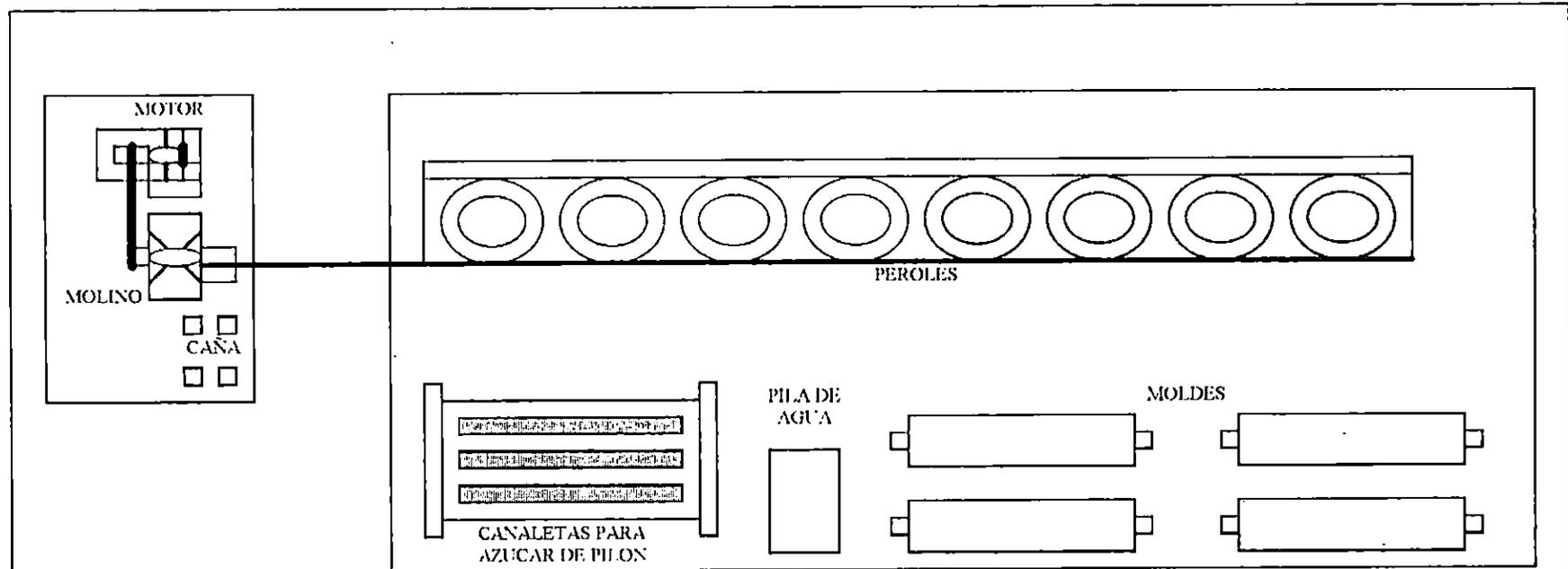
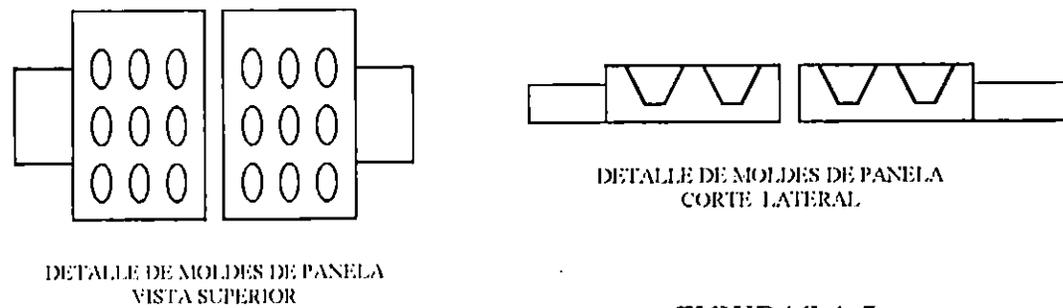


FIGURA A.4



FIGURAS A.5

PLANO DE MOLIENDA	
LEVANTAMIENTO: RAUL AGUILAR JAVIER BOORQUEZ IRMA MERINO	
SIN ESCALA	MARZO 1998

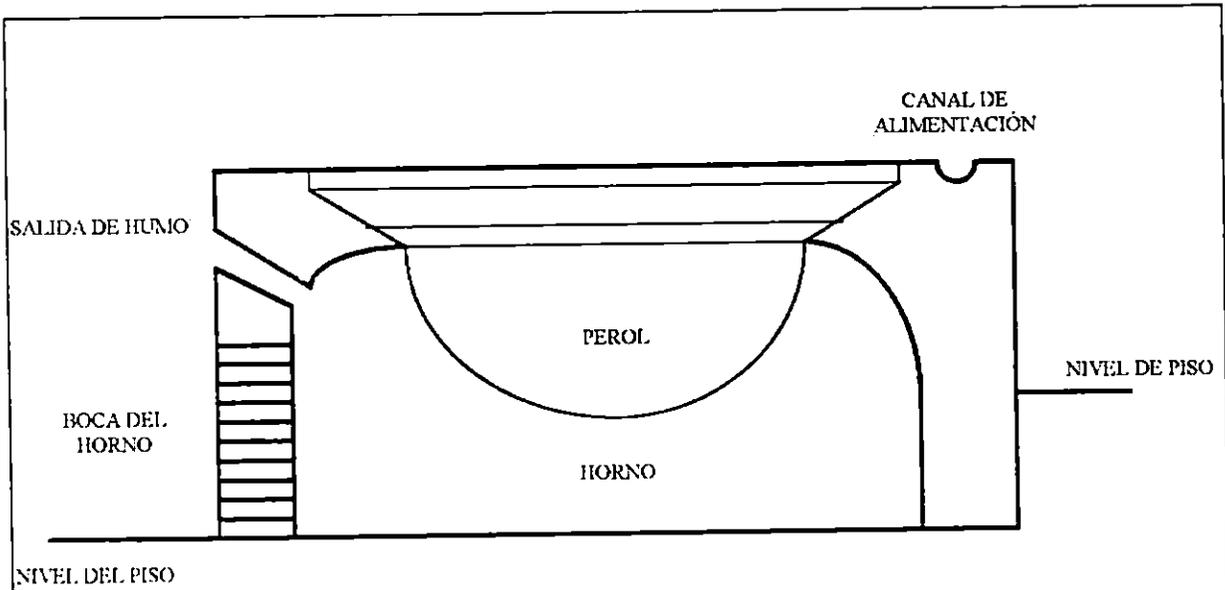


FIGURA A.6

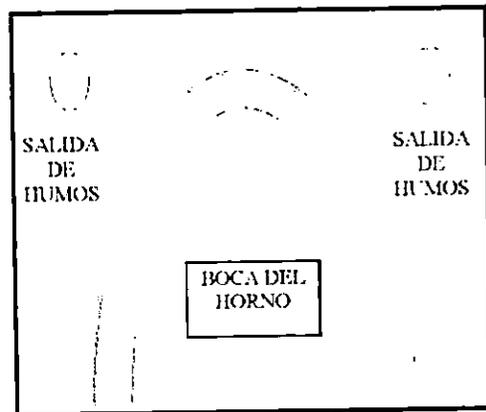


FIGURA A.7

ESQUEMA MOIENDA	
LEVANTAMIENTO RAUL AGUILAR JAVIER BOJORQUEZ IRMA MERINO	
SIN ESCALA	MARZO 1998



Fig. A.8 Molienda de la caña de azúcar



Fig. A.9 Cocción del jugo de caña de azúcar y batido de miel en el punto de panela



... ..



... ..



