



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE MELASIGÉNICO EN LAS
ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AZÚCAR
BLANCO EN EL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE IANCEM
Y SU INFLUENCIA GLOBAL EN LA RECUPERACIÓN DE
SACAROSA”**

Trabajo de titulación para optar por el título de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: KATHERINE JANETH SUÁREZ BENAVIDES

TUTOR: ING. HUGO CALDERÓN

Riobamba-Ecuador

2016

©2016, Katherine Janeth Suárez Benavides

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo de **“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE MELASIGÉNICO EN LAS ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AZÚCAR BLANCO EN EL INGENIO AZUCARERO DEL NORTE IANTEM Y SU INFLUENCIA GLOBAL EN LA RECUPERACIÓN DE SACAROSA”** de responsabilidad de la señorita Katherine Janeth Suárez Benavides ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Hugo Calderón
DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN

Ing. Mónica Andrade
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Katherine Janeth Suárez Benavides, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 04 de Agosto del 2016

Katherine Janeth Suárez Benavides
1003838032

“Yo, Katherine Janeth Suárez Benavides, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

KATHERINE JANETH SUÁREZ BENAVIDES

DEDICATORIA

A mis padres por su inmenso sacrificio, paciencia y amor que me han brindado, impulsándome siempre a crecer como persona y motivándome a alcanzar mis metas propuestas.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Milton y Elena, quienes con su ejemplo me demostraron que con esfuerzo y sacrificio, por más largo o difícil que sea el camino al final del día siempre se llega a lo que uno se propone

A mi hija Danna, que llego a mi vida a impulsarme y motivarme para superarme cada día más, esperando ofrecerle un futuro mejor.

A mi hermana Jacqueline, quien fue mi principal base para la construcción de mi vida profesional, reflejándome siempre responsabilidad y perseverancia.

A mis hermanas Gabriela y Lady, que siempre con su cariño y sus palabras de aliento, me impulsaron para seguir adelante.

A Jefferson, quien a pesar de la distancia, siempre estuvo ahí cuando lo necesite.

A los Ingenieros Rubén Guzmán y Jaime Pérez, por guiarme en la realización de este trabajo, y darme la oportunidad de aprender de la industria azucarera.

Al Ingenio Azucarero del Norte, por abrirme las puertas y permitirme realizar este trabajo de titulación para la culminación de mi carrera, en especial a todo su personal por compartirme sus conocimientos adquiridos en esta institución y por su total predisposición en ayudarme.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Identificación del Problema	2
1.2 Justificación del Proyecto.....	2
1.3 Objetivos de la Investigación.....	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
CAPÍTULO II.....	5
2 MARCO TEORICO	5
2.1 Antecedentes de la investigación.....	5
2.2 Marco Conceptual	7
2.2.1 <i>Agotamiento de mieles finales</i>	7
2.2.2 <i>Alcalización</i>	8
2.2.3 <i>Azúcar</i>	8
2.2.4 <i>Azúcares reductores</i>	9
2.2.5 <i>Brix</i>	11
2.2.6 <i>Caña de azúcar</i>	11
2.2.7 <i>Carbonatación</i>	14
2.2.8 <i>Cenizas</i>	14
2.2.9 <i>Clarificación</i>	15
2.2.10 <i>Control de calidad del azúcar</i>	16
2.2.11 <i>Cristalización</i>	25
2.2.12 <i>Dextrana</i>	25
2.2.13 <i>Disacáridos</i>	26
2.2.14 <i>Efecto melasigénico</i>	26
2.2.15 <i>Imbibición</i>	27
2.2.16 <i>Índice melasigénico</i>	27
2.2.17 <i>Jarabe (meladura)</i>	28

2.2.18	<i>Magma</i>	28
2.2.19	<i>Masa cocida</i>	28
2.2.20	<i>Melaza</i>	28
2.2.21	<i>Miel</i>	30
2.2.22	<i>No azúcares</i>	30
2.2.23	<i>No azúcares inorgánicos</i>	30
2.2.24	<i>Pol</i>	31
2.2.25	<i>Pureza</i>	32
2.2.26	<i>Razón de azúcares reductores ceniza</i>	32
2.2.27	<i>Relaciones utilizadas en la evaluación de la calidad</i>	33
2.2.28	<i>Sacarosa</i>	33
2.2.29	<i>Solubilidad de la sacarosa</i>	34
2.2.30	<i>Sulfitación</i>	35
2.2.31	<i>Velocidad de cristalización</i>	36
2.2.32	<i>Viscosidad de la sacarosa</i>	36
CAPÍTULO III.....		38
3	METODOLOGÍA.....	38
3.1	Hipótesis y especificación de variables	38
3.1.1	<i>Hipótesis General</i>	38
3.1.2	<i>Hipótesis Específicas</i>	38
3.1.3	<i>Identificación de Variables</i>	39
3.1.4	<i>Matriz de Consistencia</i>	39
3.2	Tipo y diseño de la investigación	43
3.2.1	<i>Inductivo</i>	43
3.2.2	<i>Deductivo</i>	43
3.3	Unidad de Análisis	43
3.4	Población de Estudio.....	44
3.5	Tamaño de Muestra.....	44
3.6	Selección de muestra.....	45
3.6.1	<i>Materia prima</i>	45
3.6.2	<i>Materiales en proceso</i>	45
3.6.3	<i>Producto terminado</i>	47
3.7	Técnicas de Recolección de Datos	47

3.7.1	<i>Caracterización físico química</i>	50
3.7.2	<i>Recolección, clasificación, registro y codificación de los datos</i>	54
3.7.3	<i>Técnicas de comprobación de hipótesis</i>	77
CAPÍTULO IV		80
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
4.1	Análisis de Resultados	80
4.1.1	<i>Análisis del índice melasigénico de melaza</i>	80
4.1.2	<i>Análisis del porcentaje de cumplimiento del índice melasigénico a la normativa técnica interna de la empresa en cada operación del proceso</i>	80
4.1.3	<i>Análisis de las cartas de control</i>	83
4.1.4	<i>Análisis de la Capacidad de Proceso</i>	85
4.1.5	Análisis del incremento de cenizas en la etapa de encalado	87
4.2	Prueba de hipótesis	89
4.3	Discusión de resultados	95
CONCLUSIONES		98
RECOMENDACIONES.....		99
BIBLIOGRAFÍA		100
ANEXOS Y APÉNDICES		101

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1.2.</i> Mecanismo de formación del	10
<i>Ilustración 2.2.</i> Mecanismo de reconversión	10
<i>Ilustración 3.2.</i> Mecanismo de formación del enol. Herrera (2011)	11
<i>Ilustración 4.2.</i> Patrones fuera de control	19
<i>Ilustración 5.2.</i> Representación gráfica de la	34
<i>Ilustración 6.4.</i> Impurezas de la cal observadas al	88

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.3.</i> Diagrama de Puntos de Control	48
<i>Figura 2.3.</i> % Cenizas en los productos de las etapas del proceso.....	55
<i>Figura 3.3.</i> % Azúcares Reductores en los productos de las etapas del proceso	56
<i>Figura 4.3.</i> Índice Melasigénico en los productos de las etapas del proceso	56
<i>Figura 5.3.</i> % Cenizas en Pre-zafra	60
<i>Figura 6.3.</i> %Azúcares Reductores en Pre-zafra.....	61
<i>Figura 7.3.</i> Índice Melasigénico en Pre-zafra	61
<i>Figura 8.3.</i> %Cenizas Zafra.....	62
<i>Figura 9.3.</i> %Azúcares reductores Zafra.....	63
<i>Figura 10.3.</i> Índice Melasigénico Zafra	63
<i>Figura 11.3.</i> % Cenizas en jugo Mixto.....	64
<i>Figura 12.3.</i> %Azúcares reductores en el jugo mixto	65
<i>Figura 13.3.</i> Índice Melasigénico en el jugo mixto.....	65
<i>Figura 14.3.</i> %Cenizas en el jugo clarificado.	66
<i>Figura 15.3.</i> %Azúcares reductores en el jugo clarificado.....	67
<i>Figura 16.3.</i> Índice Melasigénico en el jugo clarificado	67
<i>Figura 17.3.</i> %Cenizas en el jarabe	68
<i>Figura 18.3.</i> %Azúcares reductores en el jarabe	69
<i>Figura 19.3.</i> Índice Melasigénico en el jarabe	69
<i>Figura 20.3.</i> %Cenizas en melaza	70
<i>Figura 21.3.</i> %Azúcares reductores en melaza	71

<i>Figura 22.3.</i> Índice Melasigénico en melaza.....	71
<i>Figura 23.3.</i> % Cenizas en el Producto Terminado.....	72
<i>Figura 24.3.</i> % Azúcares Reductores en el Producto Terminado	72
<i>Figura 25.4.</i> Gráfica de Control para el proceso de Recepción de la Materia Prima....	83
<i>Figura 26.4.</i> Gráfica de Control para el jugo encalado en la Clarificación.....	84
<i>Figura 27.4.</i> Capacidad del proceso para la zafra RECEPCIÓN DE LA	85
<i>Figura 28.4.</i> Capacidad del proceso en la CLARIFICACIÓN.....	86
<i>Figura 29.4.</i> Incremento del contenido de cenizas de acuerdo a la adición	87
<i>Figura 30.4.</i> Índice Melasigénico para cada etapa del proceso	89
<i>Figura 31.4.</i> Incidencia del índice melasigénico en las etapas del proceso.	92
<i>Figura 32.4.</i> Diagrama de bloques de fabricación de azúcar blanco, con puntos críticos de control.	93
<i>Figura 33.4.</i> Índice melasigénico en base a la pureza del $\text{Ca}(\text{OH})_2$	94
<i>Figura 34.4.</i> Índice melasigénico mediante el sistema de carbonatación	95

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.2.</i> Promedio de la composición química de los tallos y de los jugos de la.....	13
<i>Tabla 2.2.</i> Requisitos de calidad para azúcar blanco	17
<i>Tabla 3.2.</i> Factores para cálculos de gráficos de control por variables para valores individuales.....	20
<i>Tabla 4.2.</i> Valores de capacidad de proceso.....	22
<i>Tabla 5.2.</i> Coeficiente melasigénico (m) de varias no sacarosa.....	27
<i>Tabla 6.2.</i> Composición de la melaza.....	29
<i>Tabla 7.2.</i> Componentes minerales del jugo, jarabe y melazas de la caña de azúcar.....	31
<i>Tabla 8.3.</i> Tamaño de Muestra	44
<i>Tabla 9.3.</i> Tamaño de Muestra por Proceso	45
<i>Tabla 10.3.</i> Puntos de control en el proceso	49
<i>Tabla 11.3.</i> Media aritmética de los datos de cada etapa del Proceso	58
<i>Tabla 12.3.</i> Desviación estándar del índice melasigénico, en los productos de las etapas del proceso	59
<i>Tabla 13.3.</i> Incremento del contenido de cenizas de acuerdo a la adición de CaO.....	75
<i>Tabla 14.3.</i> Pruebas de optimización en base a la calidad del CaO	79
<i>Tabla 15.3.</i> Pruebas de optimización mediante un sistema de carbonatación	79
<i>Tabla 16.4.</i> Incidencia del Índice melasigénico en las etapas del proceso.....	90
<i>Tabla 17.4.</i> Alternativa de optimización en base a la pureza del Ca (OH) ₂	94
<i>Tabla 18.4.</i> Índice melasigénico mediante el sistema de carbonatación	95

ÍNDICE DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

AR	Azúcares Reductores
AR/C	Índice Melasigénico
BPM	Buenas prácticas de manufactura
cm	Centímetros
Cond H₂O	Conductividad del agua
Cond Sol	Conductividad de la solución
Cp.	Capacidad de proceso
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
g	gramos
%	porcentaje
IANCEM	Ingenio Azucarero del Norte
J.	Jugo
Kg	Kilogramos
ml	mililitros
MLAT	Manual de laboratorio para la industria azucarera TECNICAÑA
PIB	Producto Interno Bruto
ppm	Partes por millón
μS	Microsiemens

RESUMEN

La industria azucarera tiene como objetivo principal la mayor recuperación de sacarosa a partir de la caña de azúcar, sin embargo, existen factores que impiden el total cumplimiento del objetivo. Es por esto que el presente estudio se basa en la determinación del índice melasigénico a partir de los análisis del porcentaje de cenizas y el porcentaje de azúcares reductores en todas las etapas del proceso.

Se permite determinar las causas que producen que el IANCEM no pueda agotar mieles finales de baja pureza, identificando que el problema viene desde la recepción de la materia prima, en el cual se obtiene valores menores a los límites establecidos, producto de factores agrícolas, que se agudizan en la clarificación, en donde se aprecia un considerable aumento de impurezas.

Por estas razones se establecieron como puntos críticos de control a estas dos etapas, a través de la realización de cartas de control se observa la presencia de patrones de anomalía y mediante el análisis de capacidad de proceso se corroboró que se necesitan modificaciones considerables en los mismos.

El principal problema radica en la baja calidad del óxido de calcio (cal) utilizado en la etapa de encalado, logrando un incremento del 1.9 % de impurezas, principales causales de que el efecto melasigénico se agudice en las operaciones finales del proceso.

La mejor alternativa sería utilizar una cal que contenga una pureza mayor al 85 % de CaO aprovechable, pero al no existir en el mercado nacional se buscan alternativas que mejoren las condiciones del insumo; tomando como mejor opción el uso de un sistema de purificación de la Cal, para que el IANCEM pueda implementarlo en su proceso, permitiendo reducir considerablemente el porcentaje de cenizas y consecuentemente optimizar la recuperación de sacarosa

ABSTRACT

The sugar industry's main objective is the recovery of sucrose from cane of sugar; however, there are factors that impede the total compliance of the objective. This study is based on determining the melasigénico index from the analysis of the percentage of ash and the percentage of reducing sugars at all stages of the process.

It is permitted to determine the causes that produce that the IANCEM cannot exhaust molasses low purity, identifying that the problem comes from receipt of raw material, which values lower than the established limits is obtained as a product of agricultural factors that is exacerbated in the clarification where a considerable increase of impurities is appreciated.

For these reason were established as critical control points at these two stages, through the realization of control charts the presence of patterns of abnormality is observed and by analyzing process capability was corroborated that considerable changes are needed in the same.

The main problem lies in the low quality of calcium oxide (lime) used in liming stage, achieving an increase of 1.9% impurities, main causes of the melasigénico effect is exacerbated in the final operations of the process.

The best alternative would be to use a cal containing greater than 85% pure CaO harvestable, but there is no in the domestic market and it is looked for the alternatives that improve the conditions of consumption; taking as best choice using a purification system Cal, thus IANCEM can implement in its process, allowing reducing considerably the percentage of ashes and, consequently optimize the recovery of sucrose.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

La recuperación de sacarosa es el principal objetivo de un ingenio azucarero, sin embargo es continuamente afectada por diferentes factores externos e internos, siendo el de mayor importancia las cenizas que actúan como el principal causante de la producción de mieles finales de alta pureza, así como los azúcares reductores provocan una inversión de la sacarosa reduciendo el aprovechamiento del mismo, por ende el proceso no es el adecuado.

La relación que existe entre cenizas y azúcares reductores se lo conoce como índice melasigénico que debe tener entre 0.95 a 1.05 en melazas para las industrias que tienen procesos controlados y equipos eficientes, la determinación de este índice en todas las etapas de elaboración de azúcar blanco en el Ingenio Azucarero del Norte le permitió a la empresa identificar los puntos críticos y consecuentemente buscar alternativas de optimización.

La mayor incidencia de cenizas empieza en la recepción de la materia prima, evidenciando diversas variables involucradas como; las agrícolas, calidad del suelo, pluviosidad, variedades del producto, sistemas de fertilización y riego entre otras. Sin embargo durante la operación de clarificación la mayor cantidad de cenizas deben ser eliminadas lo que actualmente no se está evidenciando e identificamos la agudización del efecto melasigénico.

Para el proceso de encalado lo ideal sería utilizar una cal con pureza mayor al 85 %, lo que no sucede en la realidad, puesto que el IANCEM trabaja con un insumo de una pureza entre el 62 % a 68 %, lo que genera un incremento de 1.9 % en las cenizas.

La producción de Cal en nuestro país no supera el 70 % de óxido de calcio aprovechable, motivo por el cual se busca alternativas como puede ser un sistema de tratamiento de sedimentado y filtrado, para aumentar la pureza de la cal y consecuentemente minimizar

el contenido de cenizas durante el encalado y de esta forma disminuir el efecto melasigénico en IANCEM.

1.1 Identificación del Problema

El Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta IANCEM se ve continuamente comprometido en mejorar su rendimiento productivo y de calidad con la finalidad de satisfacer adecuadamente la demanda del producto que elaboran para la zona norte y a su vez competir en el mercado con los grandes ingenios azucareros del país; por estas razones tiene la necesidad de buscar alternativas que le permita aumentar la productividad mediante una tecnificación y adecuación de la recuperación de sacarosa.

La recuperación de sacarosa se ve afectada debido a que la principal materia prima (jugo de caña) para la obtención de azúcar no solo está constituido por sacarosa, ya que en su estructura también se encuentran sales minerales y ácidos orgánicos que son los causantes de la deficiente obtención de sacarosa.

La relación entre las sales minerales (cenizas) y los azúcares reductores constituyen lo que es conocido por los ingenios azucareros como el índice melasigénico, el mismo que presenta una gran influencia en el rendimiento del proceso.

El alto contenido de cenizas representa disminución en la recuperación de sacarosa ya que impiden su incorporación absoluta de las moléculas dificultando el crecimiento de cristales, mientras que los azúcares reductores son los responsables de efectos negativos, por ser los que modifican la solubilidad del azúcar produciendo la inversión de la misma.

La presencia de variables como cenizas y azúcares reductores en las etapas del proceso son causantes de que las concentraciones se incrementen, cuya evidencia se observa en el balance de sólidos de la fábrica donde se obtiene el recobrado (sacarosa que se recupera en el azúcar comercial en porcentaje de sacarosa en caña) y se denota pérdidas en las diferentes etapas, en este caso se hará referencia las pérdidas en melaza.

1.2 Justificación del Proyecto

La industria azucarera fue una de las primeras en adoptar los sistemas de control de calidad que mediante sus ensayos físicos y químicos permitieron la adecuada recuperación de la sacarosa durante la fabricación de azúcar ya que de ello depende la fijación de su precio y rentabilidad que obtiene la empresa.