Fig. A.10 Traslado de la miel en el punto de panela del perol de cocción al perol de batido

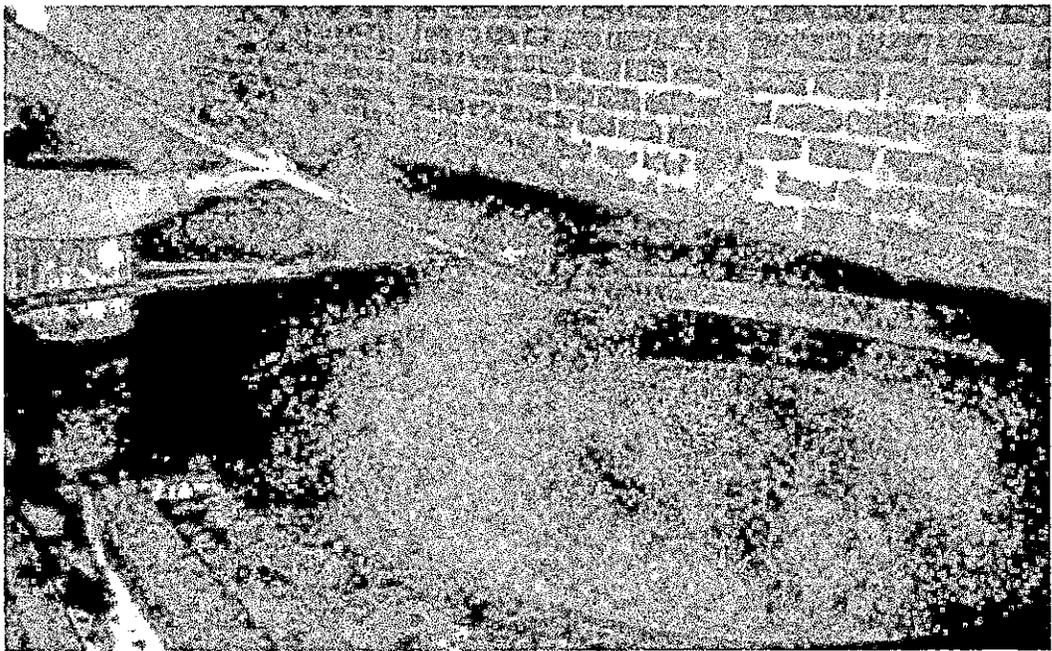


Fig. A.11 Lavado de peroles de cocción

1. The first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

2. The second part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

3. The third part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.



Fig. A.12 Limpieza de hornos

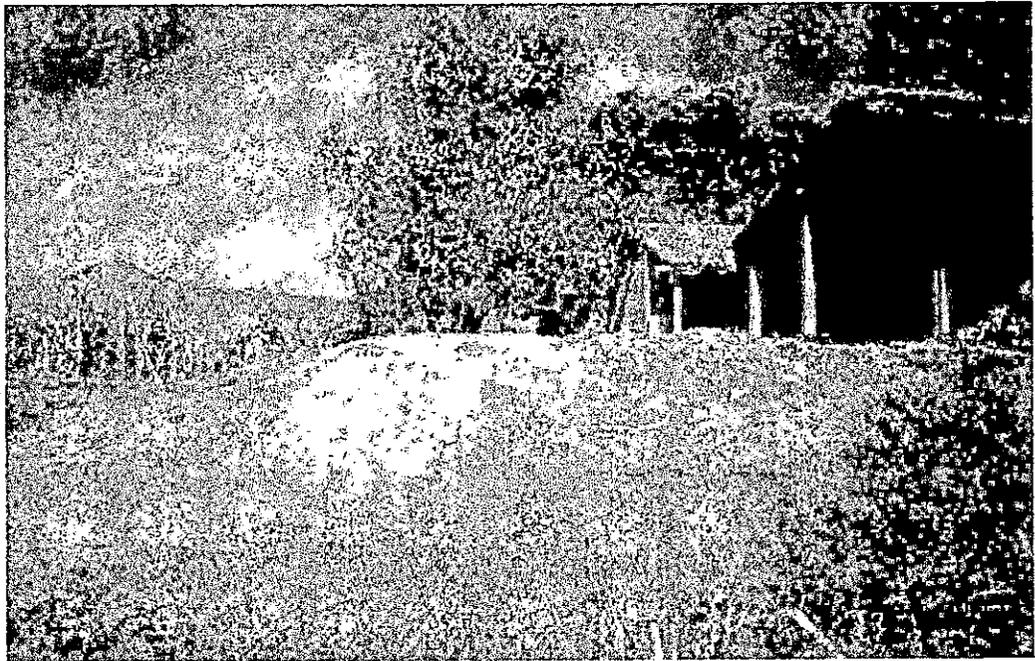


Fig. A.13 Acumulación de ceniza en los terrenos de la molienda

ANEXO B**TABLAS DE CORRECCION PARA °Brix Y °Pol**

**Cuadro B.1 Correcciones por temperatura para las lecturas de los °Brix
(normalizados a 20 °C)**

Temperatura (°C)	Porcentaje de azúcar observado													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
	<i>Restar del porcentaje observado</i>													
0	0.30	0.49	0.65	0.77	0.89	0.99	1.08	1.16	1.24	1.31	1.37	1.41	1.44	1.49
5	.36	.47	.56	.65	.73	.80	.86	.91	.97	1.01	1.05	1.08	1.10	1.14
10	.32	.38	.43	.48	.52	.57	.60	.64	.67	.70	.72	.74	.75	.77
11	.31	.35	.40	.44	.48	.51	.55	.58	.60	.63	.65	.66	.68	.70
12	.29	.32	.36	.40	.43	.46	.50	.52	.54	.56	.58	.59	.60	.62
13	.26	.29	.32	.35	.38	.41	.44	.46	.48	.49	.51	.52	.53	.55
14	.24	.26	.29	.31	.34	.36	.38	.40	.41	.42	.44	.45	.46	.47
15	.20	.22	.24	.26	.28	.30	.32	.33	.34	.36	.36	.37	.38	.39
16	.17	.18	.20	.22	.23	.25	.26	.27	.28	.28	.29	.30	.31	.32
17	.13	.14	.15	.16	.18	.19	.20	.20	.21	.21	.22	.23	.23	.24
18	.09	.10	.10	.11	.12	.13	.13	.14	.14	.14	.15	.15	.15	.16
19	.05	.05	.05	.06	.06	.06	.07	.07	.07	.07	.08	.08	.08	.08
	<i>Añadir al porcentaje observado</i>													
21	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09
22	.10	.10	.11	.12	.12	.13	.14	.14	.14	.15	.16	.16	.16	.16
23	.16	.16	.17	.17	.19	.20	.21	.21	.22	.23	.24	.24	.24	.24

Cuadro B.1 Correcciones por temperatura para las lecturas de los °Brix
(normalizados a 20 °C) (Cont.)

24	.21	.22	.23	.24	.26	.27	.28	.29	.30	.31	.32	.32	.32	.32	.32	.32	.32
25	.27	.28	.30	.31	.32	.34	.35	.36	.38	.38	.39	.39	.40	.40	.40	.39	.39
26	.33	.34	.36	.37	.40	.40	.42	.44	.46	.47	.47	.48	.48	.48	.48	.48	.48
27	.40	.41	.42	.44	.46	.48	.50	.52	.54	.54	.55	.56	.56	.56	.56	.56	.56
28	.46	.47	.49	.51	.54	.56	.58	.60	.61	.62	.63	.64	.64	.64	.64	.64	.64
29	.54	.55	.56	.59	.61	.63	.66	.68	.70	.70	.71	.72	.72	.72	.72	.72	.72
30	.61	.62	.63	.66	.68	.70	.73	.76	.78	.78	.79	.80	.80	.80	.80	.80	.81
35	.99	1.01	1.02	1.06	1.10	1.13	1.16	1.18	1.20	1.21	1.22	1.22	1.22	1.23	1.22	1.22	1.22
40	1.42	1.45	1.47	1.51	1.54	1.57	1.62	1.62	1.64	1.65	1.65	1.65	1.66	1.66	1.65	1.65	1.65
45	1.91	1.94	1.96	2.00	2.03	2.05	2.07	2.09	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.08
50	2.46	2.48	2.50	2.53	2.56	2.57	2.58	2.59	2.59	2.58	2.58	2.57	2.56	2.56	2.56	2.56	2.52
55	3.05	3.07	3.09	3.12	3.12	3.12	3.12	3.11	3.10	3.08	3.07	3.05	3.03	3.03	3.03	3.03	2.97
60	3.69	3.72	3.73	3.73	3.72	3.70	3.67	3.65	3.62	3.60	3.57	3.54	3.50	3.50	3.50	3.43	3.43
65	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.2	4.2	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9
70	5.1	5.1	5.1	5.0	5.0	5.0	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.4	4.4
75	6.1	6.0	6.0	5.9	5.8	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.4	5.3	5.2	5.2	5.0	5.0	5.0
80	7.1	7.0	7.0	6.9	6.8	6.7	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	5.9	5.9	5.6	5.6	5.6

^a Tomado de NBS — C440, 1942, pág. 624.

^b Wiss. Abh. der Kaiserlichen Normal-Eichungs-Kommission, 2 pág. 140, 1900.

Cuadro B.2 Correcciones para las lecturas de los °Pol (normalizados a 20 °C)

Grados Brix y porcentaje de sacarosa

		Lectura de Pol 2.0									
		3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0		
1	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
2	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50
3	0.78	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
4	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
5	1.29	1.28	1.28	1.27	1.27	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.25
6	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.51	1.50	1.50	1.50	1.50
7	1.81	1.80	1.79	1.79	1.77	1.77	1.76	1.75	1.75	1.75	1.75
8	2.06	2.05	2.04	2.04	2.03	2.02	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00
9	2.32	2.31	2.30	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25	2.25	2.25	2.25
10	2.58	2.57	2.56	2.55	2.54	2.52	2.51	2.50	2.50	2.50	2.50
11	2.83	2.82	2.81	2.80	2.79	2.78	2.77	2.75	2.75	2.75	2.75
12	3.08	3.06	3.05	3.04	3.03	3.02	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
13	3.33	3.32	3.30	3.29	3.28	3.27	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26
14	3.59	3.58	3.56	3.55	3.53	3.52	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51
15	3.84	3.83	3.82	3.81	3.78	3.77	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
16	4.09	4.07	4.06	4.04	4.02	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01	4.01
17	4.34	4.33	4.31	4.29	4.28	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
18	4.59	4.58	4.56	4.54	4.53	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51
19	4.84	4.82	4.81	4.80	4.78	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76
20	5.09	5.07	5.05	5.04	5.03	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01
21	5.34	5.32	5.30	5.28	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26	5.26
22	5.60	5.58	5.55	5.53	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51	5.51
23	5.85	5.83	5.81	5.79	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76
24	6.09	6.06	6.04	6.02	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
25	6.34	6.31	6.29	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26
26	6.59	6.57	6.54	6.51	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49
27	6.84	6.82	6.79	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76
28	7.07	7.07	7.04	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02	7.02
29	7.33	7.33	7.29	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27
30	7.57	7.54	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52	7.52
31	7.82	7.79	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76	7.76
32	8.07	8.04	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02
33	8.30	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27	8.27
34	8.55	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52
35	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77	8.77
36	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02	9.02
37	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27	9.27
38	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
39	9.76	9.76	9.76	9.76	9.76	9.76	9.76	9.76	9.76	9.76	9.76

NOTAS: Esta tabla ha sido calculada nuevamente por Meade en 1943, para un peso normal de 26.00 (véase la sección 19.11) y una temperatura de 20°C mediante la fórmula

$$\text{Pol del jugo} = \frac{\text{Lectura de Pol} \times 26.000}{99.718 \times \text{densidad relativa aparente a } 20/20^\circ\text{C}}$$

(Nótese que 99.718 × densidad relativa aparente a 20/20°C = densidad aparente a 20°C, columna 2, tabla 16).

Cuadro B.2 Correcciones para las lecturas de los °Pol (normalizados a 20 °C) (Cont.)

Grados Brx y porcentaje de sacarosa

Lectura de Pol	Grados Brx y porcentaje de sacarosa																			
	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
2	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
3	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72
4	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
5	1.25	1.24	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.20
6	1.50	1.49	1.49	1.48	1.48	1.47	1.47	1.46	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.44
7	1.75	1.74	1.74	1.73	1.73	1.72	1.72	1.71	1.70	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.68	1.68	1.68	1.68
8	2.00	1.98	1.98	1.97	1.97	1.96	1.96	1.95	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.94	1.92
9	2.24	2.24	2.24	2.22	2.22	2.21	2.21	2.20	2.19	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.18	2.16
10	2.49	2.48	2.48	2.47	2.46	2.45	2.45	2.44	2.43	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.41
11	2.74	2.73	2.72	2.71	2.70	2.68	2.67	2.67	2.67	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.64
12	2.99	2.98	2.97	2.96	2.95	2.93	2.92	2.92	2.91	2.90	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89
13	3.24	3.23	3.21	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.14	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13
14	3.50	3.48	3.46	3.45	3.43	3.42	3.41	3.40	3.38	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
15	3.74	3.72	3.71	3.69	3.68	3.66	3.65	3.64	3.62	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
16	3.99	3.97	3.96	3.94	3.93	3.91	3.88	3.88	3.86	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85
17	4.25	4.22	4.20	4.19	4.17	4.15	4.12	4.12	4.11	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09	4.09
18	4.49	4.47	4.45	4.44	4.42	4.40	4.37	4.37	4.35	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
19	4.74	4.72	4.70	4.68	4.66	4.64	4.61	4.61	4.59	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57	4.57
20	4.99	4.97	4.95	4.93	4.91	4.89	4.87	4.85	4.83	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
21	5.23	5.21	5.19	5.17	5.15	5.13	5.10	5.09	5.07	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05	5.05
22	5.48	5.44	5.42	5.40	5.38	5.35	5.34	5.34	5.31	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29	5.29
23	5.73	5.71	5.69	5.67	5.65	5.62	5.59	5.58	5.55	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53	5.53
24	5.98	5.96	5.94	5.92	5.90	5.87	5.84	5.82	5.80	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77	5.77
25	6.23	6.21	6.18	6.16	6.14	6.11	6.08	6.06	6.04	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01
26	6.49	6.46	6.43	6.41	6.39	6.36	6.33	6.30	6.28	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26	6.26
27	6.74	6.70	6.68	6.65	6.63	6.60	6.57	6.55	6.52	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
28	6.98	6.95	6.93	6.90	6.87	6.85	6.82	6.79	6.77	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74	6.74
29	7.23	7.20	7.17	7.15	7.12	7.09	7.06	7.03	7.01	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98	6.98
30	7.48	7.45	7.42	7.40	7.37	7.34	7.31	7.27	7.25	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22
31	7.73	7.70	7.66	7.64	7.61	7.58	7.55	7.51	7.49	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46
32	7.98	7.95	7.91	7.89	7.86	7.82	7.79	7.76	7.73	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70
33	8.23	8.20	8.16	8.13	8.10	8.07	8.03	8.00	7.97	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94
34	8.48	8.45	8.41	8.38	8.35	8.32	8.28	8.24	8.22	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18
35	8.73	8.69	8.66	8.63	8.59	8.56	8.52	8.48	8.46	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42	8.42
36	8.98	8.94	8.91	8.88	8.84	8.80	8.76	8.73	8.70	8.66	8.66	8.66	8.66	8.66	8.66	8.66	8.66	8.66	8.66	8.66
37	9.23	9.19	9.15	9.12	9.08	9.05	9.01	8.97	8.94	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90	8.90
38	9.48	9.44	9.40	9.37	9.33	9.29	9.26	9.21	9.18	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14
39	9.73	9.69	9.65	9.62	9.58	9.53	9.50	9.46	9.43	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38

El nuevo cálculo no introduce ningún cambio significativo en la primera mitad de la tabla que se publicó anteriormente para el anterior peso normal de 26.048 y 17.5°C. La otra mitad de la presente tabla difiere de la publicada anteriormente en 0.01 a 0.02% (Pol).
Para el método de utilización de esta tabla, véase la sección 28.6).

Cuadro B.2 Correcciones para las lecturas de los °Pol (normalizados a 20 °C) (Cont.)