Por naturaleza la caña de azúcar presenta en sus constituyentes un considerable porcentaje de cenizas, las mismas que se incrementan en ciertas etapas de elaboración de azúcar ocasionando un efecto melasigénico, principalmente en la cristalización produciendo consecuentemente mieles finales de alta pureza; y durante el proceso se presenta la hidrólisis de la sacarosa que puede ser ocasionada por diferentes factores generando una inversión de la misma.

El Ingenio Azucarero del Norte (IANCEM) buscando la excelencia en la calidad permanece dentro de los parámetros, cumpliendo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0259:2000 Primera Revisión. AZÚCAR BLANCO. REQUISITOS, lo que permite ofrecer al mercado un producto de excelente calidad. Sin embargo, durante el proceso de elaboración de azúcar se puede apreciar dificultades causadas principalmente por un gran contenido de cenizas y azúcares reductores, ocasionando mieles finales de alta pureza que influye directamente en el rendimiento de la producción.

La investigación del índice melasigénico es de vital importancia, cuyo término incluye los dos parámetros antes mencionados, que tiene como finalidad identificar en qué etapas del proceso el problema es más crítico y buscar alternativas de solución para que las variables disminuyan su influencia negativa en el proceso de cristalización.

El beneficio que brindará esta investigación al ingenio será de gran importancia ya que le permitirá en el mediano y largo plazo realizar las correcciones a sus procesos con la correspondiente mejora en cuanto a rendimientos de fabricación.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

- Determinar el índice melasigénico en las etapas del proceso de elaboración de azúcar blanco en el Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta IANCEM y su influencia global en la recuperación de sacarosa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización inicial de cenizas y azúcares reductores, para establecer el índice melasigénico en las diferentes etapas del proceso de elaboración de azúcar.
- Identificar las etapas del proceso cuyo índice melasigénico tenga mayor afectación en la recuperación de sacarosa.
- Plantear alternativas de optimización en las etapas del proceso identificadas, para disminuir el efecto melasigénico.
- Establecer la relación del índice melasigénico recomendado por la industria azucarera, con la obtenida en el Ingenio Azucarero del Norte.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Walter F. Quezada Moreno (2007) en su proyecto de investigación “Determinación de parámetros óptimos para la producción y aromatización de miel hidrolizada, panela soluble y azúcar” define al azúcar invertido como la cantidad de glucosa y fructosa en partes iguales que se origina por el desdoblamiento de la sacarosa, la cual se puede producir por efectos de ácidos, enzimas, álcalis y altas temperaturas.

Esta definición contribuye con la investigación para la determinación de los parámetros más adecuados que se necesitan para obtener un azúcar de alta calidad, obteniendo como conclusión que los mejores parámetros de proceso se logran hasta concentrar el producto a una temperatura de 125 °C. Esto nos permite tener un concepto claro de las posibles causas de inversión de sacarosa y de las condiciones óptimas que se necesitan para obtener azúcar natural de características de calidad aceptable, ayudándonos en el desarrollo de la presente investigación.

Zepeda Edwin (2012) en su Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico “Propuesta de alternativas para la reducción de pérdidas de sacarosa en un Ingenio Azucarero” determina que las pérdidas de sacarosa en cualquier punto del proceso tienen su origen en cinco causas o factores principales que pueden clasificarse en enzimáticos, químicos, microbiológicos, térmicos, físicos o una combinación de ellas. Estableciendo que uno de los principales para el estudio y desarrollo de esta investigación es la descomposición de la sacarosa en sus azúcares reductores, glucosa y fructosa por efecto enzimático o fisicoquímico. Dicha reacción es conocida como inversión de la sacarosa. En sentido químico, inversión se refiere al cambio de actividad óptica dextrógira a levógira, o viceversa que ocurre como resultado de la hidrólisis ácida o enzimática de una solución de sacarosa que produce una mezcla de azúcares invertidos de glucosa y fructosa. La inversión de la sacarosa por la enzima invertasa tiene lugar en la caña de azúcar cosechada. La actividad enzimática depende de la edad, variedad y temperatura de la planta. 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 inhibidor de la invertasa en el jugo de la caña y la inversión enzimática se detiene cuando las enzimas son destruidas durante el proceso de clarificación del jugo.

Jaime Arturo Bernal Chacón (2010) en su tesis de grado “Estandarización de la Etapa de Cocimiento en el Proceso de Elaboración de Panela en Bloque en una Industria Azucarera” previo a la obtención del título de Ingeniero de Alimentos; pone un énfasis importante en la determinación de azúcares reductores existentes tanto en la caña de azúcar como en sus productos. La determinación la realiza mediante el método volumétrico de Lane y Eynon, de tal manera que se logre obtener un tiempo de inversión que corresponda a la cantidad necesaria para que la mezcla de panela pueda incrementar su valor porcentual de azúcares reductores. Los niveles de tiempo de inversión fueron establecidos con la finalidad de bajar el tiempo total de cocción de una mezcla que son de 25 y 60 minutos. Una vez realizado los experimentos se procedió a su respectivo análisis mediante el MINITAB, en donde se reveló que los factores de tiempo de inversión son significativos en este estudio, ya que determinando valores fijos en estos factores se aporta en la estandarización de los parámetros de operación.

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone métodos y técnicas de análisis para la determinación de azúcares reductores y tiempos de inversión indispensables en el estudio del índice melasigénico para una adecuada recuperación de sacarosa.

La investigación de **Herrera, A (2011)** “Estudio Comparativo de Métodos para la Determinación de Sacarosa y Azúcares Reductores en Miel Virgen de Caña utilizados en el Ingenio Pichichí S.A.” permitió demostrar que los métodos por HPLC para la determinación de azúcares reductores representan una mayor precisión en comparación con el método de Lane y Eynon. Dicha comparación se la llevo a cabo mediante un análisis estadístico que muestra un promedio de diferencias de -0,28. El coeficiente de correlación obtenido para el conjunto de datos es de 0,8940 con un $R^2 = 0,7993$ mostrando correspondencia entre la variable de medición para los dos métodos. La prueba estadística t de student para datos desapareados muestra que la variabilidad de los resultados no es significativa para un nivel de confianza del 95 %, aunque muestra una alta dispersión de los datos con una desviación estándar absoluta de 1,01 y una varianza

de 1,02, que puede atribuirse a los errores de tipo aleatorio debido a las condiciones del método de Lane y Eynon por especies de tipo inorgánico y otros azúcares susceptibles a reducción por el reactivo de Fehling. Esta investigación nos permite tomar en cuenta otros métodos de determinación de azúcares reductores que proporcionen valores de mayor exactitud, los cuales beneficiarían a este estudio.

Rodriguez- Mambuca, R. J., Rodriguez- López, J., & Perdomo-Morales, A. (2013) en su artículo “La calidad del agua destilada en la determinación de cenizas conductimétricas en azúcares crudos”; define ceniza como el residuo mineral que queda de una sustancia después de haberla sometido a combustión total. Los resultados satisfactorios y la facilidad operatoria de los métodos conductimétricos, han reemplazado el lento proceso de la ceniza gravimétrica en las determinaciones rutinarias en azúcares refinados, crudos, aguas residuales, mieles y otros productos de la industria azucarera. El análisis de los productos en esta industria es por métodos conductimétricos para la determinación de ceniza, se basa en la baja conductividad del agua destilada y la condición de no-electrolito de la sacarosa que por tanto, tampoco conduce la electricidad. Así, las sales minerales que constituyen la ceniza son prácticamente las responsables del valor de conductividad obtenido, con la excepción de la sílice, que tampoco es conductora. El valor de estas mediciones conductimétricas ha sido reconocido por la industria azucarera y se han informado numerosos trabajos sobre el tema. La medición de la conductividad da el valor de la concentración de los iones presentes y ofrece de este modo, una indicación directa del total de los minerales presentes o el contenido de ceniza del producto. El conocimiento del contenido de cenizas en los azúcares y mieles finales, tiene incidencia en el proceso industrial, ya que estas tienen carácter melasigénico.

2.2 Marco Conceptual

Para poder realizar esta investigación es necesario entender varios términos comúnmente usados en la industria azucarera y definir varios parámetros que servirán como eje conceptuales para la ejecución de este proyecto.

2.2.1 *Agotamiento de mieles finales*

El mayor motivo de pérdidas de azúcar en la fábrica se genera por las melazas residuales, influenciados por muchos factores del proceso, tales como el carácter de los cristales, densidad de las masas cocidas finales, grado de enfriamiento en los cristalizadores y tratamiento posterior de las masas cocidas, todo esto afecta a la pureza de las mieles finales.

La viscosidad también tiene una gran importancia en el agotamiento de las melazas, puesto que es uno de los factores que limitan la concentración de la masa cocida y la sobresaturación de las melazas.

2.2.2 Alcalización

Ramos (2009). El proceso de sulfitación que se da al jugo procedente de los molinos, conlleva a una disminución del pH, favoreciendo la inversión de la sacarosa, por lo cual es indispensable neutralizar el jugo adicionando cal disuelta en agua, a una concentración de 6 a 10 °Bé, proceso denominado como lechada de cal, o con la adición de sacarato de calcio.

La principal característica del proceso de alcalización es la defecación, en donde los iones de calcio reaccionan con la mayor cantidad de impurezas presentes en el jugo formando sólidos que se precipitan y que posteriormente se los puede extraer con facilidad. (p 49)

Uno de los principales agentes clarificadores de jugo es el óxido de calcio CaO, el mismo que debe tener una pureza por encima del 85 % ya que una elevada concentración de impurezas contribuye a la formación de incrustaciones, ocasionando problemas tanto en la clarificación como en la cristalización produciendo un alto efecto melasigénico.

Honing (1969). Los sacaratos no son compuestos realmente químicos, sino pequeños cristales de hidróxido de calcio con sacarosa absorbida en la superficie. (p 32)

2.2.3 Azúcar

Se denomina a los cristales de sacarosa que son extraídos en la fábrica por el centrifugado de una determinada masa. Los azúcares son clasificados dependiendo del tipo de masa y

lo constituyen en mayor proporción por la sacarosa seguida de la glucosa, fructosa y los oligosacáridos en concentraciones menores.

La mayor cantidad de azúcar que se produce en el Ecuador es para consumo nacional y se estima que alrededor de 11 millones de sacos se producen anualmente en los seis ingenios azucareros del país, abasteciendo sin ningún problema al mercado interno que posee un consumo aproximado de 10.200.000 sacos por año.

A lo largo del tiempo el sector azucarero en el Ecuador ha ido creciendo considerablemente, pasando de una producción de 260.000 sacos de 50 kg en sus inicios a más de 10 millones de sacos de azúcar de 50 Kg en la actualidad. Tanto la actividad agropecuaria como la pesca y las múltiples actividades primarias productivas y de elaborados representan el 10,7 % del producto interno bruto con una tasa de crecimiento nominal. Para el Ecuador la producción de la caña de azúcar contribuye con el 1,4 % al Producto Interno Bruto (PIB) nacional y genera más de 30.000 empleos directos y 80.000 indirectos sobre todo en la época seca de su cosecha (de Julio a Diciembre).

2.2.4 Azúcares reductores

Son las sustancias reductoras existentes en la caña y sus productos, se expresan como azúcar invertido.

Azúcar invertido, es la cantidad de glucosa y fructosa en partes iguales, que se originan por el desdoblamiento de la sacarosa. La inversión se produce por efecto de ácidos, enzimas, álcalis y altas temperaturas. La inversión de la sacarosa se observa en la siguiente ecuación:



Cuando la sacarosa se hidroliza aparece el poder reductor de la glucosa y la fructosa libres; de esta manera y simultáneamente, el poder rotatorio dextrógiro de la sacarosa pasa a ser levógiro en la mezcla equimolecular de glucosa y fructosa.

Sin embargo, si la adición ocurre en el átomo de oxígeno cargado negativamente (Ilustración 3.2), se obtiene una forma estructural diferente a la forma ceto, llamada forma enólica o simplemente enol.

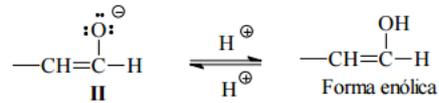


Ilustración 3.2. Mecanismo de formación del enol. Herrera (2011)

Las sustancias que participan en un equilibrio de su forma ceto y enólica se dice que son tautómeras, por el fenómeno que implica la interconversión espontánea de los dos isómeros. Todas las aldosas son azúcares reductores porque contienen un grupo carbonilo aldehídico, pero algunas cetosas son también azúcares reductores como es el caso de la fructosa, aun cuando no contiene un grupo aldehído. La reducción ocurre porque la fructosa se isomeriza con rapidez en solución básica o ácida mediante una serie de corrimientos tautómeroscetoenólicos, cuyo resultado es la conversión a una aldosa.

2.2.5 *Brix*

Porcentaje en peso (P/P %) de sólidos disueltos en una solución. El Brix puede ser medido por medio del aerómetro o hidrómetro y se llama Brix al hidrómetro; cuando se mide en refractómetro se define como Brixrefractométrico.

2.2.6 *Caña de azúcar*

Es el cultivo agroindustrial con mayor importancia en el Ecuador, aproximadamente se estima que un 80 % de este cultivo es destinado a la producción de azúcar y el restante a productos derivados como: panela y alcohol.

Ordoñez Inés (2011) menciona que actualmente, la producción de azúcar es realizada por 6 Ingenios azucareros: La Troncal, San Carlos, Valdez, Isabel María, IANCEM y Monterrey, siendo los tres primeros los que producen el 90 % de la producción nacional, estos ingenios conjuntamente con el Isabel María se ubican en el Litoral Ecuatoriano, cuya zafra se inicia en el mes de Julio y termina en Diciembre, con procesos de molienda de 24 horas en tres turnos y un período de interzafra (destinado a reparación de

maquinaria) entre Enero – Junio. Los ingenios IANCEM y Monterrey se encuentran localizados en la Región Sierra la producción de azúcar se da todo el año, trabajando seis días a la semana, el período interzafra lo realizan entre Enero – Febrero.

La caña de azúcar es una planta que posee un tallo que puede llegar a medir hasta 6 metros de altura, y de 2 - 4 cm de diámetro, El tallo está compuesto por dos partes, una sólida denominada fibra constituida principalmente por celulosa y otra líquida, que es el jugo que contienen agua, sólidos (sacarosa, glucosa, fructosa y otros constituyentes) denominados Brix, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1.2. Promedio de la composición química de los tallos y de los jugos de la caña de azúcar

Constituyente químico	Porcentaje
En los tallos:	
Agua	73 – 76
Sólidos	24 – 27
-sólidos solubles(brix)	10 – 16
-fibra (seca)	11 – 16
En el jugo:	
Azúcares	
-Sacarosa	75 – 92
-Glucosa	70 – 88
-Fructosa	2 – 4
	2 – 4
Sales	
-inorgánicas	3.0 – 3.4
-orgánicas	1.5 – 4.5
Ácidos orgánicos	1 – 3
Aminoácidos	1.5 – 5.5
	1.5 – 2.5
Otros no azucres	
-proteínas	0.5 – 0.6
-almidones	0.001 – 0.050
-gomas	0.3 – 0.6
-ceras, grasas, etc	0.15 – 0.50
-compuestos fenólicos	0.10 -0.80

Fuente: Chen. J., (1991)

La caña de azúcar debe ser de óptima calidad para obtener mayor rendimiento fabril y está determinado por diferentes factores como la variedad de la caña, el suelo en el que es cultivado, las prácticas de manejo, aplicación de fertilizantes, el clima, el grado de madurez, entre otros.

La calidad de la caña de azúcar se la identifica en la molienda mediante la cantidad de azúcar recuperable por tonelada de caña molida y se la reconoce cuando presenta, un alto

contenido de sacarosa, bajo contenido de materiales extraños y sólidos solubles y bajos niveles de fibra

2.2.7 Carbonatación

Chen. J. (1991). La carbonatación es la purificación de los jugos de caña mediante un exceso de cal y la eliminación con ácido carbónico del álcali sobrante, este método consiste en añadir cal viva al jugo frío o caliente. Los jugos encalados se llevan a una temperatura de 80 a 90 °C, se carbonatan hasta alcanzar una ligera alcalinidad, y a continuación se filtran. (p. 203)

Mediante la implementación de este sistema al proceso se llega a concluir que se reduce en un 45 % el contenido de cal, debido a la mayor eliminación de sulfatos disminuyendo las incrustaciones se reduce también entre un 61 y 87 % de productos químicos para la limpieza de evaporadores. Por lo tanto la mayor recuperación de sacarosa, la mayor producción de azúcar y la mejor calidad del azúcar son atribuibles a una mejor eliminación de los no azúcares. (p. 206)

2.2.8 Cenizas

Se denomina cenizas a la materia inorgánica que forma parte constituyente de los alimentos (sales minerales). Las cenizas permanecen como residuo luego de la calcinación de la materia orgánica del alimento. Sus componentes principales: Si, K, P, Ca, Na, Mg, S, Fe, Al, Cu, Zn; el potasio es el elemento de mayor proporción entre el contenido mineral del jugo.

La diferencia de cenizas que existe antes y después de la clarificación es mínima, aun cuando cambia la composición de la misma.

La ceniza presenta un efecto melasigénico importante en la recuperación de sacarosa, comprendiéndose así que a mayor cantidad de cenizas, más sacarosa pasará a las mieles; por lo tanto se necesitará más vapor, aumentando la pérdida de azúcar y deteriorándose la calidad del producto.

La determinación de cenizas se lo puede realizar por el método gravimétrico por incineración directa pero al ser un proceso lento, generalmente en la industria se emplea el método conductimétrico, el cual se basa en la baja conductividad del agua destilada y la condición de no electrolito de la sacarosa que no conduce la electricidad, de esta forma las sales minerales que constituyen la ceniza son prácticamente las responsables del valor de conductividad obtenido, a excepción de la sílice que no es conductora. La medición de la conductividad da una medida de la concentración de los iones presentes y ofrece de este modo, una indicación directa del total de los minerales presentes o el contenido de ceniza del producto. El conocimiento del contenido de cenizas en los azúcares y mieles finales, tiene incidencia en el proceso industrial, ya que estas tienen carácter melasigénico.