Grados Brix y porcentaje de sacarosa

20.0	20.5	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	Lectura de Pol
9.63	9.61	9.59	9.57	9.55	9.53	9.51	9.49	9.47	40
9.87	9.85	9.83	9.81	9.79	9.77	9.75	9.73	9.71	41
10.11	10.09	10.07	10.05	10.03	10.01	9.99	9.97	9.95	42
10.35	10.33	10.31	10.29	10.27	10.25	10.23	10.21	10.19	43
10.59	10.57	10.55	10.53	10.50	10.48	10.47	10.45	10.42	44
10.83	10.81	10.79	10.77	10.74	10.72	10.70	10.68	10.65	45
11.07	11.05	11.03	11.01	10.98	10.96	10.94	10.91	10.89	46
11.31	11.29	11.27	11.25	11.21	11.20	11.18	11.15	11.13	47
11.55	11.53	11.51	11.49	11.46	11.44	11.42	11.39	11.37	48
11.79	11.77	11.75	11.73	11.70	11.68	11.66	11.63	11.61	49
12.04	12.01	11.99	11.96	11.94	11.91	11.89	11.86	11.84	50
12.28	12.25	12.23	12.20	12.18	12.15	12.13	12.10	12.08	51
12.52	12.49	12.47	12.44	12.42	12.39	12.36	12.34	12.31	52
12.76	12.73	12.71	12.68	12.66	12.63	12.60	12.58	12.54	53
12.99	12.97	12.95	12.92	12.90	12.87	12.84	12.82	12.78	54
13.23	13.21	13.18	13.16	13.13	13.10	13.07	13.05	13.02	55
13.48	13.45	13.42	13.40	13.37	13.34	13.31	13.29	13.25	56
13.72	13.69	13.66	13.64	13.71	13.58	13.55	13.53	13.49	57
13.96	13.93	13.90	13.88	13.85	13.82	13.78	13.76	13.73	58
14.20	14.17	14.14	14.12	14.09	14.06	14.02	13.99	13.97	59
14.45	14.42	14.39	14.36	14.33	14.30	14.27	14.24	14.21	60
14.69	14.66	14.63	14.60	14.57	14.54	14.51	14.48	14.44	61
14.93	14.90	14.87	14.84	14.81	14.78	14.75	14.71	14.68	62
15.17	15.14	15.11	15.08	15.05	15.01	14.98	14.95	14.92	63
15.41	15.38	15.35	15.32	15.29	15.26	15.22	15.19	15.16	64
15.65	15.62	15.59	15.56	15.53	15.50	15.46	15.43	15.40	65
15.89	15.86	15.83	15.80	15.76	15.73	15.70	15.66	15.63	66
16.13	16.10	16.07	16.04	16.00	15.97	15.94	15.90	15.87	67
16.37	16.34	16.31	16.28	16.24	16.21	16.18	16.14	16.11	68
16.61	16.58	16.55	16.52	16.48	16.45	16.41	16.37	16.35	69
16.86	16.82	16.79	16.75	16.72	16.68	16.65	16.61	16.58	70
17.10	17.06	17.02	16.99	16.95	16.91	16.88	16.85	16.81	71
17.34	17.30	17.26	17.23	17.19	17.15	17.12	17.09	17.05	72
17.58	17.54	17.50	17.47	17.43	17.39	17.36	17.33	17.29	73
17.82	17.78	17.74	17.71	17.67	17.63	17.60	17.57	17.52	74
18.06	18.02	17.98	17.95	17.91	17.87	17.83	17.80	17.76	75
18.30	18.26	18.22	18.19	18.15	18.11	18.07	18.04	18.00	76
18.54	18.50	18.46	18.43	18.39	18.35	18.31	18.28	18.25	77
18.78	18.74	18.70	18.67	18.63	18.59	18.55	18.51	18.47	78
19.02	18.98	18.94	18.91	18.87	18.83	18.79	18.75	18.71	79
19.26	19.22	19.18	19.14	19.10	19.06	19.02	18.98	18.94	80
	19.46	19.42	19.38	19.34	19.30	19.26	19.22	19.18	81
	19.70	19.66	19.62	19.58	19.54	19.50	19.46	19.42	82
		19.90	19.86	19.82	19.78	19.74	19.70	19.66	83
		20.14	20.10	20.06	20.01	19.97	19.94	19.90	84
			20.34	20.30	20.25	20.21	20.17	20.12	85

Grados Brix de 23 y 24

<i>Décimas de la lectura del polariscopio</i>	<i>Porcentaje de sacarosa (Pol)</i>	<i>Décimas de la lectura de polariscopio</i>	<i>Porcentaje de sacarosa (Pol)</i>
0.1	0.02	0.5	0.12
0.2	0.05	0.5	0.15
0.3	0.07	0.7	0.17
0.4	0.10	0.8	0.18
		0.9	0.22

Cuadro B.2 Correcciones para las lecturas de los °Pol (normalizados a 20 °C) (Cont.)

Lectura de Pol	Grados Brix y porcentaje de sacarosa							
	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0
40	9.95	9.91	9.87	9.83	9.79	9.75	9.71	9.67
41	10.19	10.16	10.11	10.07	10.03	9.99	9.95	9.91
42	10.44	10.41	10.36	10.32	10.27	10.23	10.19	10.15
43	10.69	10.66	10.61	10.57	10.52	10.48	10.43	10.39
44	10.94	10.90	10.86	10.82	10.77	10.73	10.68	10.64
45	11.19	11.15	11.10	11.06	11.01	10.97	10.92	10.88
46	11.44	11.40	11.35	11.30	11.26	11.21	11.17	11.12
47	11.68	11.64	11.60	11.55	11.50	11.45	11.41	11.36
48		11.90	11.85	11.80	11.75	11.70	11.65	11.60
49		12.14	12.09	12.04	11.99	11.94	11.89	11.84
50		12.39	12.34	12.29	12.24	12.19	12.14	12.09
51		12.64	12.58	12.53	12.48	12.43	12.38	12.33
52			12.83	12.78	12.72	12.68	12.63	12.57
53			13.08	13.02	12.97	12.92	12.87	12.81
54			13.33	13.27	13.21	13.16	13.12	13.05
55			13.57	13.51	13.45	13.40	13.35	13.29
56				13.76	13.70	13.65	13.59	13.53
57				14.00	13.94	13.89	13.83	13.77
58				14.25	14.19	14.13	14.08	14.02
59				14.49	14.43	14.37	14.32	14.26
60					14.68	14.62	14.56	14.50
61					14.92	14.86	14.80	14.74
62					15.17	15.11	15.05	14.98
63					15.41	15.35	15.29	15.22
64					15.66	15.60	15.54	15.47
65						15.84	15.78	15.71
66						16.08	16.02	15.95
67						16.32	16.26	16.19
68							16.50	16.44
69							16.74	16.68
70							16.99	16.92
71							17.23	17.16
72		17.39	17.35					
73		17.63	17.59					
74		17.87	17.83					
75		18.11	18.08					
76		18.35	18.32					
77								
78								
79								
80								
81								
82								
83								
84								
85								

Grados Brix de 11.5 a 22.5

Décimas de la lectura del polariscopio	Porcentaje de sacarosa (Pol)	Décimas de la lectura de polariscopio	Porcentaje de sacarosa (Pol)
0.1	0.02	0.5	0.12
0.2	0.05	0.6	0.15
0.3	0.07	0.7	0.17
0.4	0.10	0.8	0.19
		0.9	0.22

ANEXO C
RESULTADOS DEL ANALISIS ESTADISTICO APLICADO

C.1 DISEÑO ESTADISTICO EXPERIMENTAL

Para que un experimento se realice en una forma más eficiente, es necesario emplear métodos científicos en su planeación. El diseño estadístico de experimentos es el proceso de plantear un experimento para obtener datos apropiados, que puedan ser analizados mediante métodos estadísticos, con el objeto de producir conclusiones válidas y objetivas. Por otra parte, la metodología estadística es el único enfoque objetivo para analizar un problema que involucre datos sujetos a errores experimentales.

La herramienta estadística que se emplea en el presente trabajo es el análisis de varianza multifactorial.

C.1.1 ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS

En todos los problemas donde se plantea la necesidad de experimentación, el objetivo de ésta es comprobar la validez o falsedad de un planteamiento realizado; este planteamiento se conoce como *Hipótesis* (Freund y Walpole, 1990).

La prueba de una Hipótesis estadística es la aplicación de un explícito conjunto de reglas para decidir si se acepta la Hipótesis nula (H_0) o se rechaza en favor de la Hipótesis alternativa (H_1).

C.1.2 ANALISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza se utiliza en problemas en los cuales hay que decidir si las diferencias observadas entre más de dos medias de una muestra pueden atribuirse al azar o si hay diferencias reales entre las medias de las poblaciones que se muestrean (Freund y Walpole, 1990).

El análisis de varianza utilizado en esta investigación es el análisis de varianza en dos sentidos.

Análisis de varianza en dos sentidos

Las dos Hipótesis nulas que se desea probar son que todos los efectos de los tratamientos (H_0) son iguales a cero y que los efectos de los bloques (H_0') son iguales a cero, es decir (Freund y Walpole, 1990):

$$\begin{aligned} H_0: & \quad \alpha_i = 0 & \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, k \\ H_0': & \quad \beta_j = 0 & \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Las alternativas para H_0 y H_0' son respectivamente que los efectos de los tratamientos no son iguales a cero, y que los efectos de los bloques no son iguales a cero.

$$\begin{aligned} H_1: & \quad \alpha_i \neq 0 & \quad \text{cuando menos para un valor de } i \\ H_1': & \quad \beta_j \neq 0 & \quad \text{cuando menos para un valor de } j \end{aligned}$$

El análisis de varianza en dos sentidos está basado en el siguiente teorema (Freund y Walpole, 1990):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = n \cdot \sum_{i=1}^k (\bar{x}_{i.} - \bar{x}_{..})^2 + k \cdot \sum_{j=1}^n (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2 \\ + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_{i.} - \bar{x}_{.j} + \bar{x}_{..})^2 \end{aligned}$$

Donde: $\bar{x}_{i.}$ es la media de las observaciones del i -ésimo tratamiento.
 $\bar{x}_{.j}$ es la media de las observaciones del j -ésimo bloque y
 $\bar{x}_{..}$ es la media de todas las nk observaciones

La expresión del lado izquierdo de la identidad del teorema 1 es la suma de cuadrados total (SST); una medida de la variación total de los datos. El primer término del lado derecho es la suma de cuadrados entre tratamientos [SS(Tr)]; mide la variación debida al azar cuando la Hipótesis nula es

verdadera, pero también refleja la variación entre las medidas de la población cuando la Hipótesis nula es falsa. El segundo término de la derecha es la suma de cuadrados de bloque (SSB) y el tercer término de la derecha es la suma de cuadrados del error (SSE); mide la variación debida al azar, es decir, la variación dentro de las muestras. Por lo tanto se tiene :

$$SST = SS(\text{Tr}) + SSB + SSE$$

En cada caso se aplican las siguientes fórmulas :

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{1}{kn} \cdot T_{..}^2$$

$$SS(\text{Tr}) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k T_{i.}^2 - \frac{1}{kn} \cdot T_{..}^2$$

$$SSB = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^n T_{.j}^2 - \frac{1}{kn} \cdot T_{..}^2$$

Donde: $T_{i.}$ es el total de los valores obtenidos del i-ésimo tratamiento,
 $T_{.j}$ es el total de los valores obtenidos del j-ésimo bloque y
 $T_{..}$ es el gran total de las nk observaciones

Después, el valor de SSE puede obtenerse restando SS(Tr) y SSB de SST.

Puede demostrarse que si H_0 es verdadera, entonces: $\frac{SS(\text{Tr})}{\sigma^2}$ y $\frac{SSE}{\sigma^2}$,

son valores de variables aleatorias independientes que tienen distribuciones ji cuadrada con $(k-1)$ y $(n-1)(k-1)$ grados de libertad. Si H_0 no es verdadera, entonces SS(Tr) también reflejará la variación entre los términos α_i y se rechaza H_0 si $F_{\text{Tr}} \geq F_{\alpha, (k-1), (n-1)(k-1)}$

$$\text{Donde : } F_{\text{Tr}} = \frac{\frac{SS(\text{Tr})}{(k-1)\sigma^2}}{\frac{SSE}{(n-1)(k-1)\sigma^2}} = \frac{MS(\text{Tr})}{MSE}$$

- MS (Tr) se denomina cuadrado medio de los tratamientos y viene dado por $\frac{SS(\text{Tr})}{k-1}$ y

- MSE se denomina cuadrado medio del error y viene dado por $\frac{SSE}{(n-1)(k-1)}$

(Los cuadrados medios son las sumas respectivas de cuadrados divididas entre sus grados de libertad)

- $F_{\text{Tr}} \geq F_{\alpha, (k-1), (n-1)(k-1)}$ es un valor obtenido de tablas que están basados en los grados de libertad y el nivel de significancia (α).

De la misma manera, si H_0' es verdadera, entonces $\frac{SSB}{\sigma^2}$ y $\frac{SSE}{\sigma^2}$ son valores de variables aleatorias independientes que tienen distribuciones ji cuadrada con $(n-1)$ y $(n-1)(k-1)$ grados de libertad. Si H_0' no es verdadera, entonces SSB reflejará la variación entre los términos de β_j y se rechaza H_0' si $F_B \geq F_{\alpha, (n-1), (n-1)(k-1)}$.

donde :

$$F_{\text{Tr}} = \frac{\frac{SSB}{(n-1)\sigma^2}}{\frac{SSE}{(n-1)(k-1)\sigma^2}} = \frac{MSB}{MSE}$$

- MSB se denomina cuadrado medio de bloque y viene dado por :

$$\frac{SSB}{n-1}$$

Este tipo de análisis recibe el nombre de *Análisis de varianza en dos sentidos*.

C.2 ANALISIS DE VARIANZA EN DOS SENTIDOS PARA DATOS DEL MONITOREO DE LAS MOLIENDAS

Cuadro C.1 Tiempo de llenado de peroles

Análisis de Varianza para Tiempo de Llenado.					
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad.	Cuadrado Medio	F Calculado	F Tablas
Efectos					
Molienda	488.00000	2	244.00000	22.593	5.79
Lote	277.00000	3	92.33333	8.549	5.41
Perol	3.00000	1	3.00000	0.278	6.61
Residual	54.00000	5	10.80000		
Total (corregido)	822.00000	11			

Cuadro C.1a Análisis de rango múltiple para efecto molienda

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M1.	4	48.00000	X	M1 - M2	*
M2.	4	61.00000	X	M1 - M3	*
M3.	4	62.00000	X	M2 - M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.2 Tiempo de punto de miel de mesa

Análisis de Varianza para Tiempo de Punto de Miel de Mesa					
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tablas
Efecto					
Molienda	100.16667	2	50.08333	1.946	5.79
Lote	93.50000	3	31.16667	1.211	5.41
Perol	5.33333	1	5.33333	0.207	6.61
Residual	128.66667	5	25.73333		
Total (corregido)	327.66667	11			

Cuadro C.3 Tiempo de punto de miel de azúcar

Análisis de Varianza para Tiempo de Miel de Azúcar					
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	28.66667	2	14.33333	2.145	5.79
Lote	2.75000	3	0.91667	0.137	5.41
Perol	2.08333	1	2.08333	0.312	6.61
Residual	33.41667	5	6.68333		
Total (corregido)	66.91667	11			

Cuadro C.4 Tiempo de punto de miel de batido

Análisis de Varianza para Tiempo de Miel de Batido					
Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	28.16667	2	14.08333	18.778	5.79
Lote	6.25000	3	2.08333	2.778	5.41
Perol	0.75000	1	0.75000	1.000	6.61
Residual	3.75000	5	0.75000		
Total (corregido)	38.91667	11			

Cuadro C.4a Análisis de rango múltiple para tiempo de miel de batido

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M1.	4	2.50000	X	M1 - M2	*
M3.	4	4.50000	X	M1 - M3	*
M2.	4	6.25000	X	M2 - M3	*

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.5 Tiempo de punto de miel de panela

Análisis de Varianza para Tiempo de Miel de Panela					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efectos					
Molienda	18.50000	2	9.25000	10.472	5.79
Lote	1.25000	3	0.41667	0.472	5.41
Perol	0.08333	1	0.08333	0.094	6.61
Residual	4.41667	5	0.88333		
Total (corregido)	24.25000	11			

Cuadro C.5a Análisis de rango múltiple para miel de panela

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M1.	4	1.50000	X	M1 - M2	*
M3.	4	4.00000	X	M1 - M3	*
M2.	4	4.25000	X	M2 - M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.6 Temperatura de punto de miel de mesa

Análisis de Varianza para Temperatura de Miel de Mesa					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Molienda	2.66667	2	1.33333	1.333	5.79
Lote	21.00000	3	7.00000	7.000	5.41
Perol	0.00000	1	0.00000	0.000	6.61
Residual	5.00000	5	1.00000		
Total (corregido)	28.66667	11			

Cuadro C.6a Análisis de rango múltiple para temperatura de miel de mesa

Método : 95% Tukey HSD								
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos			Contraste		
L5	2	35.9570	X			L1 - L2		
L3	2	36.6030	X	X		L1 - L3	*	
L6	2	37.5470		X	X	L1 - L4		
L4	2	37.6480		X	X	L1 - L5	*	
L1	2	38.0540			X	X	L1 - L6	
L2	2	38.9835				X	L2 - L3	*
							L2 - L4	*

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.7 Temperatura de punto de miel de azúcar

Análisis de Varianza para Temperatura de Miel de Azúcar					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	12.66667	2	6.33333	5.846	5.79
Lote	0.75000	3	0.25000	0.231	5.41
Perol	0.08333	1	0.08333	0.077	6.61
Residual	5.41667	5	1.08333		
Total (corregido)	18.91667	11			