Buenaventura. C. (1989) establece las siguientes ecuaciones para la determinación de cenizas por el método de conductividad. (Pp. 98-99)

Corrección de conductividad

$$C_5 = C_1 - 0.9C_2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

C_1 = conductividad de la solución

C_2 = conductividad del agua

El porcentaje de cenizas se determina mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ de Cenizas por conductividad} = C_5 \times 18 \times 10^{-4} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

C_5 = conductividad corregida

2.2.9 Clarificación

Este proceso se realiza mediante sedimentación, adicionando ayudantes químicos conocidos como floculante al jugo caliente con la finalidad de aglomerar las partículas

desestabilizadas en unidades llamadas flóculos, precipitándose en el fondo del tanque, para que posteriormente sean retiradas obteniendo un jugo clarificado.

Los floculantes utilizados en la industria azucarera son generalmente polímeros sintéticos aniónicos de alto peso molecular, que al entrar en contacto con el jugo extienden sus cadenas poliméricas, las mismas que al ir descendiendo van capturando las impurezas que regularmente son catiónicas

2.2.10 Control de calidad del azúcar

En la mayoría de los países, la calidad de la caña de azúcar es el indicativo para la fijación de su precio, es por esta razón que desde hace mucho tiempo atrás se adoptó el control sistemático de las operaciones por medio de ensayos físicos y químicos.

En la manufactura de azúcar de caña crudo es costumbre presentar separadamente en un estado consolidado de rendimiento las pérdidas conocidas, como la del bagazo de la caña, las tortas de los filtros prensas, y referir el resto (inversión, arrastre, fermentación, etc.) como pérdidas desconocidas. Es asimismo costumbre registrar la pérdida de azúcar en la melaza, aunque esto no significa exactamente la desaparición o destrucción de la sacarosa, sino una conversión de la forma cristalizable en la no cristalizable.

El control de calidad del azúcar blanco en nuestro país se basa en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0259:2000 Primera Revisión. AZÚCAR BLANCO. REQUISITOS, y los ensayos tanto físicos como químicos se lo realizan en cada etapa del proceso. Los requisitos que debe cumplir azúcar blanco se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 2.2. Requisitos de calidad para azúcar blanco

REQUISITO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Polarización a 20 °C	°S	99.4	----	NTE INEN 264
Humedad	%	----	0.075	NTE INEN 265
Cenizas de conductividad	%	----	0.10	NTE INEN 267
Azúcares reductores	%	----	0.10	NTE INEN 266
Color	UI	----	350	NTE INEN 268
Dióxido de Azufre (SO ₂)	mg/kg	----	50	NTE INEN 274
Materia Insoluble en agua	mg/kg	----	150	
Arsénico (As)	mg/kg	----	1.0	NTE INEN 269
Cobre (Cu)	mg/kg	----	2.0	NTE INEN 270
Plomo (Pb)	mg/kg	----	0.5	NTE INEN 271

Fuente: INEN 0259 (2000)

La industria azucarera se enfoca principalmente en reducir la pérdida total de sacarosa ya que de ello depende la pérdida o ganancia de azúcar, para ello se establece el índice melasigénico el cual establece la relación entre cenizas y azúcares reductores, ensayos que se los realiza en el laboratorio de la empresa.

2.2.10.1 Herramientas básicas de calidad

Las herramientas básicas de calidad se consideran a un conjunto de técnicas graficas que se encuentran destinadas a la solución de los problemas de calidad que se presentan en las diferentes industrias.

2.2.10.2 Cartas de control estadístico

Miranda Francisco et al. (2007) menciona que las cartas de control estadístico constituyen un procedimiento sencillo y eficaz para asegurar que el proceso de fabricación que estamos analizando se encuentre en condiciones de control estadístico, y por lo tanto su variabilidad se deba únicamente a causas no asignables, es decir aleatorias.

Las cartas de control enfocan la atención hacia las causas especiales de variación, cuando estas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes.

Las causas comunes o aleatorias se deben a la variación natural del proceso.

Las causas especiales o atribuibles son por ejemplo: un mal ajuste de máquina, errores del operador, defectos en materias primas.

Se dice que un proceso está bajo *Control Estadístico* cuando presenta causas comunes únicamente. Cuando ocurre esto tenemos un proceso estable y predecible.

Cuando existen causas especiales el proceso está fuera de Control Estadístico; las gráficas de control detectan la existencia de estas causas en el momento en que se dan, lo cual permite que podamos tomar acciones al momento.

El principal objetivo de una carta de control es analizar e identificar mediante las gráficas la variación de un proceso para posteriormente tomar acciones correctivas cuando se requiera.

Juran (2007). Propone un conjunto de reglas de decisión para detectar patrones no aleatorios en las cartas de control, los cuales se muestran en la siguiente ilustración.

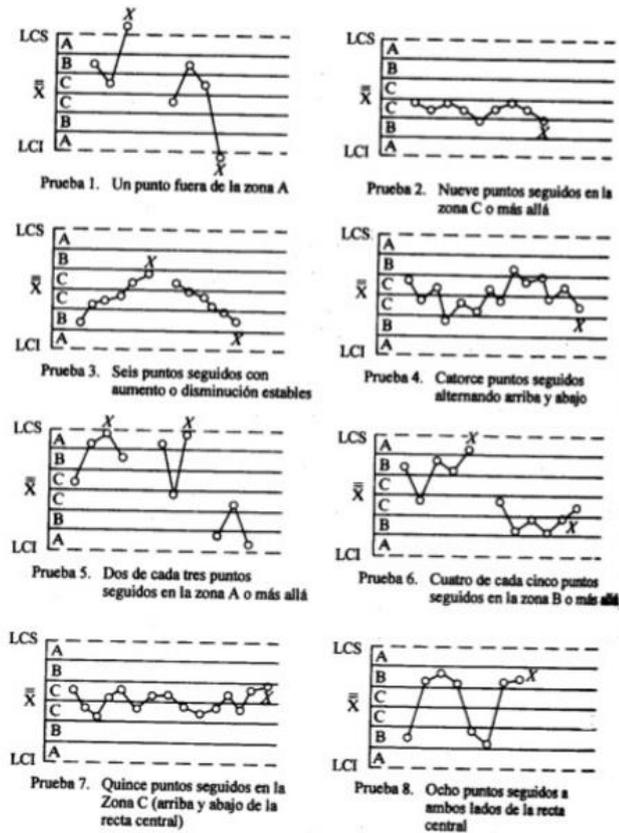


Ilustración 4.2. Patrones fuera de control. Miranda (2007)

2.2.10.3 Cartas de control de lecturas individuales

La carta de control de lecturas individuales I-MR (Datos variables), monitorea la tendencia de un proceso con datos variables que no pueden ser muestreados en grupos. Este tipo de cartas constan de una línea central que se fundamenta en el promedio de los datos, y los límites de control que se basan en la desviación estándar ($\pm 3\sigma$).

- **Determinación de los límites de control estadístico**

Los límites de control son estimaciones de la amplitud de la variación natural de la variable que se gráfica donde marcan el intervalo de confianza en el cual se esperan que caigan los puntos de las mediciones aleatoriamente.

Para el cálculo de los límites de control Hdez (2015), establece las siguientes ecuaciones:

Media \bar{X}

$$LSC_X = \bar{X} + E_2 \bar{R} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$LIC_X = \bar{X} - E_2 \bar{R} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Rango \bar{R}

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

LSC = límite de control superior

LIC = límite de control inferior

\bar{X} = promedio de los datos

R = rango de un subgrupo de dos piezas consecutivas

\bar{R} = promedio de los (n - 1) rangos

D_4, D_3, E_2 = son constantes que varían según el tamaño de muestra usado para agrupar los rangos móviles como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3.2. Factores para cálculos de gráficos de control por variables para valores individuales

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D₄	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D₃	0	0	0	0	0	0.08	0.14	0.18	0.22
E₂	2.66	1.77	1.46	1.29	1.18	1.11	1.05	1.01	0.98

Fuente: Hdez (2005)

2.2.10.4 Capacidad de proceso

Capacidad de un proceso se define como la aptitud que este presenta para producir un determinado producto que se encuentre dentro de los límites de las especificaciones de calidad.

Para poder analizar la capacidad de cada proceso se calcula el índice de capacidad potencial el cual compara la amplitud de variación permitida por las especificaciones entre la amplitud de variación entre los límites de tolerancia naturales del proceso.

Reyes (2006) establece que el valor mínimo establecido como aceptable para una buena capacidad de proceso es de 1.33, como se indica en la Tabla 4.2, y que es calculable mediante la siguiente ecuación:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

Cp = Capacidad de proceso

LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

Tabla 4.2. Valores de capacidad de proceso.

Valor del Cp	Clase del proceso	Decisión
$Cp. \geq 2$	Clase mundial	Tiene Calidad seis sigma
$1.33 \leq Cp. < 2$	1	Más que adecuado
$1 \leq Cp. < 1.33$	2	Adecuado para e trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el Cp. Se acerca a uno.
$0.67 \leq Cp. < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria
$Cp. < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones serias

Fuente: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gesti%C3%B3n-y-control-de-calidad/capacidad-de-proceso/>

2.2.10.5 Desviación estándar

Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a la media. La desviación estándar da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto la ecuación es:

$$S = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1} = \sqrt{S^2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

S = desviación estándar

n = tamaño de la muestra

\bar{x} = media aritmética

x_i = datos individuales

2.2.10.6 Gráfico de líneas

Los gráficos de líneas son utilizados para representar la tendencia de una serie de datos que generalmente son numerosos y continuos. En este tipo de gráfica los valores del indicador se representan con un punto, los cuales se unen mediante líneas para facilitar la visualización del comportamiento del indicador, los mismos que pueden cubrir períodos de minutos, horas, días, semanas, meses o años.

Mediante estas graficas se puede contabilizar los datos que se encuentran fuera y dentro de límites establecidos y calcular el porcentaje de cumplimiento de los mismos.

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{X_{DLE}}{XT} \times 100 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

X_{DLE} = datos dentro de límites de especificación

XT = total de datos

2.2.10.7 Media Aritmética

Con la finalidad de mejorar el análisis de los datos de cenizas, azúcares reductores y relación AR/C, se calcula la media de todos los datos obtenidos en cada uno de los procesos, mediante la siguiente ecuación. (Mode. 1982)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde:

\bar{x} = media aritmética

N = número total de datos

x_i = datos individuales

2.2.10.8 MINITAB

Angel (2006) indica que Minitab, es un paquete estadístico que abarca todos los aspectos necesarios para el aprendizaje y la aplicación de la Estadística en general. El programa incorpora opciones vinculadas a las principales técnicas de análisis estadístico (análisis descriptivo, contrastes de hipótesis, regresión lineal y no lineal, series temporales, análisis de tiempos de fallo, control de calidad, análisis factorial, ANOVA, análisis cluster, etc.), además de proporcionar un potente entorno gráfico y de ofrecer total compatibilidad con los editores de texto, hojas de cálculo y bases de datos más usuales.

2.2.10.9 Puntos de Control

La seguridad de un producto elaborado, de forma lógica y objetiva, debe ser garantizado por un proceso sistemático preventivo denominado puntos críticos, los mismos que gráficamente son ubicados en un diagrama de flujo o diagrama de bloques para cada producto elaborado, donde se identifican todas las características potenciales (físicos, químicos y biológicos) que pueden aparecer en cada etapa del proceso.

2.2.10.10 Puntos Críticos de Control

Punto o etapa que se considere como un peligro para un proceso y que mediante la aplicación de una serie de medidas puede ser evitado.

Pierson y Corlett (1992) citado por Vilar M (2007, p.10) establece que las características idóneas de un PCC son:

- Estar relacionadas con el peligro
- Ser específicas y cuantificables
- Los criterios para establecerlos se basan en la literatura científica
- Estar disponible la tecnología para controlarlos y a costo bajo
- La monitorización es continua
- Al controlarlos se eliminan o se reducen los peligros potenciales

2.2.10.11 Tipos de muestreo no probabilístico

El muestreo no probabilístico se encarga de seleccionar a los sujetos siguiendo determinados criterios procurando, en la medida de lo posible, que la muestra sea representativa.

García M (2008). Establece los siguientes métodos más utilizados:

- **Muestreo intencional o de conveniencia:** Este tipo de muestreo se caracteriza por un esfuerzo deliberado de obtener muestras "representativas" mediante la inclusión en la muestra de grupos supuestamente típicos.
- **Bola de nieve:** Se localiza a algunos individuos, los cuales conducen a otros, y estos a otros, y así hasta conseguir una muestra suficiente
- **Muestreo Discrecional:** A criterio del investigador los elementos son elegidos sobre lo que él cree que pueden aportar al estudio.

2.2.11 Cristalización

En este proceso se produce la formación de los cristales de azúcar a partir del cocimiento de mieles o templeas, mediante una evaporación de simple efecto al vacío en equipos denominados tachos.

La cristalización consiste en concentrar la meladura hasta su punto de saturación, para posteriormente introducir cristales de siembra que sirven de núcleos a los cristales de azúcar, este proceso se completa con la adición de meladura con la finalidad de aumentar el tamaño del cristal.

2.2.12 Dextrana

Polisacárido formado por unidades de glucosa, ocasionado por la acción de cierta especie de bacterias del género *Leuconostoc* sobre la sacarosa cuando la caña o jugos son almacenados

2.2.13 Disacáridos

Son oligosacáridos formados por la unión entre sí de dos monosacáridos en forma glicosídica pudiéndose hidrolizar con ácidos para regresar a los azúcares de origen. En la naturaleza solo se pueden encontrar algunos disacáridos libres entre ellos se encuentran los azúcares de leche, de caña y de malta.

2.2.14 Efecto melasigénico

Chen (1991) establece que el coeficiente melasigénico de los diferentes compuestos no sacarosa es el número de partes de sacarosa que permanece en la melaza saturada por partes de no sacarosa. Los valores del coeficiente melasigénico de algunas no sacarosas se indican en la *Tabla 5.2*.

El efecto melasigénico de los iones disminuye en el orden $K > Na > Ca > Mg$ por lo tanto el potasio y el sodio iónicos son mucho más melasigénico que el ion calcio y magnesio, además el sodio aumenta la viscosidad, mientras que las sales de potasio la disminuye.

Korndorfer (1994) determinó que al existir un exceso de potasio en el cultivo de caña, se incrementa el contenido de cenizas, la cual aumenta la acción melasigénica produciendo inconvenientes en la cristalización al darse la formación de falsos núcleos.

Larrahondo (1995) menciona que algunos minerales como el sodio, asociados a la presencia de altos niveles de potasio, calcio y magnesio, que son comunes en suelos salinos, tienen un marcado efecto melasigénico (producción de mieles) en la etapa de cristalización de la sacarosa y conducen, en consecuencia, a la producción de mieles finales de alta pureza y a una baja recuperación de azúcar comercial. En consecuencia, el desequilibrio de los elementos minerales asimilables, bien sea por el origen o por el uso del suelo, se debe corregir si se quiere alcanzar una alta producción, un alto rendimiento de azúcar y jugos de buena calidad para el proceso fabril. Se requiere, por lo

tanto, una adecuada tecnología en el uso de los fertilizantes, de acuerdo con las necesidades del medio donde se cultiva la caña de azúcar. (Pp. 344-345)

Tabla 5.2. Coeficiente melasigénico (m) de varias no sacarosa.

Catión	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺
Hidróxido	-	4.61	-
Carbonato	3.38	2.88	-
Acetato	2.85	2.71	-0.55
Cloruro	2.48	2.58	0.56
Lactato	1.02	0.81	-0.14
Productos de la descomposición de invertidos	0.70	0.55	-0.65
Nitrato	0.96	0.42	-1.14

Fuente: *Larrahondo, J. (1995).*

2.2.15 Imbibición

Proceso en el cual se aplica agua o jugo caliente al bagazo para aumentar la extracción de jugo del próximo molino.

2.2.16 Índice melasigénico

El índice melasigénico corresponde a la división entre azúcares reductores y cenizas, cuyo efecto se evidencia en la solubilidad de la sacarosa en las diferentes etapas de cristalización y en las altas purezas obtenidas en las melazas.

$$\text{Índice Melasigénico} = \frac{\% AR}{\% C} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Dónde:

% **AR** = porcentaje de azúcares reductores

% **C** = porcentaje de cenizas

2.2.17 Jarabe (meladura)

Jugo concentrado de aspecto viscoso obtenido por evaporación; proceso que tiene como finalidad eliminar la mayor cantidad de agua posible, buscando alcanzar una reducción de agua del 33 – 40 %. Para este proceso es necesaria la utilización de un pre evaporador, cuatro cuerpos de evaporación y un melador, estos equipos trabajan con vapor y al vacío y su presión va disminuyendo para cada evaporador facilitando el flujo.

La meladura obtenida después de este proceso presenta una gran cantidad de sólidos insolubles, razón por la cual es necesario realizar una clarificación, para ello se utiliza un proceso de flotación de las impurezas mediante la inyección de aire.

2.2.18 Magma

Mezcla de cristales de azúcar con un líquido como meladura, jugo o agua, producida por medios mecánicos.

2.2.19 Masa cocida

Concentrado de jarabe o miel, en el cual ha cristalizado el azúcar, o mezcla de cristales, y licor madre producida en los tachos. Las masas cocidas se designan por números o letras que indican su pureza relativa. Del proceso de cristalización se obtienen tres tipos de masas: masa cocida A, masa cocida B y masa cocida C, de las cuales la A es la denominada azúcar comercial y las otras son materiales para procesos de agotamiento de sacarosa a fin de obtener una melaza con un contenido de sacarosa no mayor al 35 %.

2.2.20 Melaza

Es el residuo líquido del cual no resulta económico extraer más azúcar, este producto también recibe el nombre de Miel tercera o simplemente Miel final.

La mayor parte de los no azúcares presentes en el jugo, contiene la melaza, además está compuesta por sustancias nitrogenadas, vitaminas y elementos traza. La composición de la melaza (Tabla.4.2) de caña de azúcar depende de tres factores principales:

- Caña de azúcar
- Tipo de planta procesadora
- Método de manejo de la melaza

Tabla 6.2. Composición de la melaza

Constituyentes Principales	Componentes	Porcentaje en peso (%p/p)
Agua	Agua	17-25
Azúcares	Sacarosa	30-40
	Glucosa	4-9
	Fructosa	5-12
	Otras sustancias reductoras	1-4
Otros carbohidratos	Gomas, almidón, pentosanos, Ácidos urónicos, D-manitol y otros	2-5
Cenizas	Carbonatos bases	
	K ₂ O	7-15
	CaO	30-50
	MgO	7-15
	Na ₂ O	2-14
	Ácidos	0.3-9
	SO ₃	7-27
	Cl	12-20
	P ₂ O ₅	0.5-2.5
SiO ₂	1-7	
Compuestos nitrogenados	Proteína bruta. Proteína verdadera. Aminoácidos, ácido aspártico y glutámico	2.5-4.5
		0.5-1.5
		0.3-0.5
Ácidos no nitrogenados	Ácido aconítico, cítrico, málico, oxálico, glicólico, Mesaconico, succínico, fumarico, tartárico	1.5-6
		0.5-1.5
Ceras, esteroides y lípidos		0.1-1
Vitaminas	Vitamina A, Biotina, niacina, ácido pantoténico, riboflavina, tiamina	Cantidades variables

Fuente: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1689/1/66182G245.pdf>

2.2.21 Miel

Líquido madre que se separa de una masa cocida por medios mecánicos. Se denomina de acuerdo a la masa de donde se obtiene. Su separación se lo realiza en equipos denominados centrifugas que giran a muy alta velocidad, logrando separar al cristal de la miel que lo rodea y mediante un lavado posterior con agua caliente dentro del mismo equipo se obtiene un cristal de aspecto blanco y brillante.

2.2.22 No azúcares

Zossi et al. (2010) indica que los no azúcares son sales de ácidos orgánicos como (fibra, almidón, compuestos antocianos y fenoles) e inorgánicos como (cenizas, fosfato y sílice).

Los no azúcares pueden ser determinados por la diferencia entre el Brix y la Pol y generalmente son provenientes de la materia prima pero presentan una marcada afectación en las distintas etapas del proceso, principalmente en la cristalización alterando la forma y el color del azúcar.

2.2.23 No azúcares inorgánicos

Estos componentes que representan las cenizas se encuentran presentes en la caña de azúcar principalmente en forma de agua, sales, iones, constituyentes de moléculas orgánicas o compuestos insolubles (Tabla 7.2), entre ellos se encuentran principalmente: Sílice, Potasio, Fósforo, Calcio, Sodio, Magnesio, Azufre, Hierro, Cobre, Aluminio, Zinc, entre otros. La mayoría de ellos disueltos en el jugo, son eliminados parcialmente por la clarificación como los fosfatos, sílice y el magnesio. Sin embargo, el potasio, los cloruros, el sodio y las bajas concentraciones de sulfatos no son removidos ocasionando una acumulación durante el procesamiento. A este tipo de compuestos se los considera como factores importantes en la obtención de sacarosa por ser causantes de efectos negativos en la recuperación de la misma.

Para demostrar la presencia de no azúcares inorgánicos, se puede determinar la relación azúcares reductores/cenizas en la miel final, en el azúcar comercial, así como en los diferentes procesos. Si estas dos cifras de razones son idénticas se entiende que no existe

acumulación de cenizas en el azúcar, caso contrario se afirma la presencia relativa de las mismas.

Tabla 7.2. Componentes minerales del jugo, jarabe y melazas de la caña de azúcar

Componente	Concentración (% de sólidos)			
	Jugo sin refinar	Jugo clarificado	Jarabe	Melazas
Potasio (K ₂ O)	0.4 – 1.4	0.3 – 1.0	0.7 – 1.0	2.3 – 6.5
Sodio (Na ₂ O)	0.03 – 0.10	0.03 – 0.09	0.02 – 0.04	0.03 – 0.06
Sulfato (SO ₂)	0.11 – 0.52	0.16 – 0.44	0.20 – 0.61	1.10 – 3.39
Cloruro (Cl)	0.10 – 0.29	0.10 – 0.26	0.16 – 0.46	0.13 – 1.11
Calcio(CaO)	0.17 – 0.32	0.27 – 0.55	0.35 – 0.37	0.86 – 1.61
Magnesio(MgO)	0.20 – 0.33	0.20 – 0.40	0.03 – 0.32	0.68 – 1.87
Silicio(SiO ₂)	0.06 – 0.71	0.07 – 0.33	0.01 – 0.07	0.05 – 1.41
Fosfato(P ₂ O ₃)	0.01 – 0.40	0.02 – 0.08	0.01 – 0.02	0.07 – 0.14
Hierro(Fe ₂ O ₃)	0.06 - 0.14	0.01 – 0.03	0.007 – 0.01	0.04 – 0.07
Ceniza Sulfatada	3.6 – 4.4	2.8 – 3.9	3.1 – 6.5	12.0 – 19.0
Ceniza determinada por conductividad	3.4 – 4.4	3.7 – 4.5	3.0 – 4.7	14.2 – 17.7

Fuente: *Chen, J (1991)*

2.2.24 Pol

Pol (Sacarosa Aparente) Es el valor determinado por polarización directa del peso normal de un producto azucarado. El término Pol, se considera una entidad real para todos los efectos de cálculo.

Se considera como la medición de la propiedad que tienen las soluciones de sacarosa, para hacer girar el plano de polarización de un rayo de luz, siendo este giro, proporcional a la cantidad de sacarosa presente en la solución.

Si la muestra es una solución normal de azúcar la pol es igual al porcentaje de sacarosa.

Para la determinación de sacarosa o Pol se utiliza la ecuación tomada de Buenaventura (1989)

$$Pol = \left(\frac{Lec}{100}\right) \times \left(26.08 \times \frac{Brix}{10}\right) \text{ (Ecuación 12)}$$

Dónde:

Pol = sacarosa aparente

Brix = porcentaje de sólidos disueltos

Lec = lectura del polarímetro

2.2.25 Pureza

Es el porcentaje de sacarosa en el total de sólidos de una muestra. El término pureza generalmente significa pureza aparente.

Buenaventura (1989) define la pureza de una muestra como la relación porcentual de sacarosa y el porcentaje Brix.

$$\% \text{ Pureza} = \frac{\% \text{ Pol}}{\% \text{ Brix}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dónde:

% Pol = porcentaje de sacarosa aparente

% Brix = porcentaje de sólidos disueltos

2.2.26 Razón de azúcares reductores ceniza

Es la razón entre el porcentaje de azúcares reductores y el porcentaje de cenizas.

Domínguez. F y Díaz T (2003). Hacen referencia que un gran número de autores expone que mientras mayor es esta razón, menor es la solubilidad de la sacarosa, menor su efecto melasigénico y por lo tanto mejor la posibilidad de agotamiento de las mieles.

Chen (1991) define a esta razón como la relación en porcentaje entre los azúcares reductores y las cenizas. Este constituye uno de los criterios para juzgar la calidad del azúcar crudo y la proporción de agotamiento de las mieles. (p.989)

Este mismo autor hace referencia al sugerencia que la función de relación AR/C en el agotamiento de mieles se explica como la aplicación de la ley de acción de masas a los equilibrios que representan la formación de los complejos azúcar-sal, y que las ecuaciones para la pureza de las melazas agotadas deben combinar azúcares reductores y cenizas en forma de AR/C, y no por separado. (p. 414)

2.2.27 Relaciones utilizadas en la evaluación de la calidad

Existen numerosas relaciones que son utilizadas para juzgar la calidad que determina el rendimiento de las industria de fabricación de azúcar entre ellas encontramos: invertidos/cenizas, materia orgánica/cenizas, invertidos / (cenizas + materia orgánica), CaO/SO₃ y cenizas/no azúcares totales.

Nos centraremos en la relación azúcares reductores /cenizas. Esta relación ha sido adoptada por varias áreas de cultivo, con la finalidad de predecir la pureza esperada de las mieles finales. Para lo cual Miller et al. (1998), establecen la ecuación de Smith

$$\text{Pureza verdadera esperada} = 40.67 - 17.80 \log(\text{AR}/\text{C}) \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$\text{Pureza verdadera esperada} = 40(\text{AR}/\text{C})^{-0.2} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Dónde:

AR = azúcares reductores

C = cenizas

2.2.28 Sacarosa

La sacarosa es el disacárido con mayor extensión en el reino vegetal, se lo encuentra principalmente en la caña de azúcar del 14 – 16 %. Consta de una molécula de D-glucosa y otra de D-fructosa unidos de forma acetálica por sus grupos hidroxilo hemiacetálicos, esto es entre el átomo C-1 de la glucosa y el átomo C-2 de la fructosa, con la formación de un puente de oxígeno. La sacarosa por lo general forma prismas monoclinicos, que son

fácilmente solubles en agua y poco solubles en alcohol e insolubles en éter. Se funde a una temperatura de 160 °C y, al solidificarse, forma una masa vítrea. A partir de los 180 °C se transforma en caramelo. Sus disoluciones tienen la propiedad de desviar hacia la derecha la luz polarizada, circunstancia que permite determinar la proporción de azúcar que contiene una disolución.

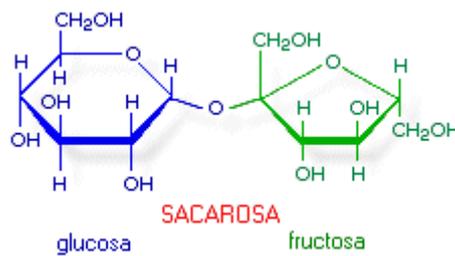


Ilustración 5.2. Representación gráfica de la Condensación de glucosa y fructosa para formar la sacarosa. Chen. J (1991)

2.2.29 Solubilidad de la sacarosa

La solubilidad de la sacarosa se la puede expresar como el porcentaje de sólidos disueltos en peso como g de sacarosa/g de agua o g de sacarosa/100 g de agua.

La solubilidad generalmente en mieles se lo realiza con la finalidad de definir límites de pureza en los cuales se pueda obtener una cristalización satisfactoria de la sacarosa. De esta manera se llega a la conclusión de que un buen agotamiento se da cuando la solubilidad de la sacarosa está reducida por la influencia de los no azúcares.

Gil, Z.N. (2007) demostró que los iones sodio y potasio tienen efectos melasigénicos; que aumentan la solubilidad de la sacarosa y por lo tanto disminuyen el agotamiento de la miel final.

La solubilidad de la sacarosa está determinada por la clase y la cantidad de impurezas presentes, las mismas que varía por diferentes factores sean estos agrícolas, clima, época del año y procesamiento. En su gran mayoría tienden a aumentar la solubilidad de la sacarosa independientemente de la temperatura. El azúcar invertido lo reduce mientras que otros componentes no azúcares parecen tener poca influencia. A partir de esto se

puede concluir, que la solubilidad de la sacarosa a cualquier temperatura depende principalmente de la cantidad de azúcares reductores y elementos inorgánicos presentes.

Honig (1969) menciona que este principio está expresado por el coeficiente de solubilidad que se lo define como el número de solubilidad de la solución impura dividida entre el número de solubilidad de la sacarosa pura a la misma temperatura, permitiendo una comparación directa con la solubilidad de la sacarosa pura y dando un resultado que no es afectado por la temperatura. (p, 77)

Para que se pueda afirmar que se disuelve menos sacarosa que el caso del agua pura los coeficientes de solubilidad deben ser menores a 1.

2.2.30 Sulfitación

En el jugo de caña existen compuestos que son no azúcares y que al reaccionar con otros forman sustancias coloreadas, entre estos están los poli fenoles y los Amino compuestos que son indeseables en el azúcar y generan una gran pérdida económica para el ingenio. Para mantener estas sustancias coloreadas en los límites permisibles se realiza el proceso de sulfitación que consiste en una reacción de absorción del jugo mixto con bióxido de azufre hasta conseguir un pH de 4 a 4.6. Este proceso consigue inactivar o al menos minimizar la acción de los Poli fenoles y los Amino compuestos.

Este proceso se basa en una absorción de gas en un líquido la misma que se la define como una operación de unidad de la ingeniería química que ha sido desarrollada desde el punto de vista técnico. Este proceso se lo realiza mediante un sistema de contracorriente, dentro de una torre de absorción empaquetada, ya que se trabaja con concentraciones elevadas del gas contaminante.

El bióxido de azufre se lo obtiene mediante una combustión de azufre sólido, el cual es introducido a la torre por un tiro inducido generado por unos ventiladores, provocando que los gases entren por la parte inferior de la torre y en su trayectoria sean captados por el jugo que desciende por ella.

2.2.31 Velocidad de cristalización

La velocidad de cristalización es conocida al proceso de formación de cristales de sacarosa que ocurren solamente en soluciones sobresaturadas. Este crecimiento se da primero con la formación del núcleo, y luego con su crecimiento gradual. En una solución concentrada de sacarosa considerada como sobresaturada el crecimiento del cristal es espontáneo y rápido; sin embargo en presencia de impurezas y componentes que no son considerados como sacarosa este crecimiento se ve afectado tanto en su velocidad como en la forma que adopte el mismo.

Las impurezas tienen un marcado efecto en la etapa de cristalización ya que la mayoría de ellas retardan su velocidad como es el caso de los CO_3K_2 , CO_3Na_2 , $(\text{NO}_3)\text{Ca}$, sin embargo otras la aceleran como el Cl_2Ca , por lo tanto cada impureza tiene un efecto específico en la velocidad de cristalización dependiendo de su naturaleza.

De este modo se puede afirmar que la velocidad de cristalización disminuye notablemente a medida que disminuye la pureza de una miel, ocasionando una significativa reducción en los tiempos de evaporación y de coadura.

2.2.32 Viscosidad de la sacarosa

Una solución impura posee un mayor contenido de sólidos totales en el estado de saturación que los de una solución pura y saturada a la misma temperatura, lo que da a entender que la viscosidad será mayor para el primer caso.

La viscosidad crece rápidamente al aumentar el contenido de impurezas, debido a esto las mieles finales en el estado de saturación poseen una mayor viscosidad que la de las soluciones puras saturadas. Al igual que la solubilidad de la sacarosa la viscosidad también varía dependiendo de la naturaleza y concentración de las impurezas.

Chen. J (1991) menciona que para cualquier tipo particular de impureza natural, entre mayor sea la concentración de impurezas naturales de una solución saturada, mayor será la viscosidad. Sin embargo, la viscosidad de las mieles a la misma temperatura, pureza y

contenido total de sólidos puede variar bastante a causa de la naturaleza y composición de las impurezas. (p. 389)

Relación de la pureza de melazas con la relación AR/C a varias viscosidades

Como se había mencionado anteriormente la solubilidad de la sacarosa aumenta con la presencia de sales inorgánicas y disminuye con los azúcares reductores, por lo tanto las purezas de las mieles finales agotadas son afectadas por estas sustancias.

Chen. J (1991) realizó un estudio completo de la relación entre viscosidad, pureza y relación AR/C o (relación invertidos/C) demostró que a una definida viscosidad la pureza disminuye cuando la relación AR/C aumenta. (p. 392)

La relación entre la viscosidad y la pureza, debe indicar que existe una relación entre la viscosidad, pureza, azúcares reductores y sales. Esto se ha demostrado que esto es así en Hawai donde, durante muchos años las medidas de control de la fábrica usadas en la recuperación del azúcar de las mieles han estado basadas en la relación de pureza, razón sustancias reductoras cenizas y viscosidad. A una viscosidad definida la pureza disminuye cuando la razón sustancias reductoras cenizas aumenta.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 Hipótesis y especificación de variables

3.1.1 *Hipótesis General*

- Mediante la DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE MELASIGÉNICO EN LAS ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AZÚCAR BLANCO, se obtendrán mecanismos de control que permitan adquirir valores de % cenizas que promuevan una mayor recuperación de sacarosa.

3.1.2 *Hipótesis Específicas*

- Mediante la caracterización inicial de cenizas y azúcares reductores que inciden en la determinación del índice melasigénico en las etapas de elaboración de azúcar, se podrá evaluar el estado actual del proceso con un levantamiento de información de las variables.
- Mediante la identificación de puntos críticos de control en el proceso, se podrá establecer las etapas cuyo índice melasigénico tenga mayor incidencia en la producción de mieles finales de alta pureza.
- Mediante la investigación, se logrará plantear alternativas de optimización que permitirán disminuir el efecto melasigénico y obtener una mayor recuperación de sacarosa.
- Mediante la comparación del índice melasigénico recomendado por la industria azucarera, con la obtenida en el Ingenio Azucarero del Norte, se podrá comprobar si los sistemas de optimización planteados contribuyen a una mayor recuperación de sacarosa.

3.1.3 Identificación de Variables

3.1.3.1 Dependientes

- Cenizas
- Azúcares reductores

3.1.3.2 Independientes

- pH
- °Brix
- Pureza
- Pol

3.1.3.3 Variables operacionales

- Temperatura
- Concentración
- Tiempo

3.1.4 Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL		HIPOTESIS GENERAL
<p>La producción de mieles finales de alta pureza evidencia la poca recuperación de sacarosa, principalmente en la etapa de cristalización debido a los efectos melasigénicos que producen algunos iones presentes en la caña de azúcar y que se agudizan a lo largo del proceso.</p>		<p>Determinar del índice melasigénico en las etapas del proceso de elaboración de azúcar blanco en el Ingenio Azucarero del Norte IACEM y su influencia global en la recuperación de sacarosa</p>		<p>Mediante la DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE MELASIGÉNICO EN LAS ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE AZÚCAR BLANCO, se obtendrán mecanismos de control que permitan obtener valores de %cenizas que promuevan una mayor recuperación de sacarosa.</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICA	VARIABLES H. ESPECIFICAS	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<p>Un alto contenido de cenizas representa una disminución en la recuperación de sacarosa ya que impiden la incorporación de moléculas de este compuesto al cristal generando una dificultad en su crecimiento. De igual</p>	<p>Realizar una caracterización inicial de cenizas y azúcares reductores, para establecer el índice melasigénico en las diferentes etapas del proceso de elaboración de azúcar.</p>	<p>Mediante la caracterización inicial de cenizas y azúcares reductores que inciden en la determinación del índice melasigénico en las etapas de elaboración de azúcar, se podrá evaluar el estado actual del proceso con un</p>		<p>Para el desarrollo del proyecto de investigación se utilizaran los siguientes métodos: inductivo, deductivo, experimental y descriptivo los mismos que permitirán un resultado positivo en la recuperación de sacarosa</p>

<p>manera los azúcares reductores son los responsables de efectos negativos, por ser los que modifican la solubilidad del azúcar produciendo la inversión de la misma.</p>		levantamiento de información de las variables.	<ul style="list-style-type: none"> • Cenizas • Azúcares reductores 	
	Identificar las etapas del proceso cuyo índice melasigénico tenga mayor afectación en la recuperación de sacarosa	Mediante la identificación de puntos críticos de control en el proceso, se podrá establecer las etapas cuyo índice melasigénico tenga mayor incidencia en la producción de mieles finales de alta pureza.		
	Plantear alternativas de optimización en las etapas del proceso identificadas, para disminuir el efecto melasigénico.	Mediante la investigación, se logrará plantear alternativas de optimización que permitirán disminuir el efecto melasigénico y obtener una mayor recuperación de sacarosa.		