Cuadro C.7a Análisis de rango múltiple para temperatura de miel de azúcar

Método : 95% Tukey HSD						
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos		Contraste	
M3.	4	111.25000	X		M1-M2	
M1.	4	112.25000	X	X	M1-M3	
M2.	4	113.75000	X		M2-M3	*

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.8 Temperatura de punto de miel de batido

Análisis de Varianza para Temperatura de Miel de Batido					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	22.16667	2	11.08333	11.875	5.79
Lote	1.50000	3	0.50000	0.536	5.41
Perol	1.33333	1	1.33333	1.429	6.61
Residual	4.66667	5	0.93333		
Total (corregido)	29.66667	11			

Cuadro C.8a Análisis de rango múltiple para temperatura de miel de batido

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M1.	4	114.00000	X	M1-M2	*
M3.	4	116.25000	X	M1-M3	*
M2.	4	117.25000	X	M2-M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.9 Temperatura de punto de miel de panela

Análisis de Varianza para Temperatura de Miel de Panela					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	42.00000	2	21.00000	15.556	5.79
Lote	4.75000	3	1.58333	1.173	5.41
Perol	0.75000	1	0.75000	0.556	6.61
Residual	6.75000	5	1.35000		
Total (corregido)	54.25000	11			

Cuadro C.9a Análisis de rango múltiple para temperatura de miel de panela

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M1.	4	115.25000	X	M1-M2	*
M3.	4	118.25000	X	M1-M3	*
M2.	4	119.75000	X	M2-M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.10 °Pol de punto de miel de mesa

Análisis de Varianza para Pol de Miel de Mesa					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	7.32994	2	3.66497	7.892	5.79
Lote	5.11962	3	1.70654	3.675	5.41
Perol	1.86599	1	1.86599	4.018	6.61
Residual	2.32188	5	0.46438		
Total (corregido)	16.63742	11			

Cuadro C.10a Análisis de rango múltiple para °Pol de miel de mesa

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M2.	4	29.70375	X	M1-M2	*
M3.	4	30.23225	X	M1-M3	*
M1.	4	31.56150	X	M2-M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.11 °Pol de punto de miel de azúcar

Análisis de Varianza para °Pol de Miel de Azúcar					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	27.42601	2	13.71301	48.965	5.79
Lote	0.58326	3	0.19442	0.694	5.41
Perol	0.54273	1	0.54273	1.938	6.61
Residual	1.40028	5	0.28006		
Total (corregido)	29.95227	11			

Cuadro C.11a Análisis de rango múltiple para °Pol de miel de azúcar

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M3.	4	33.13875	X	M1 - M2	*
M2.	4	34.42675	X	M1 - M3	*
M1.	4	36.78950	X	M2 - M3	*

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.12 °Pol de punto de miel de batido

Análisis de Varianza para Pol de Miel de Batido					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	12.52539	2	6.26269	21.372	5.79
Lote	1.77448	3	0.59149	2.019	5.41
Perol	0.08892	1	0.08892	0.303	6.61
Residual	1.46513	5	0.29303		
Total (corregido)	15.85392	11			

Cuadro C.12a Análisis de rango múltiple para °Pol de miel de batido

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M3.	4	35.12700	X	M1-M2	*
M2.	4	36.06325	X	M1-M3	*
M1.	4	37.60500	X	M2-M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.13 °Pol de punto de miel de panela

Análisis de Varianza para Pol de Miel de Panela					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	6.88799	2	3.44399	31.740	5.79
Lote	4.56063	3	1.52021	14.010	5.41
Perol	0.27755	1	0.27755	2.558	6.61
Residual	0.54253	5	0.10851		
Total (corregido)	12.26869	11			

Cuadro C.13a Análisis de rango múltiple para °Pol de miel de panela

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M3.	4	36.75200	X	M1 - M2	*
M2.	4	37.14350	X	M1 - M3	*
M1.	4	38.51875	X	M2 - M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.14 pH de punto de miel de mesa

Análisis de Varianza para pH de Miel de Mesa					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	0.41932	2	0.20966	45.234	5.79
Lote	0.03533	3	0.01178	2.540	5.41
Perol	0.00068	1	0.00068	0.146	6.61
Residual	0.02318	5	0.00464		
Total (corregido)	0.47849	11			

Cuadro C.14a Análisis de rango múltiple para pH de miel de mesa

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos		Contraste
M3.	4	5.63000	X	M1 - M2	*
M2.	4	5.64750	X	M1 - M3	*
M1.	4	6.03500		X M2 - M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.15 pH de punto de miel de azúcar

Análisis de Varianza para pH de Miel de Azúcar					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Cuadrado	F Tabla
Efecto					
Molienda	0.33135	2	0.16568	50.925	5.79
Lote	0.03015	3	0.01005	3.089	5.41
Perol	0.00013	1	0.00013	0.041	6.61
Residual	0.01627	5	0.00325		
Total (corregido)	0.37790	11			

Cuadro C.15a Análisis de rango múltiple para pH de miel de azúcar

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M2.	4	5.74750	X	M1 - M2	*
M3.	4	5.74750	X	M1 - M3	*
M1.	4	6.10000	X	M2 - M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.16 pH de punto de miel de batido

Análisis de Varianza para pH de Miel de Batido					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	0.24812	2	0.12406	34.702	5.79
Lote	0.03503	3	0.01168	3.266	5.41
Perol	0.00008	1	0.00008	0.021	6.61
Residual	0.01788	5	0.00358		
Total (corregido)	0.30109	11			

Cuadro C.16a Análisis de rango múltiple para pH de miel de batido

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M2.	4	5.84000	X	M1 - M2	*
M3.	4	5.84500	X	M1 - M3	*
1.	4	6.14750	X	M2 - M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.17 pH de punto de miel de panela

Análisis de Varianza para pH de Miel de Panela					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	0.21087	2	0.10543	32.408	5.79
Lote	0.02900	3	0.00967	2.971	5.41
Perol	0.00083	1	0.00083	0.256	6.61
Residual	0.01627	5	0.00325		
Total (corregido)	0.25697	11			

Cuadro C.17a Análisis de rango múltiple para pH de miel de panela

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos	Contraste	
M3.	4	5.90000	X	M1 - M2	*
M2.	4	5.93000	X	M1 - M3	*
M1.	4	6.19500	X	M2 - M3	

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.18 °Brix de punto de miel de mesa

Análisis de Varianza para Brix de Miel de Mesa					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	18.0979	2	9.04894	5.222	5.79
Lote	6.01172	3	2.00391	1.157	5.41
Perol	5.37876	1	5.37876	3.104	6.61
Residual	8.66346	5	1.73269		
Total (corregido)	38.15183	11			

Cuadro C.19 °Brix de punto de miel de azúcar

Análisis de Varianza para Brix de Miel de Azúcar					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	9.53312	2	4.76656	1.324	5.79
Lote	7.34414	3	2.44805	0.680	5.41
Perol	0.00039	1	0.00039	0.000	6.61
Residual	17.99727	5	3.59945		
Total (corregido)		11			

Cuadro C.20 °Brix de punto de miel de batido

Análisis de Varianza para Brix de Miel de Batido					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	3.46779	2	1.73389	0.620	5.79
Lote	7.32538	3	2.44179	0.874	5.41
Perol	0.11722	1	0.11722	0.042	6.61
Residual	13.97557	5	2.79511		
Total (corregido)	24.88596	11			

Cuadro C.21 °Brix de punto de miel de panela

Análisis de Varianza para Brix de Miel de Panela					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	7.17211	2	3.58605	4.487	5.79
Lote	2.56344	3	0.85448	1.069	5.41
Perol	0.30147	1	0.30147	0.377	6.61
Residual	3.99636	5	0.79927		
Total (corregido)	14.03338	11			

Cuadro C.22 Color de punto de miel de mesa

Análisis de Varianza para Color de Miel de Mesa. Datos					
Tipo III Suma de Cuadrados					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	76147.167	2	38073.583	13.360	5.79
Lote	37176.500	3	12392.167	4.349	5.41
Perol	56.333	1	56.333	0.020	6.61
Residual	14248.667	5	2849.7333		
Total (corregido)	127628.67	11			

Cuadro C.22a Análisis de rango múltiple para color de miel de mesa

Método : 95% Tukey HSD					
Nivel	Count	LS Mean	Grupos homogéneos		Contraste
M1.	4	1169.7500	X	M1 - M2	*
M3.	4	1206.2500	X	M1 - M3	
M2.	4	1354.0000	X	M2 - M3	*

El (*) denota diferencia estadística significativa.