	<p>Establecer la relación del índice melasigénico recomendado por la industria azucarera, con la obtenida en el Ingenio Azucarero del Norte.</p>	<p>Mediante la comparación del índice melasigénico recomendado por la industria azucarera, con la obtenida en el Ingenio Azucarero del Norte, se podrá comprobar si los sistemas de optimización planteados contribuyen a una mayor recuperación de sacarosa.</p>		
--	--	---	--	--

3.2 Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación enfocado a este proyecto es descriptiva, ya que mediante la observación y el análisis de las variables de estudio que inciden en cada uno de los procesos de elaboración de azúcar se identificará las posibles causas de la obtención de mieles finales de alta pureza, describiendo la influencia de estas variables en las etapas donde se encuentra mayor incidencia de las mismas.

El diseño experimental de esta investigación se realizará mediante la toma de muestras en cada etapa del proceso de elaboración de azúcar, utilizando como métodos la inducción y deducción, con la finalidad de identificar si las variables analizadas para la determinación del índice melasigénico influyen en la recuperación de sacarosa y que alternativas de optimización propondríamos para que los mismos se ajusten a las necesidades de la empresa.

3.2.1 Inductivo

Para realizar el siguiente estudio se tomarán veinte muestras de cada etapa del proceso, una por día, con la finalidad de realizar los análisis correspondientes tanto en el laboratorio de campo, como en el de control de calidad del Ingenio Azucarero del Norte.

3.2.2 Deductivo

El método deductivo en este estudio, nos va a permitir dar solución al problema que genera los altos porcentajes de cenizas en la recuperación de sacarosa, planteando alternativas de optimización, en base a la deducción de los resultados de los análisis realizados, a las muestras tomadas en cada etapa del proceso.

3.3 Unidad de Análisis

El objeto de estudio son las muestras de cada una de las etapas del proceso de elaboración de azúcar blanco, a las cuales se les realizara los análisis de cenizas, azúcares reductores, brix, pol y pureza.

3.4 Población de Estudio

Producción de azúcar a partir de 1200 TM de caña por día. Los criterios de inclusión exclusión son los siguientes.

- Cada etapa del proceso se toma una muestra
- Toneladas de caña molidas en el primer turno de trabajo de la empresa

3.5 Tamaño de Muestra

El proceso de muestreo se realizará en cada una de las etapas de elaboración de azúcar del Ingenio Azucarero del Norte. La muestra es tomada mediante un muestreo no probabilístico discrecional.

El tamaño de la muestra se lo determina mediante el análisis a realizar y dependiendo del proceso.

Tabla 8.3. Tamaño de Muestra

LUGAR DE MUESTREO	DIAS DE MUESTREO	NUMERO DE MUESTRAS DIARIAS	TOTAL DE MUESTRAS EN LA SEMANA	TOTAL DE MUESTRAS
MUESTRAS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE SACAROSA				
Etapas del proceso	20	12	60	240
			TOTAL DE MUESTRAS	240

Realizado por: Suárez Katherine.(2016)

Tabla 9.3. **Tamaño de Muestra por Proceso**

PROCESO	TAMAÑO DE LA MUESTRA
Recepción de la Materia Prima	6 kg
Extracción del jugo	500 ml
Sulfatación	500 ml
Alcalización	500 ml
Clarificación	500 ml
Filtración de cachaza	500 ml
Evaporación	300 ml
Centrifugación	250 ml

Realizado por: Suárez Katherine.(2016)

3.6 Selección de muestra

La selección se lleva a cabo en cada etapa del proceso y posteriormente cada muestra es trasladada al laboratorio de campo o al laboratorio de calidad, con su respectiva identificación como sea necesario, para la realización de los análisis respectivos.

3.6.1 *Materia prima*

A partir de cada 80 TM de caña que ingresa a la fábrica, se tomó una muestra de 6 Kg de uno de los camiones con una sonda mecánica, que luego pasa a una picadora eléctrica de donde se toma una pequeña cantidad que posteriormente ingresará a una prensa, donde se extrae el jugo que se divide en tres partes aproximadamente de 200 ml para determinación de brix, pol, azúcares reductores y cenizas.

3.6.2 *Materiales en proceso*

3.6.2.1 *Jugo Primario (de la primera extracción)*

Se toma la muestra del jugo que sale de la masa del primer molino, con la ayuda de un recipiente con extensión de varilla metálica y se la recoge en un frasco con tapa, de preferencia de plástico que posea aproximadamente una capacidad de 500 ml.

3.6.2.2 *Jugo Mixto*

Del tanque de jugo mixto, se toma la muestra de los jugos recogidos del primero hasta el cuarto molino, con la ayuda de un recipiente con extensión de varilla metálica en un frasco con tapa y con una capacidad de 500 ml.

3.6.2.3 *Jugo Último o Residual*

De la masa bagacera del ultimo molino se toma una muestra de aproximadamente 500 ml en frasco con tapa.

3.6.2.4 *Jugo Encalado*

Tomar una muestra del tanque de jugo encalado o alcalizado, en un frasco con tapa de plástico con una capacidad de 500 ml y enfriar a temperatura ambiente.

3.6.2.5 *Jugo Sulfitado*

De la salida de la torre de sulfitación, se toma una muestra de jugo en un frasco con tapa, llevarlo al laboratorio y dejar enfriar a temperatura ambiente para realizar los análisis.

3.6.2.6 *Jugo Claro*

Con la ayuda de un recipiente de cobre con extensión de varilla metálica, tomar una muestra del clarificador, trasladarlo a un frasco y dejar enfriar a temperatura ambiente para análisis.

3.6.2.7 *Jugo Filtrado*

Tomar una muestra de la descarga del jugo del filtro de cachaza, llevarla al laboratorio y dejar enfriar a temperatura ambiente.

3.6.2.8 *Jarabe o meladura*

Se recoge una muestra del clarificador de meladura en un recipiente de plástico con agarradera.

3.6.2.9 Miel A, R y B

De la tubería de la purga se toma una muestra, después de aproximadamente 20 segundos del primer caudal de miel que se descarga, en un recipiente de plástico de aproximadamente 250 ml.

3.6.2.10 Miel C o Final

Se recoge una muestra de la tubería de la purga de la centrifuga, en un recipiente de 250 ml, después de unos 30 segundos que haya iniciado la purga.

3.6.3 Producto terminado

Para la selección de la muestra se utilizará la Norma NTE INEN 0262:1980, AZÚCAR MUESTREO, la misma que tiene por objeto establecer el método para extraer muestras de azúcar.

La toma de muestras deberá realizarse en un lugar que tenga protección contra la humedad, el polvo y otras contaminaciones ambientales.

El procedimiento a seguir para la selección de la muestra se describe en la misma Norma

3.7 Técnicas de Recolección de Datos

La investigación se realizó mediante observación directa de los hechos, para lo cual se realizaron análisis de: cenizas, azúcares reductores, brix, pol y pureza.

Se establecieron puntos de control (Fig. 1.3), en el proceso de elaboración de azúcar blanco.

A partir de los cuales se tomaron los datos de los correspondientes análisis.

El estudio y determinación de los puntos de control presentes en el diagrama del proceso se muestran en la Tabla 10.3

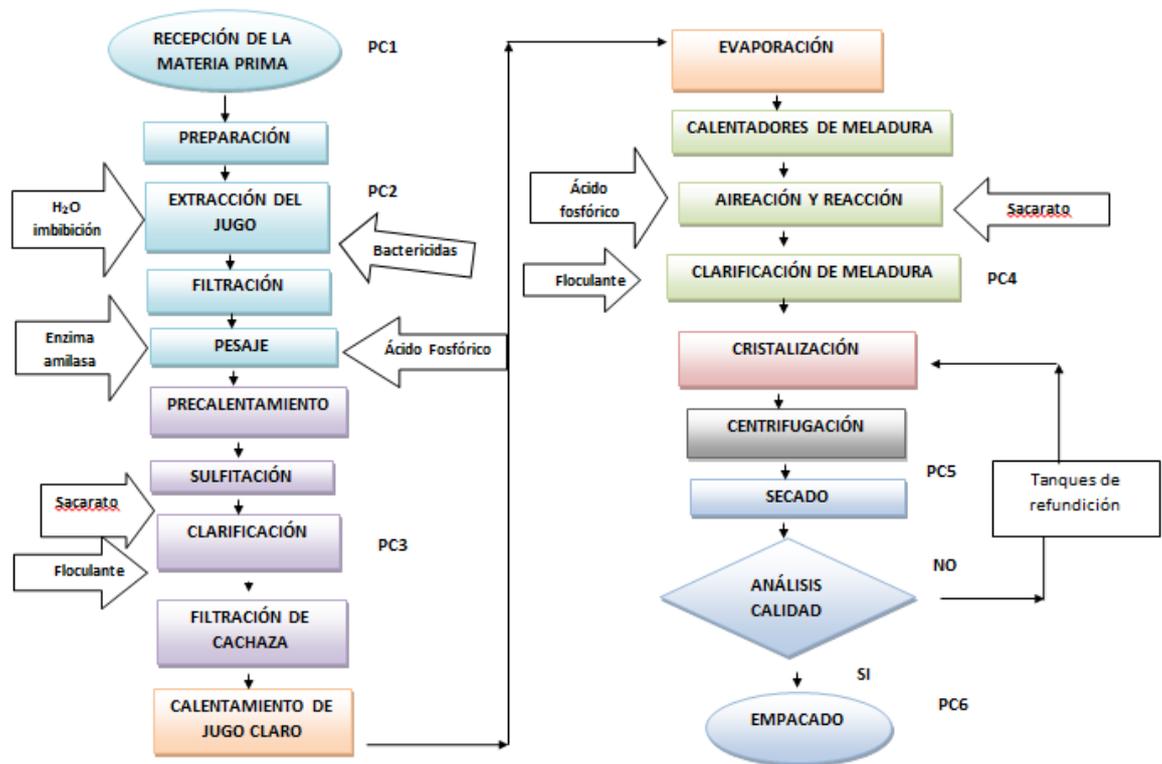


Figura 1.3. Diagrama de Puntos de Control

Tabla 10.3. Puntos de control en el proceso

P.C No	Puntos de control	Característica de control	Especificación rango Unidad: Min Máx.	Norma técnicas Internas o externas	Métodos de medición, ensayo/ pruebas	Frecuencia de control	Método de inspección
MATERIAS PRIMAS MATERIALES E INSUMOS							
CAÑA DE AZUCAR							
1	Recepción	Cenizas (%)	3.0-4.4	Interna	Física	Diaria	Por muestreo discrecional
		Azúcares Reductores (%)	≤ 1.5	Interna	Físico-Químico	Diaria	
CAL							
1	Recepción	Pureza (%)	≥ 60	Externa	Físico-Químico	Cada ingreso	
MATERIALES EN PROCESO							
2	Extracción del Jugo	Cenizas (%)	3.0-4.4	Interna	Física	Diaria	Por muestreo discrecional
		Azúcares Reductores (%)	≤ 1.7	Interna	Físico-Químico		
3	Clarificación	Cenizas (%)	.37-4.5	Interna	Física	Diaria	
		Azúcares Reductores (%)	≤ 2.6	Interna	Físico-Químico	Diaria	
4	Cristalización	Cenizas (%)	3.9-4.7	Interna	Física	Diaria	
		Azúcares Reductores (%)	≤ 4.4	Interna	Físico-Químico	Diaria	
5	Centrifugación	Cenizas (%)	≤ 16	Interna	Física	Diaria	
		Azúcares Reductores (%)	≤ 16	Interna	Físico-Químico	Diaria	
PRODUCTO FINAL							
6	Envasado	Cenizas (%)	≤ 0.10	Externa	Físico	Antes de envasar	Norma NTE INEN 0262:1980, AZÚCAR MUESTREO
		Azúcares Reductores (%)	≤ 0.10	Externa	Físico-Químico	Antes de envasar	

Realizado por: Suárez Katherine. 2016

Se tomaron muestras de cada etapa de los diferentes procesos de producción de azúcar blanco. Las muestras tomadas se partieron en dos fracciones para ser analizadas de la siguiente manera.

Fracción 1: fueron utilizadas en análisis de cenizas y azúcares reductores, para los cuales la muestra no fue sometida a ningún pre tratamiento, es decir permaneció en su estado original para el análisis, solamente para la determinación de azúcares reductores fue necesario diluir a la muestra.

Fracción 2: estas fracciones fueron utilizadas para determinar brix y pol, a estas muestras fue necesario un tratamiento de clarificación con octapol, con la finalidad de que se pueda realizar la lectura en el polarímetro.

3.7.1 Caracterización físico química

La metodología de los análisis realizados fue tomada del Manual de laboratorio para la industria Azucarera. (Buenaventura 1989).

3.7.1.1 Sólidos solubles (%brix)

Fundamento

El análisis de determinación de sólidos solubles, se lo realiza mediante refractómetro, en donde el ángulo de refracción de un rayo de luz a través de una solución acuosa de azúcar depende de la concentración y temperatura de la solución. La concentración de sólidos (Brix) de las soluciones de azúcar se determina por la medida del índice de refracción de la solución, tanto de jugo como para jarabes y su procedimiento se encuentra descrito en el MLAT (Manual de Laboratorio para la Industria Azucarera Técnicaña), en donde, la muestra de jugo que se toma aproximadamente de 100 ml se filtra y se mide directamente, mientras que la de jarabe y mieles se realiza una dilución en donde se toma 100 g de jarabe y se la lleva a un peso de 300 g con agua destilada y en el caso de las mieles se

pesa 35 g y se le lleva a un peso de 350 g con agua destilada, posteriormente se mide en el refractómetro

Materiales

- Embudo de filtración
- Papel filtro
- Vaso de precipitación de 250 ml

Equipos

- Refractómetro

Reactivos

- Agua destilada

3.7.1.2 *Sacarosa (Pol)*

Fundamento

La determinación de sacarosa se lo realiza en un sacarímetro, el cual para medir utiliza la polarización de los diferentes productos del proceso y con esta determinar los contenidos de sacarosa. La operación del instrumento está basada en la dextrorrotación del plano vibracional de la luz polarizada causada por la actividad óptica de la sacarosa en soluciones acuosas la cual es proporcional a la concentración bajo ciertas condiciones específicas. Las soluciones se preparan añadiendo una cantidad considerable de octapol, en jugos se añade directamente, mientras que en la meladura y las mieles se realiza una dilución con agua destilada, posteriormente se filtrar desechando los primeros 25 ml, y se realiza la lectura. El procedimiento se encuentra descrito en el MLAT.

Materiales

- Embudo de filtración
- Papel filtro
- Vaso de precipitación de 250 ml y de 500 ml
- Envase plástico de 250 ml con tapa

Equipos

- Polarímetro o Sacarímetro

Reactivos

- Agua destilada
- Octapol

3.7.1.3 Azúcares reductores

Fundamento

Para la determinación del contenido de azúcares reductores se utiliza el método de Lane y Eynon descrito en el MLAT, en donde una muestra se titula con una solución de Fehling. En un Erlenmeyer se coloca 5 ml tanto de Fehling A como de B y 15 ml de la muestra, se coloca en el plato de calentamiento hasta ebullición, por dos minutos se deja la muestra en este estado y se añade 5 gotas de azul de metileno y se procede a la titulación hasta que el indicador se decolore completamente, anotando los ml gastados. En el caso del jarabe y de las mieles se necesita diluir la muestra en agua y se adiciona EDTA como secuestrante del calcio presente en la muestra y que interfiere con la determinación.

Materiales

- Pipetas de 5 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Bureta de 25 ml
- Balanza
- Plato de calentamiento
- Soporte universal
- Balón de aforo de 200 ml

Reactivos

- Solución Fehling A

- Solución Fehling A
- Indicador azul de metileno
- Solución EDTA

Resultados

El nivel de azúcares reductores se determina mediante interpolación a partir de la Cuadro del ANEXO I y ese valor debe ser corregido haciéndole relación con el brix.

3.7.1.4 Cenizas por conductividad

Fundamento

Las medidas de conductividad de soluciones electrolíticas se basan en la medida de resistencia a conducir la corriente eléctrica de dichas soluciones. Para esto se utiliza puente de Wheatstone, con varias resistencias y un selector para escoger la resistencia apropiada. La conductividad o conductancia es recíproca de la resistencia. Para medir resistencia o conductancia, se utilizan dos electrodos o celdas que se conectan al puente y se sumergen en la solución la cual viene a ser una resistencia del puente Wheatstone. Para esta determinación se toma una cantidad de muestra determinada mediante el resultado del brix de tal manera que al hacer la dilución, el contenido de sólidos totales sea de 5 ± 0.01 g. la cantidad determinada se pesa y se coloca en un balón volumétrico de 100 ml, se completa con agua destilada y se mide la conductividad.

Materiales

- Vasos de precipitación de 250 ml
- Balón volumétrico 100 ml

Equipos

- Conductímetro

3.7.1.5 pH

Fundamento

Las medidas de pH se realizan por la medida de la diferencia de potencial entre un par de electrodos colocados dentro de una solución. Se utiliza un electrodo de vidrio en combinación con un electrodo de referencia. Para este análisis se introduce directamente el electrodo en la muestra y se toma la lectura que marca el pHmetro.

Este valor de pH viene dado por el logaritmo decimal de la concentración de iones hidronio (H⁺) en la solución, el análisis debe realizarse a temperatura ambiente.

Materiales

- Vasos de precipitación de 250 ml

Equipos

- pH-metro

3.7.2 Recolección, clasificación, registro y codificación de los datos

Una vez realizados los análisis correspondientes a las muestras tomadas en cada etapa, los datos fueron recolectados en tablas, las cuales fueron construidas siguiendo el esquema descrito en el APENDICE I.

Los datos registrados para cada etapa del proceso de elaboración de azúcar blanco se encuentran en el apartado de datos en el APENDICE II.

Con los datos obtenidos de los análisis realizados se procedió al cálculo de % de cenizas, % de azúcares reductores y relación AR/C (Índice Melasigénico):

- **Determinación del % de Cenizas**

Mediante las lecturas obtenidas de la conductividad tanto del agua destilada como de disolución de la muestra se determinó el porcentaje de cenizas, calculado mediante la (Ecuación 1) y la (Ecuación 2). Obteniendo los siguientes resultados en cada etapa.

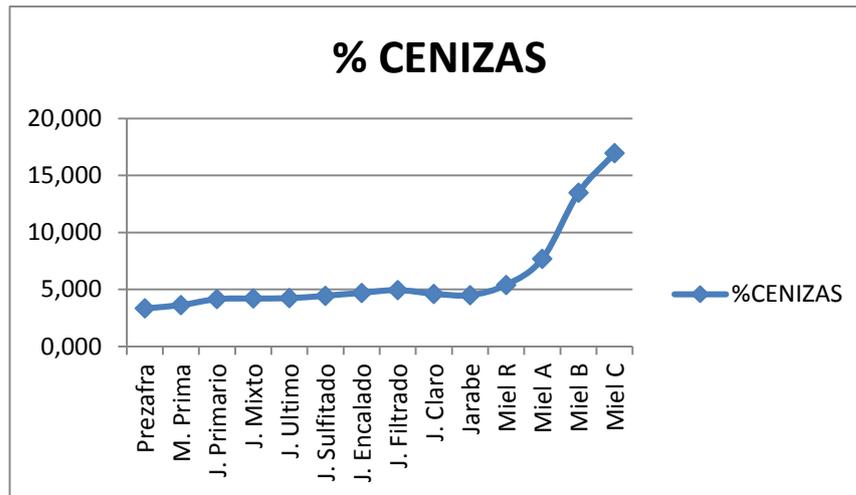


Figura 2.3. % Cenizas en los productos de las etapas del proceso

Se observa en la Figura 2.3, que los valores de % de cenizas va aumentando en cada etapa del proceso. Tomando en cuenta que en el jugo claro se debería tener una reducción considerable de cenizas, esto no ocurre ocasionando en los procesos posteriores una mayor acumulación de las mismas.

- **Determinación del % azúcares reductores**

El porcentaje de azúcares reductores fue determinado por el SISLAB (Sistema de Laboratorio para ingreso de resultados de análisis, con la finalidad de calcular y controlar parámetros de producto terminado y producto en fabrica) del laboratorio de calidad del Ingenio Azucarero del Norte CEM, el cual utiliza parámetros internos de la empresa para el cálculo directo de azúcares reductores.

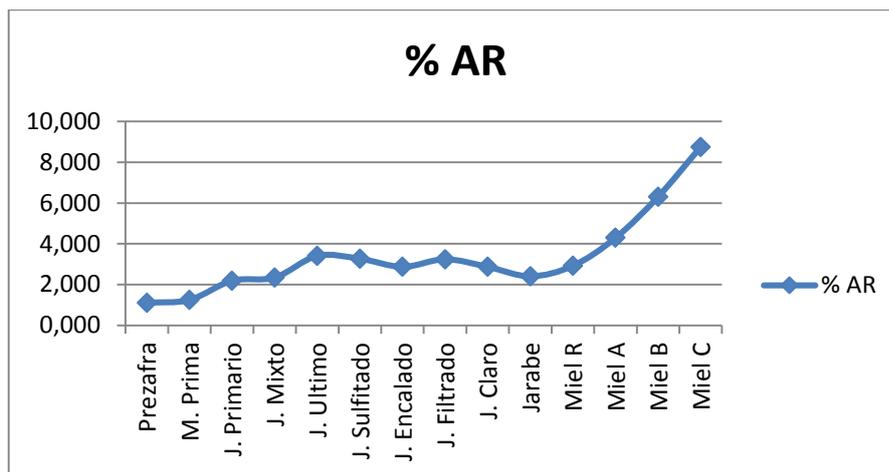


Figura 3.3. % Azúcares Reductores en los productos de las etapas del proceso

En la Figura 3.3 se observa un comportamiento similar al de las cenizas, los azúcares reductores van aumentando a lo largo del proceso, producto de un deterioro químico o microbiano, que generalmente ocasionan la formación de dextranas.

- **Determinación del índice melasigénico (Relación AR/C)**

Con los valores de % cenizas y azúcares reductores se determinó el índice melasigénico para cada etapa del proceso mediante la (Ecuación 11).

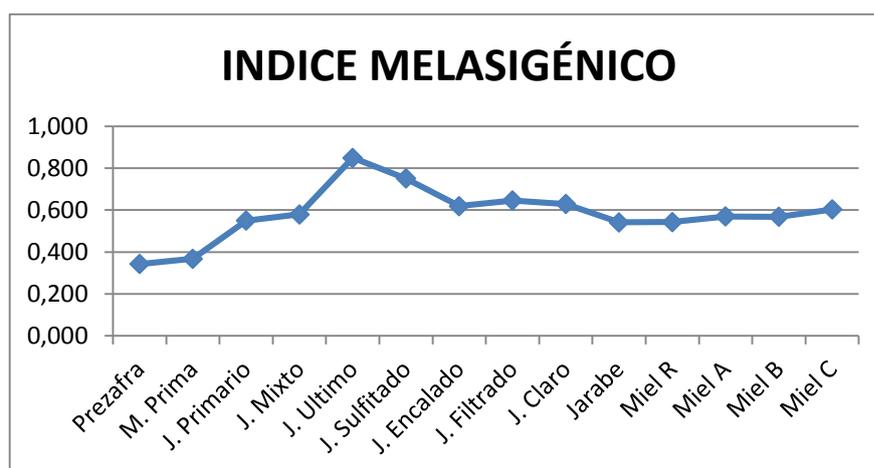


Figura 4.3. Índice Melasigénico en los productos de las etapas del proceso

La Figura 4.3, muestra una incidencia significativa de contenido de cenizas ya que todos los valores obtenidos son menores a la unidad. Considerando que no en todas las etapas

es posible obtener una igualdad de cenizas y azúcares reductores por la naturaleza de las mismas, los valores son demasiado pequeños y en las etapas que presentan mayor valor del índice se considera que existe una demasiada inversión de la sacarosa que debe ser controlada.

- **Análisis de melaza**

La pureza de la melaza se la puede considerar como el principal indicativo de no tener una adecuada recuperación de sacarosa.

A partir del resultado del índice melasigénico de la melaza y mediante la utilización de la (Ecuación 15), se determinó la pureza real esperada. La misma que puede ser comparable con las purzas que debe tener una industria azucarera con procesos controlados y equipos eficientes como se puede observar en la Tabla 6.2. En base a este criterio y a partir de un simple despeje matemático a la misma ecuación de Smith es posible calcular los límites teóricos del índice melasigénico que debería tener una industria con un adecuado agotamiento de mieles.

Los valores obtenidos de % cenizas, % azúcares reductores y relación AR/C, para cada proceso se muestran en el APÉNDICE III.

3.7.2.1 Análisis estadístico

- **Determinación de la media aritmética**

Para una mejor interpretación a los valores obtenidos de los análisis y de la determinación de cenizas, azúcares reductores e índice melasigénico. Se calculó la media aritmética en cada etapa del proceso, mediante la (Ecuación 10) y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11.3. Media aritmética de los datos de cada etapa del Proceso

Operaciones	Etapas	Purezas	Brix	% Cenizas	% AR	Índice melasigénico
Recepción de la materia prima	Prezafra	88,11	20,630	3,348	1,109	0,343
	Zafra	88,03	20,938	3,635	1,251	0,368
Extracción	J. Primario	87,21	19,001	4,161	2,190	0,550
	J. Mixto	86,73	17,611	4,215	2,347	0,579
	J. Ultimo	82,01	4,011	4,243	3,408	0,849
Clarificación	J. Sulfitado	86,89	16,755	4,459	3,270	0,751
	J. Encalado	85,94	16,813	4,715	2,872	0,620
	J. Filtrado	84,90	16,297	4,953	3,244	0,646
	J. Claro	85,48	17,462	4,632	2,872	0,630
Cristalización	Jarabe	84,59	56,743	4,511	2,408	0,542
Centrifugación	Miel R	82,70	77,980	5,413	2,923	0,543
	Miel A	73,42	79,475	7,710	4,296	0,569
	Miel B	55,42	83,100	13,490	6,311	0,568
	Melaza	42,40	85,795	16,968	8,756	0,603

Realizado por: Suárez Katherine (2016)

- **Determinación de la desviación estándar**

El cálculo de desviación estándar se lo realizo utilizando la (Ecuación 8) únicamente a los datos del índice melasigénico, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12.3 Desviación estándar del índice melasigénico, en los productos de las etapas del proceso

Operaciones	Etapas	Índice melasigénico	Desviación Estándar
Recepción de la materia prima	Prezafra	0,34263	0,095
	Zafra	0,36842	0,160
Extracción	J. Primario	0,54972	0,224
	J. Mixto	0,57938	0,227
	J. Ultimo	0,84891	0,319
Clarificación	J. Sulfitado	0,75091	0,256
	J. Encalado	0,61950	0,180
	J. Filtrado	0,64603	0,214
	J. Claro	0,62958	0,203
Cristalización	Jarabe	0,54161	0,142
Centrifugación	Miel R	0,54287	0,123
	Miel A	0,56947	0,140
	Miel B	0,56797	0,132
	Melaza	0,60300	0,074

Realizado por: Suárez Katherine (2016)

- **Gráficos de líneas**

Para la interpretación de los resultados los datos obtenidos, se reportaron en gráficos estadísticos de líneas, tomando en cuenta la media aritmética y los límites de especificación establecidos mediante la investigación y por normas internas de la empresa para: cenizas, azúcares reductores y relación AR/C.

Los gráficos estadísticos de líneas fueron construidos con la ayuda del programa MINITAB para cada punto de control y fueron la base para el cálculo del porcentaje de cumplimiento de los datos, con la utilización de la (Ecuación 9) en cada uno de ellos de la siguiente forma:

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{X_{DLE}}{XT} \times 100$$

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{19}{50} \times 100$$

$$\% \text{ Cumplimiento} = 38$$

MATERIA PRIMA

- **PUNTO DE CONTROL 1(Recepción)**

En este punto se toma en consideración dos etapas, la prezafra con la finalidad de analizar la calidad de la materia prima antes de ser cosechada y la zafra es decir la caña que ingresa a la fabrica para su inmediato procesamiento.

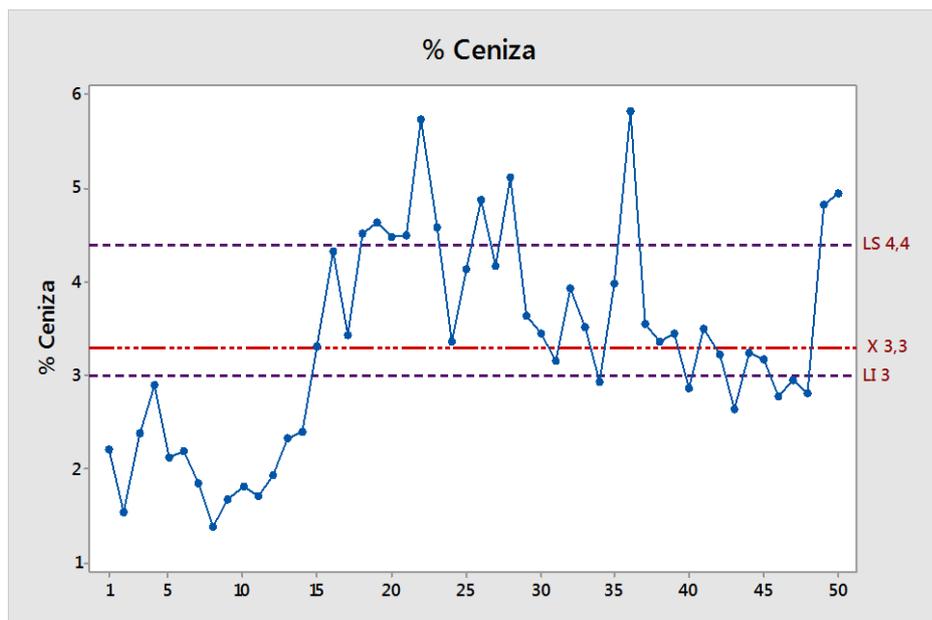


Figura 5.3. % Cenizas en Pre-zafra

En la Figura 5.3, se observa que existe un 38 % de cumplimiento de los datos, el 22 % de ellos se encuentran sobre el límite superior establecido considerando que se ha producido una sobre maduración de la caña, al contrario el 48 % se encuentra bajo los límites indicándonos que la mayor cantidad de caña analizada en este punto no ha sido fertilizada adecuadamente.

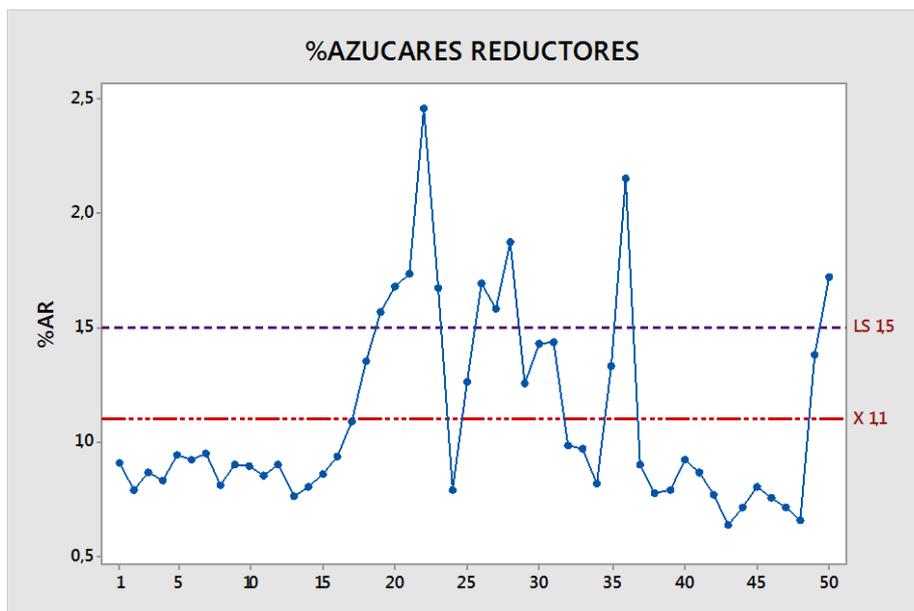


Figura 6.3. % Azúcares Reductores en Pre-zafra

El porcentaje de cumplimiento de azúcares reductores es del 80 % como se observa en la Figura 6.3, el 20 % restante son valores que se encuentran fuera de especificación, producto de inversión de sacarosa que puede ser ocasionados principalmente por deterioro microbiano presente en el ambiente.

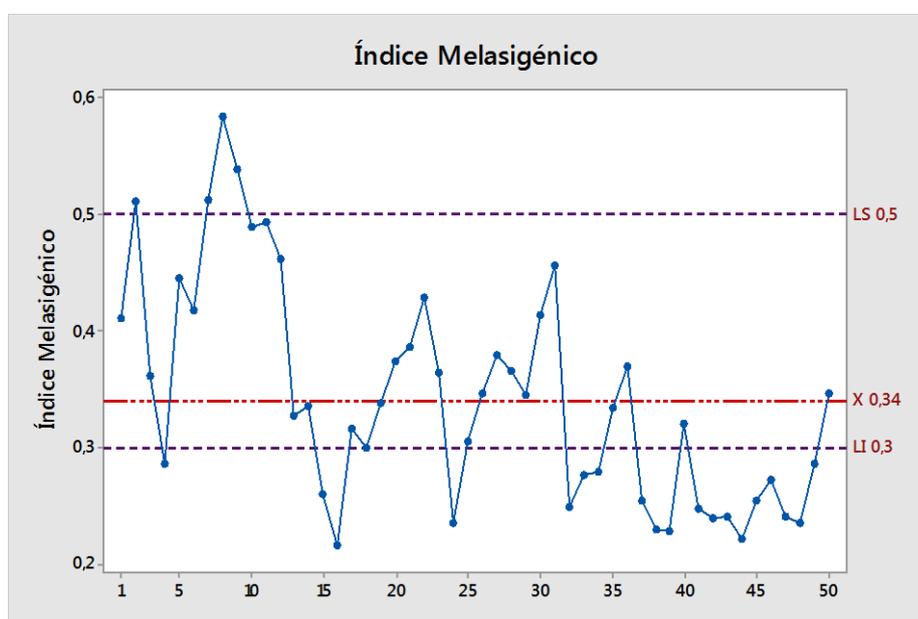


Figura 7.3. Índice Melasigénico en Pre-zafra

Dentro de los parámetros establecidos por las normas técnicas internas de la empresa, el cumplimiento del índice melasigénico se da en un 54 % como se evidencia en la Figura

7.3, los valores más críticos son los que se encuentran por debajo de los límites de especificación y que representan a un 36 % de las muestras analizadas.

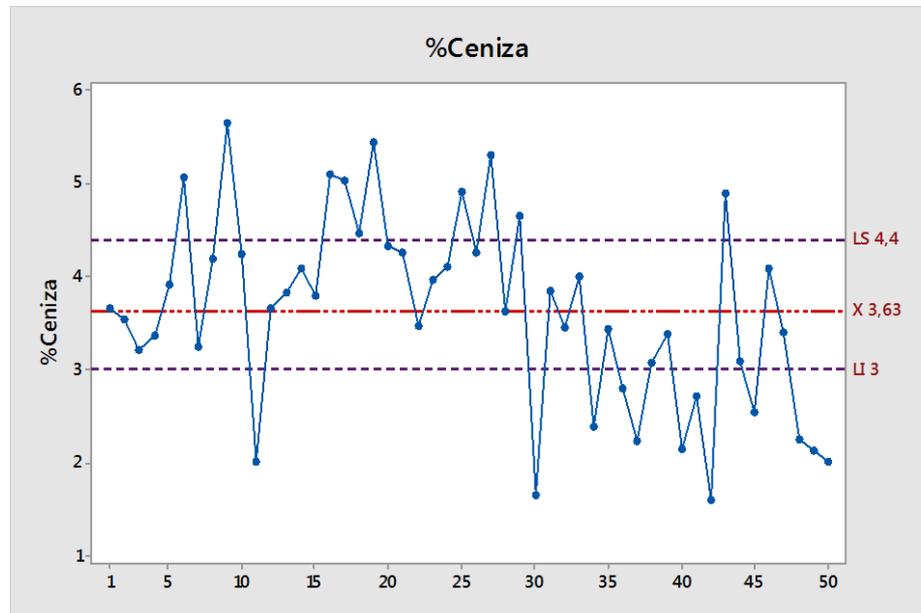


Figura 8.3. % Cenizas Zafra

Como se observa en la Figura 8.3, el 58 % de la caña está dentro de los rangos recomendados para cenizas mientras que: el 18 % supera el límite recomendado de 4.4 % de cenizas lo cual de acuerdo a la bibliografía puede tratarse de una sobre fertilización; y el 24 % restante no alcanza el límite inferior, entendiéndose que la caña no ha sido fertilizada adecuadamente lo cual se puede evidenciar en los bajos contenidos de fosfatos en algunos jugos, debiéndose compensarse con la adición de ácido fosfórico en la fábrica.