Cuadro C.23 Color de miel de azúcar

Análisis de Varianza para Color de Miel de Azúcar					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	59938.667	2	29969.333	4.215	5.79
Lote	1581.000	3	527.000	0.074	5.41
Perol	65.333	1	65.333	0.009	6.61
Residual	35553.667	5	7110.333		
Total (corregido)	97138.667	11			

Cuadro C.24 Color de punto de miel de batido

Análisis de Varianza para Color de Miel de Batido					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	17589.500	2	8794.7500	3.469	5.79
Lote	6665.250	3	2221.7500	0.876	5.41
Perol	310.083	1	310.0833	0.122	6.61
Residual	12677.417	5	2535.4833		
Total (corregido)	37242.250	11			

Cuadro C.25 Color de punto de miel de panela

Análisis de Varianza para Color de Miel de Panela					
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	F Tabla
Efecto					
Molienda	55470.50	2	27735.250	1.197	5.79
Lote	101163.50	3	33721.167	1.455	5.41
Perol	4033.33	1	4033.333	0.174	6.61
Residual	115841.67	5	23168.333		
Total (corregido)	276509.00	11			

C.3 CUADRO RESUMEN DE ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS DE PROCESO DE MONITOREO

Cuadro C.26 Resumen de análisis estadístico de resultados de proceso de monitoreo

	Rango / Promedio	Diferencia en Efecto			Observaciones
		MOLIENDA	LOTE	PEROL	
VARIABLE : TIEMPO					
Llenado de peroles	40 min - 68 min.	Si	Si	No	La diferencia se presenta en la molienda Chacón en el Lote 1
Punto de Miel de mesa	337.17 min	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Azúcar	18.92 min	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Batido	2 min - 8 min	Si	No	No	Las tres molindas son diferentes estadísticamente.
Punto de Miel de Panela	1 min - 5 min	Si	No	No	La diferencia se presenta en la molienda Chacón.
VARIABLE : TEMPERATURA					
Punto de Miel de mesa	100.33 °C	No	Si	No	El lote 1 de la molienda González y ambos lotes de la molienda Chacón. presentan diferencias.
Punto de Miel de Azúcar	110°C - 114°C	Si	No	No	La diferencia se da entre la molienda González y la molienda Valles.
Punto de Miel de Batido	113°C - 118°C	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
Punto de Miel de Panela	114°C - 121°C	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
VARIABLE : PH					
Punto de Miel de mesa	5.56 - 6.15	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
Punto de Miel de Azúcar	5.70 - 6.22	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
Punto de Miel de Batido	5.80 - 6.28	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
Punto de Miel de Panela	5.88 - 6.31	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.

Cuadro C.26 Resumen de análisis estadístico de resultados de proceso de monitoreo (Continuación)

	Rango / Promedio	Diferencia en Efecto			Observaciones
		MOLIENDA	LOTE	PEROL	
VARIABLE : °BRIX					
Punto de Miel de mesa	73.75	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Azúcar	86.36	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Batido	89.26	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Panela	92.18	Si	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
VARIABLE : POL					
Punto de Miel de mesa	28.59 - 32.46	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
Punto de Miel de Azúcar	32.49 - 37.26	Si	No	No	Las tres moliendas son diferentes estadísticamente.
Punto de Miel de Batido	34.43 - 38.19	Si	No	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
Punto de Miel de Panela	35.77 - 39.00	Si	Si	No	La diferencia la presenta la molienda Chacón.
VARIABLE : COLOR (UMAS)					
Punto de Miel de mesa	1226.25	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Azúcar	1610	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Batido	1758	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.
Punto de Miel de Panela	2216.5	No	No	No	No hay diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro C.27 Resultados de los análisis de aceptación o rechazo de las Hipótesis nulas

Etapa del proceso	Ho	Ho'
Variable: Tiempo		
Llenado de peroles	Se rechaza	Se rechaza
Punto de Miel de Mesa	Se acepta	Se acepta
Punto de Miel de Azúcar	Se acepta	Se acepta
Punto de Miel de Batido	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Panela	Se rechaza	Se acepta
Variable: Temperatura		
Punto de Miel de Mesa	Se acepta	Se rechaza
Punto de Miel de Azúcar	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Batido	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Panela	Se acepta	Se acepta
Variable : pH		
Punto de Miel de Mesa	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Azúcar	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Batido	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Panela	Se rechaza	Se acepta
Variable : °Brix		
Punto de Miel de Mesa	Se acepta	Se acepta
Punto de Miel de Azúcar	Se acepta	Se acepta
Punto de Miel de Batido	Se acepta	Se acepta
Punto de Miel de Panela	Se acepta	Se acepta
Variable : °Pol		
Punto de Miel de Mesa	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Azúcar	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Batido	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Panela	Se rechaza	Se rechaza
Variable Color		
Punto de Miel de Mesa	Se rechaza	Se acepta
Punto de Miel de Azúcar	Se acepta	Se acepta
Punto de Miel de Batido	Se acepta	Se acepta
Punto de Miel de Panela	Se acepta	Se acepta

C.5 TABLAS DE VALORES DE DISTRIBUCION F

Cuadro C.27 Valores de distribución F

ν_1	$f_{0.05, \nu_1, \nu_2}$																∞		
	Grados de libertad del numerador (ν_1)																		
ν_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.79	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Nota: $f_{0.05, \nu_1, \nu_2} = 1/f_{0.95, \nu_2, \nu_1}$

ANEXO D

**EJEMPLOS DE CALCULO PARA BALANCE DE MATERIALES EN
CADA MOLIENDA.**

A continuación, se presentan los ejemplos de cálculo de los balances de materiales efectuados para cada molienda. Estos ejemplos están referidos a la molienda Chacón, para la otras dos molindas (Molienda González y Valles), los cálculos efectuados utilizan los mismos procedimientos y las mismas expresiones.

D.1 VOLUMEN DEL PEROL DE COCCION.

Si se considera que la forma geométrica del perol es totalmente esférica, entonces puede emplearse para el cálculo de su volumen la siguiente expresión :

$$V_{\text{Perol}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) \quad [=] \text{ m}^3$$

Sabiendo que :

$$\text{Diámetro} = 147.8 \text{ cm (1.478 m)}$$

$$\text{Radio} = 0.739 \text{ m}$$

Calculando el volumen, se tiene que :

$$V_{\text{perol}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{4}{3} \pi (0.739)^3 \right)$$

$$V_{\text{perol}} = 0.8453 \text{ m}^3$$

D.2 CALCULO DE CAÑA MOLIDA POR PEROL

La expresión que se utilizará será :

$$C_{\text{molida}} = \frac{PM_{\text{caña}}}{V_{\text{jugo}}} (V_{\text{perol}})$$

- Muestreo en el molino :

$$\text{Muestra de caña a moler} = 2.538 \text{ Kg}$$

$$\text{Bagazo obtenido} = 1.1098 \text{ Kg}$$

$$\text{Volumen de jugo obtenido} = 0.00183 \text{ m}^3$$

Realizando el cálculo de caña molida por perol se tiene :

$$C_{\text{molida}} = 0.8453 \text{ m}^3 \left(\frac{2.538 \text{ kg caña}}{0.00183 \text{ m}^3} \right)$$

$$C_{\text{molida}} = 1172.33 \text{ Kg de caña/perol}$$

D.3 CALCULO DEL BAGAZO OBTENIDO POR PEROL

Para el cálculo del bagazo por perol, se utilizara la siguiente expresión :

$$B_{\text{perol}} = C_{\text{molida}} \cdot \left(\frac{P_{\text{bagazo}}}{PM_{\text{caña}}} \right)$$

de donde se obtiene el siguiente resultado :

$$B_{\text{perol}} = 1172.52 \text{ kg caña} \left(\frac{1.1098 \text{ kg bagazo}}{2.5387 \text{ kg caña}} \right)$$

$$B_{\text{perol}} = 512.57 \text{ Kg bagazo/perol}$$

D.4 CALCULO DE BAGAZO QUEMADO POR PEROL

- Muestreo de pelotas de bagazo :

PELOTAS	PESO (Kg)
1	4.54
2	5.0
3	5.23
4	5.45
5	5.45
6	5.0
7	4.54
8	5.45
9	5.23
PROMEDIO	5.09

- Pelotas alimentadas por perol : 60 pelotas

- Consumo de bagazo en cada horno :

$$60 \frac{\text{pelotas}}{\text{horno}} \times 5.09 \frac{\text{Kg}}{\text{pelota}} = 305.4 \frac{\text{Kg de bagazo}}{\text{horno}}$$

D.5 CALCULO DE NUMERO DE LAJAS DE DULCE DE PANELA POR PEROL

PEROL	N° DE LAJAS
1	230
2	242
3	237
4	250
5	235
6	251
7	229
8	243
PROMEDIO	240

D.6 CALCULO DE PESO PROMEDIO DE LAJAS DE DULCE DE PANELA

LAJAS	PESO DE LAJA (Kg)
1	0.4707
2	0.4770
3	0.4815
4	0.4600
5	0.4830
6	0.4620
7	0.4747
8	0.4628
9	0.4728
10	0.4653
PROMEDIO	0.4709

D.7 RESIDUOS DE PANELA POR MOLDE

MOLDE	PESO DE RESIDUOS (Kg)
1	1.35
2	1.23
3	0.96
4	1.83
PROMEDIO	1.34

Observación : se utilizan dos moldes por perol, por lo que el peso aproximado de residuos de panela por perol es 2.68 Kg.