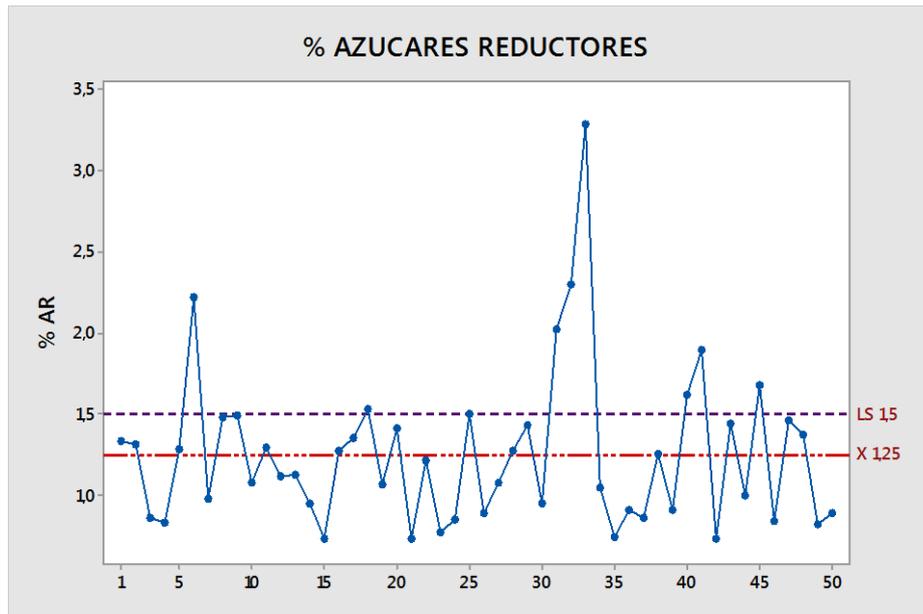


Figura 9.3. % Azúcares reductores Zafra

En esta etapa la sacarosa sufre inversión principalmente por factores como el transporte y manipulación de la caña que se da del campo hacia la fábrica, sin embargo no se evidencia una gran inversión ya que como se observa en la Figura 9.3, existe un alto porcentaje de los datos que se encuentran dentro de especificación, obteniendo un valor de 86 % de cumplimiento.

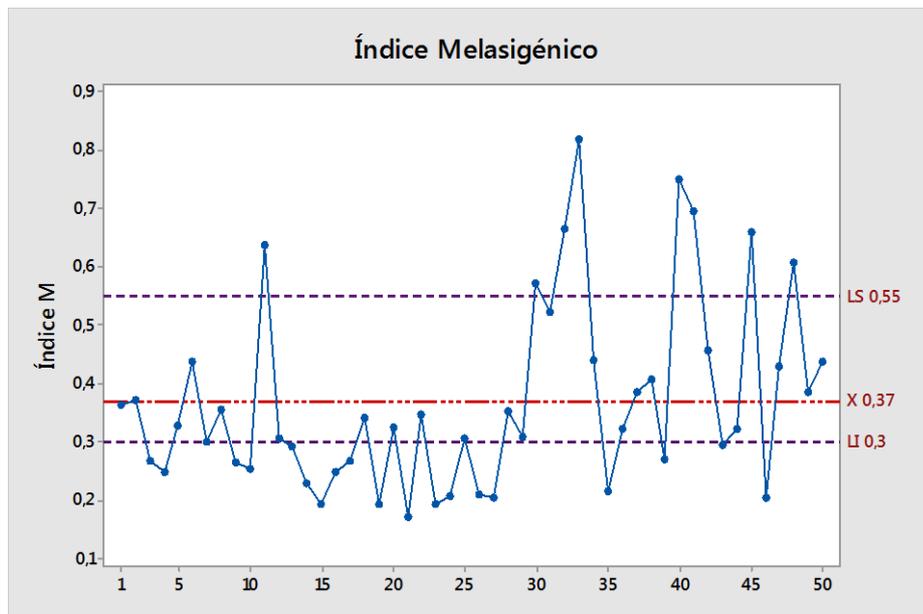


Figura 10.3. Índice Melasigénico Zafra

La Figura 10.3, corresponde a la determinación del índice melasigénico, el cual dentro de la bibliografía azucarera se tiene un cumplimiento del 50 % similar al contenido de cenizas considerando que los límites para este índice están entre 0.3 a 0.55, como se aprecia en esta etapa la relación de AR/C es muy inferior a la unidad, esto se debe a que este índice debe ir subiendo a medida que el producto es procesado ya que no es deseable que los azúcares reductores incrementen en la fábrica, pero si es conveniente que las cenizas sean eliminadas especialmente en los procesos de clarificación con lo cual este índice se va ajustando a los valores recomendados.

PROCESO

- **PUNTO DE CONTROL 2** (Extracción del jugo)

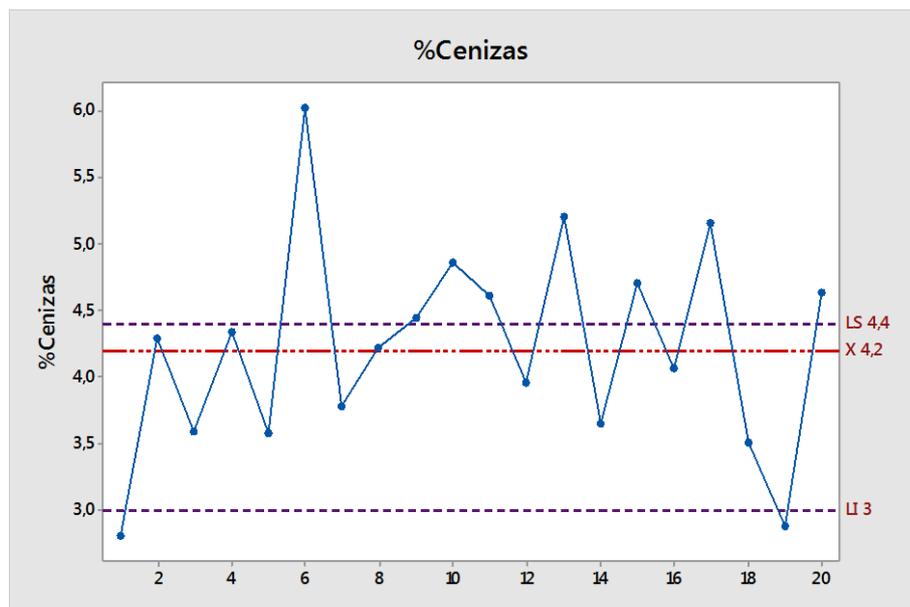


Figura 11.3. % Cenizas en jugo Mixto

En base a los parámetros establecidos por la industria azucarera referidos en Tabla 7.2, el porcentaje de cumplimiento de los datos es de 50 % como se muestra en la Figura 11.3, corroborando que el alto contenido de cenizas presentes en la materia prima no se eliminan más bien se concentran.

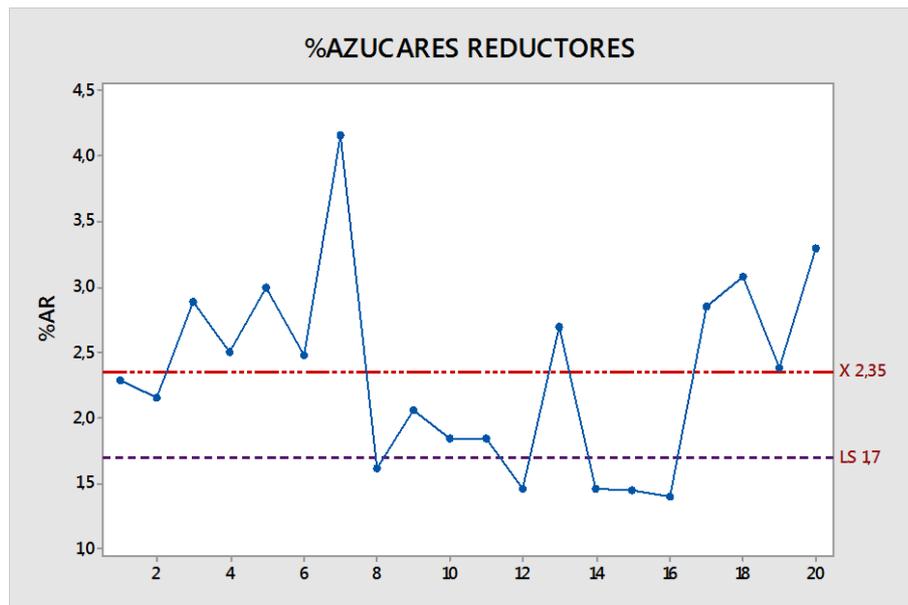


Figura 12.3. % Azúcares reductores en el jugo mixto

En la Figura 12.3, se observa un 50 % de cumplimiento de los datos, por lo tanto el otro 50 % se encuentran fuera del límite de especificación justificándose que al permanecer la caña demasiado tiempo en patios empieza el proceso de inversión de la sacarosa

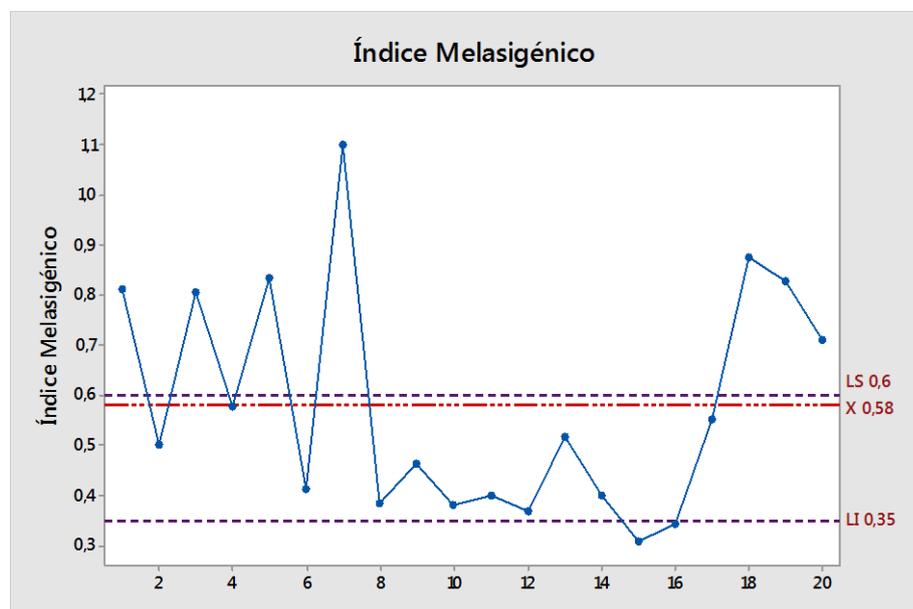


Figura 13.3. Índice Melasigénico en el jugo mixto

En base a lo que se observa en esta operación la mayor cantidad de datos fuera de especificación tanto de cenizas como de azúcares reductores ocasionan que los valores de

índice melasigénico se encuentren fuera de parámetros evidenciándose en la Figura 13.3, el 50 % del cumplimiento de los datos.

- **PUNTO DE CONTROL 3 (Clarificación)**

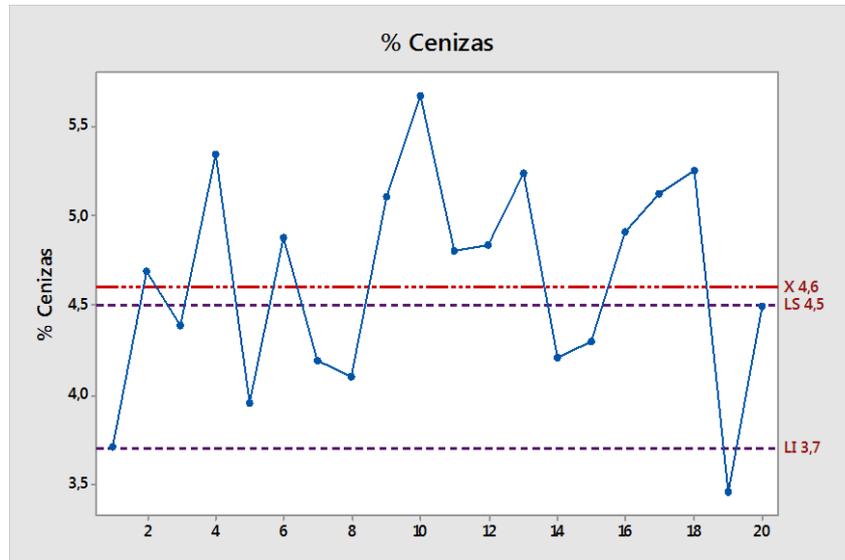


Figura 14.3. % Cenizas en el jugo clarificado.

El porcentaje de cenizas en esta operación se agudizan como se muestra en la Figura 14.3, demostrada por la media aritmética que se encuentra sobre los límites de especificación indicados por la tecnología azucarera Tabla 7.2 y por presentar un 40 % de cumplimiento de los datos.

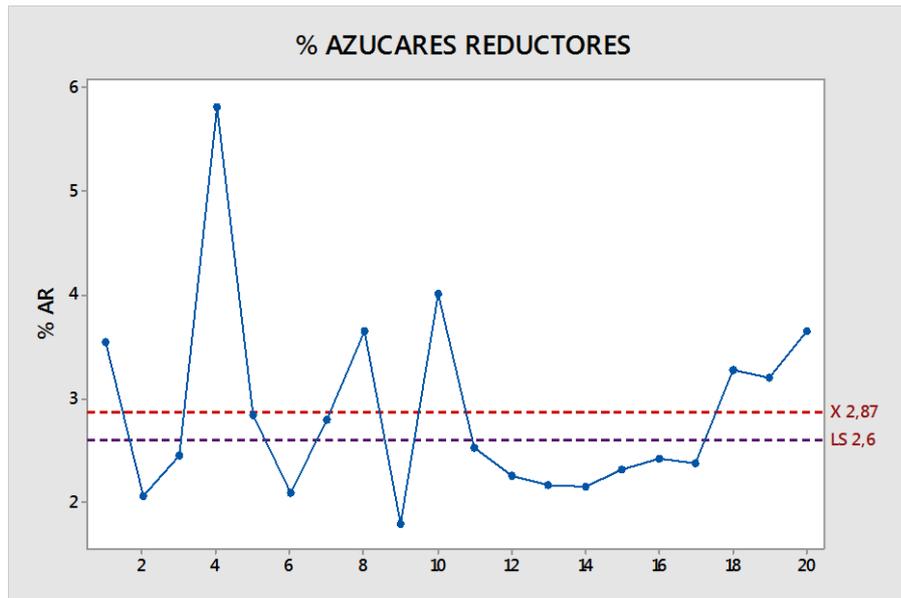


Figura 15.3. % Azúcares reductores en el jugo clarificado.

Por ser una operación en donde es necesaria la adición de varios insumos químicos con la finalidad de clarificar y eliminar la mayor cantidad de impurezas presentes, el límite de azúcares reductores es mayor a las otras operaciones anteriores. Sin embargo las condiciones de la fábrica no son las mismas es por ello que existe una gran dispersión de los mismos produciendo así que la media de los valores calculados este por encima del límite superior de especificación. Sin embargo se tiene un 55 % de cumplimiento de los datos.

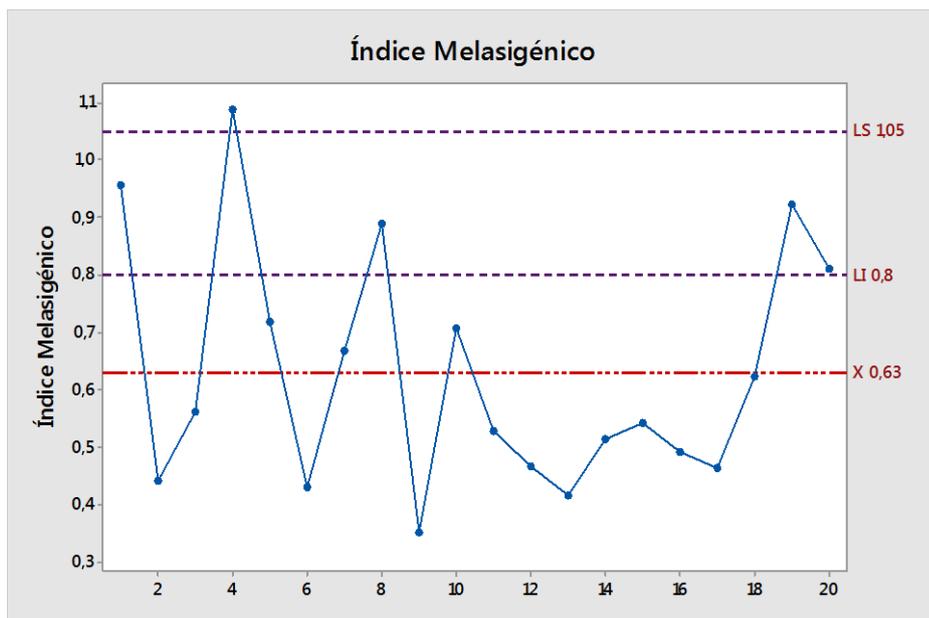


Figura 16.3. Índice Melasigénico en el jugo clarificado

En esta operación el índice melasigénico debe ir ajustándose a la unidad sin embargo esto no ocurre ya que solamente se evidencia un 20 % de cumplimiento y el 80 % restante está muy por debajo de los parámetros.