D.8 PESO DE CENIZA DEL BAGAZO QUEMADO EN LOS HORNOS

HORNO	PESO DE CENIZA (Kg)
1	30.68
2	28.41
3	30.91
4	32.5
Prom.	30.63

D.9 BALANCE DE MATERIA TOTAL POR DIA

- Caña molida/día :

$$1172.52 \frac{\text{kg caña}}{\text{perol}} \left(\frac{8 \text{ peroles}}{\text{dia}} \right) = 9380.16 \frac{\text{kg caña}}{\text{dia}}$$

- Bagazo/día:

$$512.57 \frac{\text{kg bagazo}}{\text{perol}} \left(\frac{8 \text{ peroles}}{\text{dia}} \right) = 4100.56 \frac{\text{kg bagazo}}{\text{dia}}$$

- Pelotas de bagazo alimentadas/día:

$$60 \frac{\text{pelotas}}{\text{perol}} \left(\frac{8 \text{ peroles}}{\text{dia}} \right) = 480 \frac{\text{pelotas}}{\text{dia}}$$

- Bagazo consumido en hornos por día:

$$305.4 \frac{\text{kg bagazo}}{\text{horno}} \left(\frac{8 \text{ hornos}}{\text{dia}} \right) = 2443.20 \frac{\text{kg bagazo}}{\text{dia}}$$

- Bagazo en exceso/día:

$$4100.56 - 2443.20 = 1657.36 \text{ kg de bagazo/día}$$

- Numero de lajas de panela /día:

$$228 \frac{\text{lajas}}{\text{perol}} \left(\frac{8 \text{ peroles}}{\text{dia}} \right) = 1824 \frac{\text{lajas}}{\text{dia}}$$

- Peso total de panela /día:

$$1920 \frac{\text{lajas}}{\text{dia}} \left(\frac{0.47098 \text{ Kg}}{\text{Laja}} \right) = 904.28 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

- Residuos de panela / día:

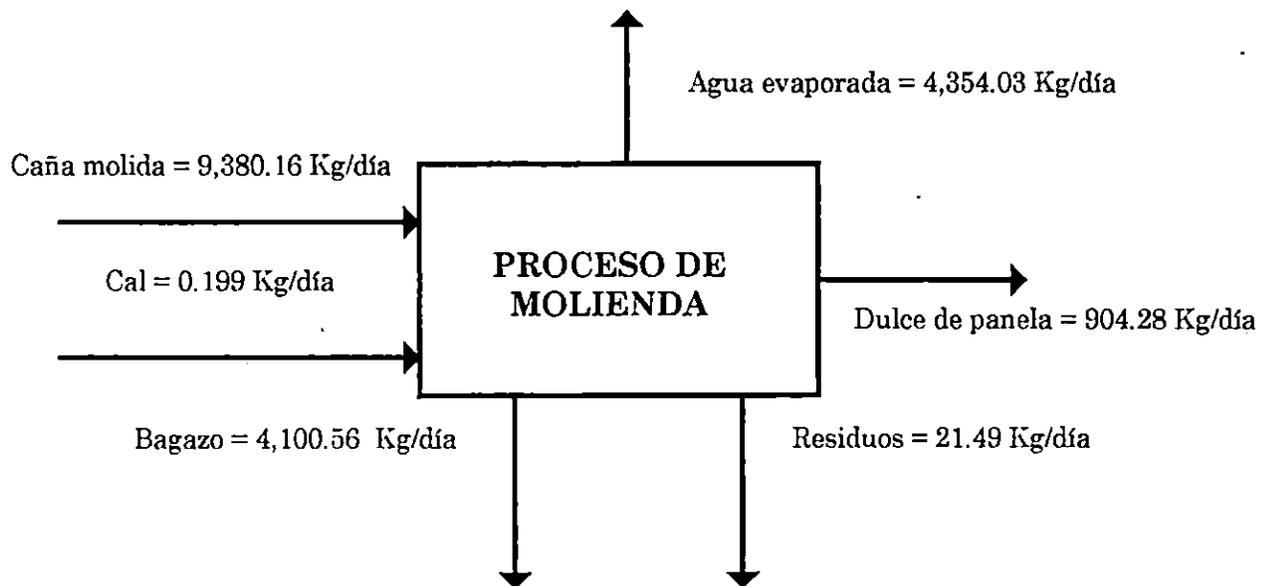
$$1.343 \frac{\text{Kg residuos}}{\text{Molde}} \left(\frac{2 \text{ Moldes}}{\text{perol}} \right) \left(\frac{8 \text{ peroles}}{\text{dia}} \right) = 21.49 \frac{\text{Kg residuos}}{\text{dia}}$$

- *Rendimiento de panela*

$$\text{Rendimiento de Panela} = \frac{904.28 + 21.49}{9.38} \frac{\text{kg panela}}{\text{TMC}}$$

$$\text{Rendimiento de Panela} = 98.69 \frac{\text{kg panela}}{\text{TMC}}$$

D.10 DIAGRAMA DE CAJA NEGRA PARA EL BALANCE DE MATERIALES EN MOLIENDA 1



ANEXO E

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS EFECTUADOS A
MUESTRAS DE ESPUMA SUCIA Y AGUAS DE LAVADO DE PEROLES
Y A MUESTRAS DE CENIZAS**

San Salvador, 24 de Abril de 1998



Señorita
IRMA LILIAN MERINO JOVEL.
 Presente.

CODIGO DE MUESTRA : 413S: Agua de Lavado
414S: Espuma Sucia
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA: 17-04-98

Estimada Srita. Merino:

Por este medio informamos los resultados de Análisis Químicos efectuados a muestra de agua de desecho, según detalle:

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS

TIPO DE MUESTRA: AGUA DE DESECHO
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 17-04-98
FECHA DE REALIZACION DEL ANALISIS: 22-04-98
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: MOLIENDA EN SAN MIGUEL

ANALISIS	RESULTADO		EXPRESADO COMO
	413S	414S	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	235596		ppm
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO		108750	ppm

NOTA: ND : No detectable
 ppm : mg/L
 Metodología de Análisis : APHA-AWWA-WPCF

Agradeciendo su atención a la presente, nos suscribimos de usted,

Atentamente,
ESPECIALIDADES INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.



VMS Segura
 Víctor Manuel Segura L.
 Laboratorio Químico
 Investigación y Desarrollo

VMSL/alDEM

ANALISIS DE SUELOS

Bachilleres

JOSE JAVIER BOJORQUEZ GARCIA

IRMA LILIAN MERINO JOVEL Y

RAUL HUMBERTO AGUILAR FLORES.

Por este medio le informo sobre los resultados de los análisis hechos en nuestro laboratorio de los siguientes muestras :

No. de Lab.	Identificación de la muestra	pH	Conductividad Eléctrica	Materia Orgánica %	Textura Boyucos	Na ppm	K ppm	P ppm	Cd ppm	Mg ppm	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	N ppm
85	CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (MOLIENDA VALLE)	10.8					80.500	5150							mayor de 35
86	MOLIENDA CHACON	10.7					80.000	5287.5							Menor de 35

OTRAS DETERMINACIONES Y OBSERVACIONES DEL LABORATORIO: _____

F. 
 Jefe de Departamento


 Responsable de Análisis

F. 
 Recibido