- **PUNTO DE CONTROL 4 (Cristalización)**

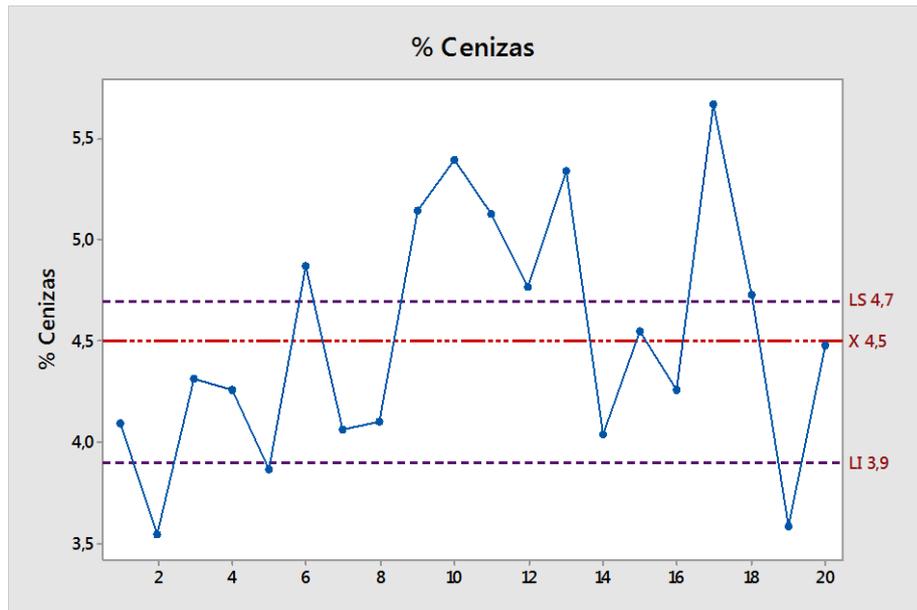


Figura 17.3. % Cenizas en el jarabe

Debido a que las cenizas no son volátiles a las temperaturas requeridas para evaporación de jugos estas no se eliminan y más bien se concentran como se observa en la Figura 17.3. Como se puede evidenciar en la figura solamente un 45 % de los datos cumplen con los parámetros establecidos, existe una gran dispersión de los mismos por los diferentes problemas de cenizas que ha venido acarreado el proceso anteriormente.

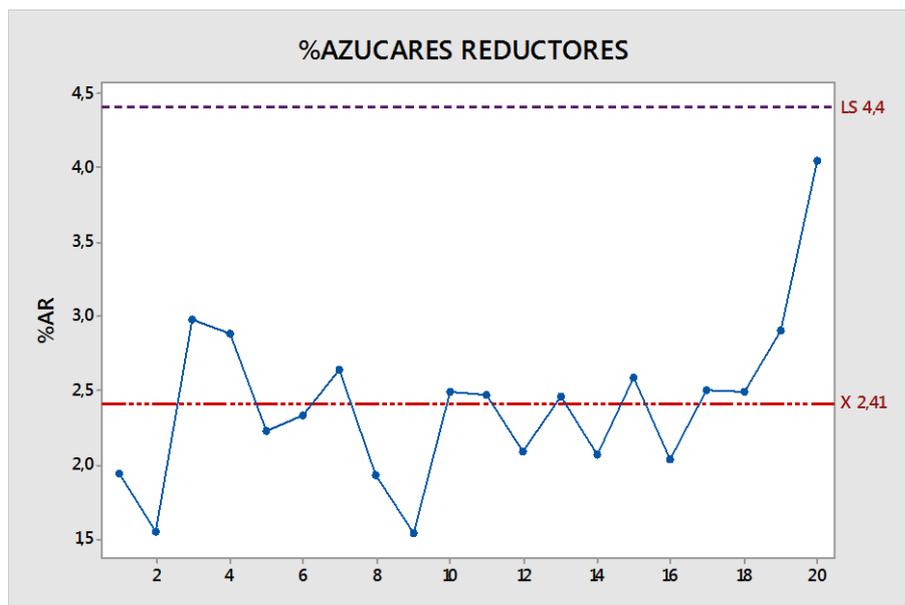


Figura 18.3. % Azúcares reductores en el jarabe

La inversión de la sacarosa en esta operación es mínima ya que al concentrar el jugo, los azúcares reductores se van estabilizando ocasionando que los valores no superen el límite superior de especificación, En la Figura 18.3 se evidencia un 100 % del cumplimiento de los datos.

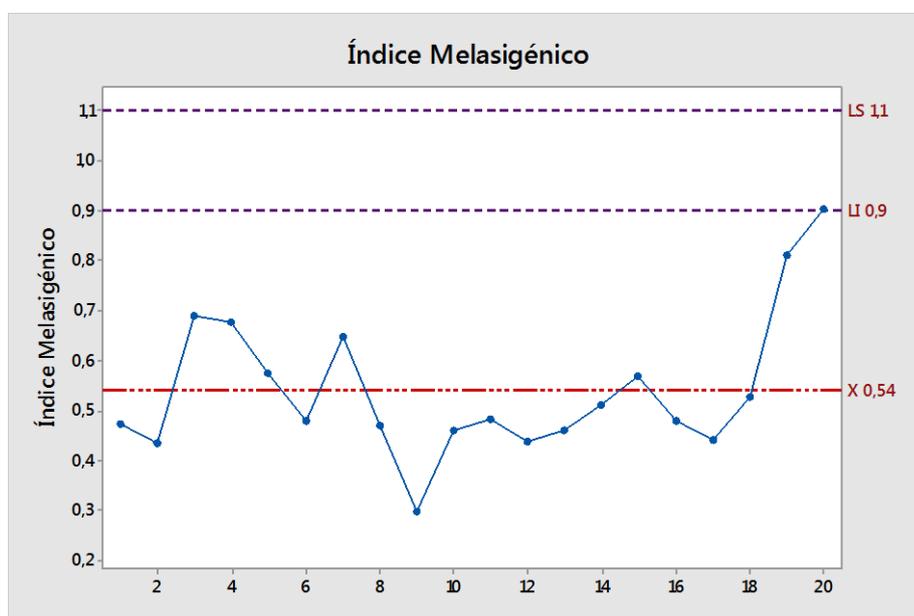


Figura 19.3. Índice Melasigénico en el jarabe

El alto contenido de cenizas provoca un alto efecto melasigénico reflejado en la Figura 19.3, en donde los valores están por debajo de los parámetros y se evidencia que 1 de 20

valores cumple con los límites de especificación que equivale al 5 % de cumplimiento de los datos.

- **PUNTO DE CONTROL 5 (Centrifugación)**

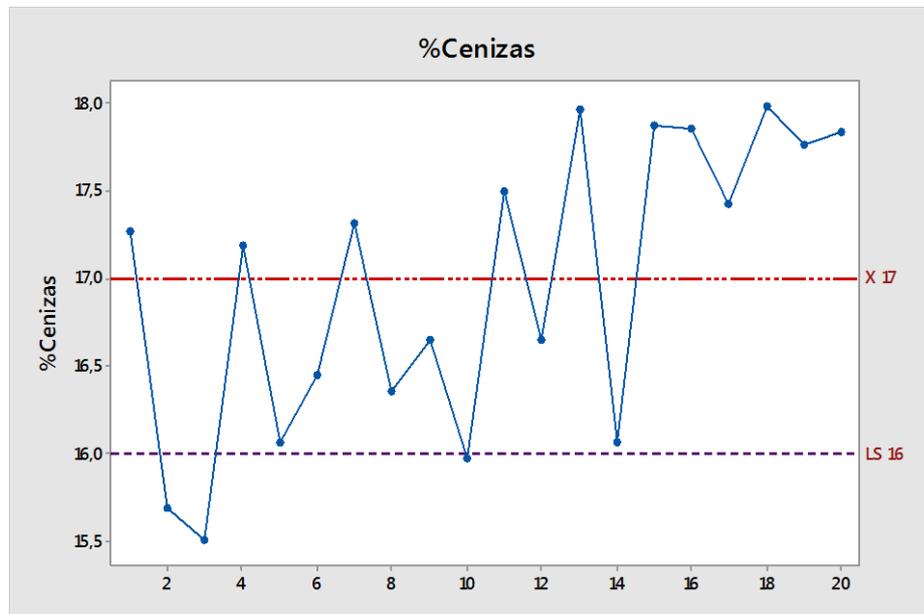


Figura 20.3. % Cenizas en melaza

De acuerdo a esta Figura 20.3, se tiene un 10 % de cumplimiento, debido a que en esta operación las cenizas se eliminan al finalizar las tres fases de cristalización es muy difícil o costoso tratar de realizar algún tipo de ajuste para la eliminación de las mismas, pero si son un indicativo de los graves problemas que presenta la empresa.

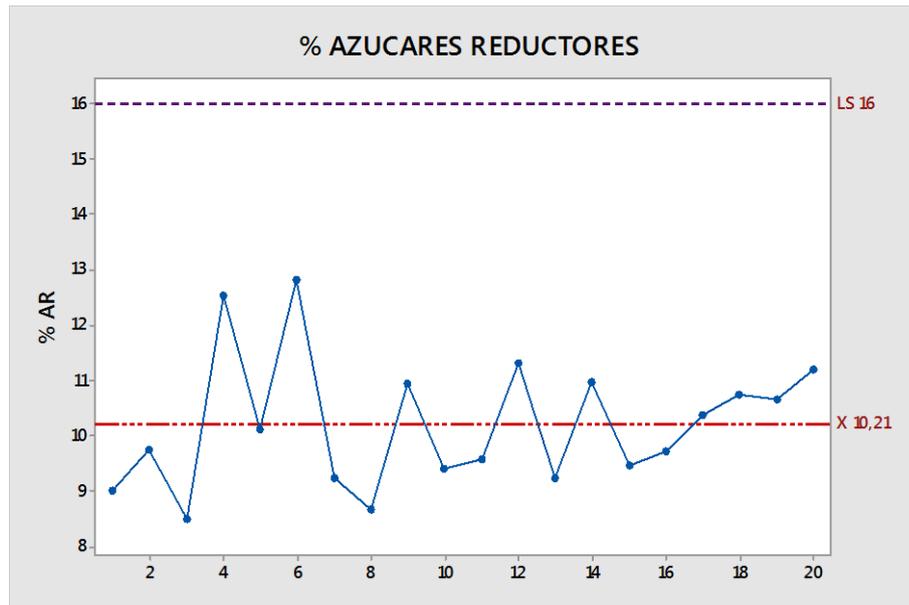


Figura 21.3. % Azúcares reductores en melaza

Todos los valores de azúcares reductores se encuentran debajo de los límites establecidos lo que nos indica que en esta operación no se evidencia graves problemas de inversión de sacarosa

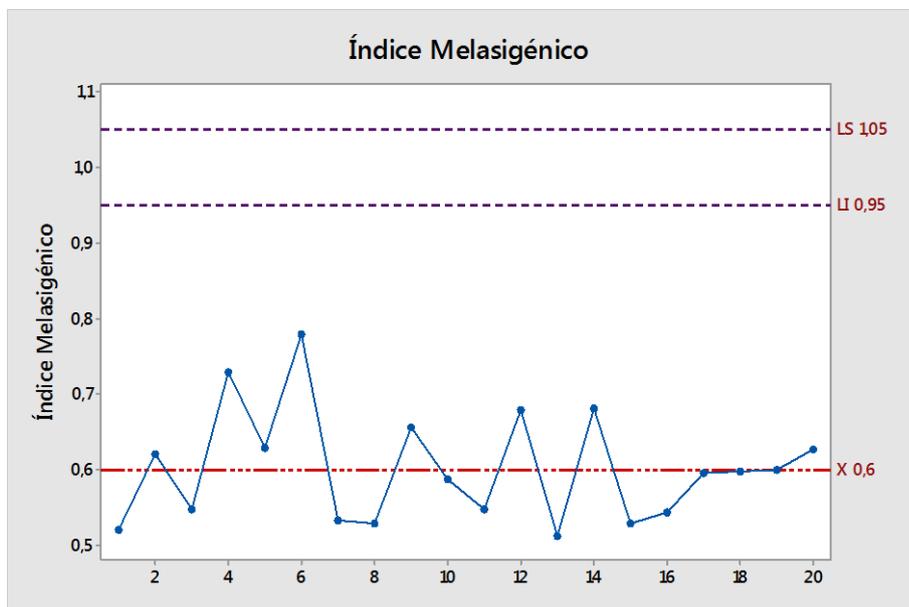


Figura 22.3. Índice Melasigénico en melaza

En esta operación se evidencia el 0 % de cumplimiento motivo por el cual se confirma el alto efecto melasigénico que tiene la empresa al obtener valores de este índice que no alcanzan los parámetros establecidos por la industria azucarera.

PRODUCTO TERMINADO

- **PUNTO DE CONTROL 6** (Producto Terminado)

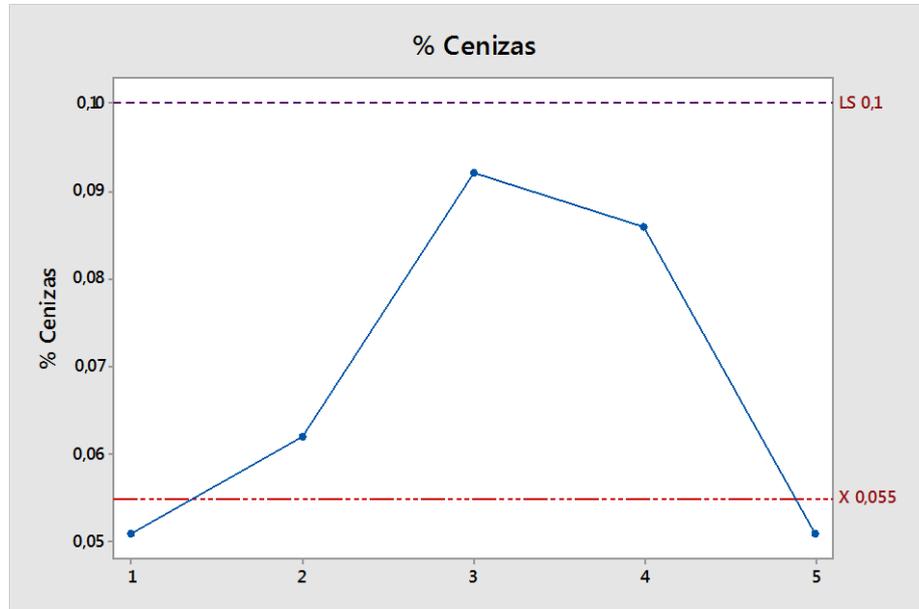


Figura 23.3. % Cenizas en el Producto Terminado

Haciendo referencia a los parámetros de porcentaje de cenizas para producto terminado indicado en la Tabla 2.2. El azúcar final no presenta problemas de cenizas al cumplir con lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0259:2000 Primera Revisión.

AZÚCAR BLANCO. REQUISITOS

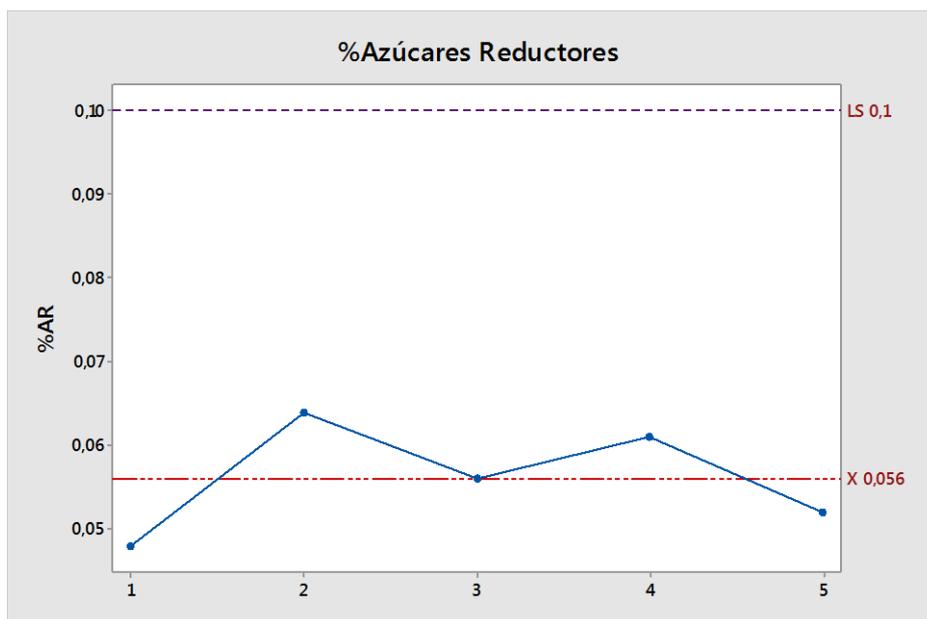


Figura 24.3. % Azúcares Reductores en el Producto Terminado

En base a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0259:2000 Primera Revisión. AZÚCAR BLANCO. REQUISITOS y tomando en cuenta los parámetros de azúcares reductores indicados en la Tabla 2.2. Como se observa en la Figura 24.3, que el producto terminado se encuentra dentro de las especificaciones.

3.7.2.2 Herramientas básicas de calidad

3.7.2.2.1 Identificación de puntos críticos de control

Mediante la investigación y con la observación de las gráficas y del cálculo de porcentaje de cumplimiento se pudo determinar los puntos críticos de control en el proceso de elaboración de azúcar blanco.

El detalle de las etapas consideradas como puntos críticos de control se muestra a continuación:

- **(PCC1) RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

Se considera como punto crítico de control (PCC), ya que el azúcar de caña es formada en el campo y la fábrica prácticamente solo se encarga de efectuar su procesamiento al máximo de eficiencia, por esta razón la calidad de la caña cumple un papel importante en la recuperación de sacarosa.

Una caña de mala calidad puede ser la causante de problemas en el procesamiento y se la evidencia por presentar una gran cantidad de cenizas y un alto porcentaje de azúcares reductores produciendo efectos melasigénicos,

La calidad depende de muchos factores, que se pueden presentar antes o después de la cosecha de la siguiente manera:

- Antes del corte que se ve afectado por la variedad de la caña, el clima y el más relevante el tipo de suelo ya que el IANCEM se abastece de materia prima de la

zona; la misma que se caracteriza por tener un suelo salino, dándonos a entender que existe la presencia de una gran cantidad de sales de sodio, potasio, calcio y magnesio, siendo los principales causantes del efecto melasigénico que conduce en consecuencia a la producción de mieles finales de alta pureza y a la baja recuperación de sacarosa.

- Después del corte se considera como factores principales; al tiempo entre corte y molienda que no debe superar las dos horas ya que a partir de este tiempo, la sacarosa empieza con su proceso de inversión generalmente por la acción de microorganismos y el contenido de material extraño o impurezas que contribuyen a la incorporación de cenizas al proceso

- **(PCC5) CLARIFICACIÓN**

Se lo considera como punto crítico de control, ya que al ser la operación encargada de eliminar en su gran mayoría las impurezas del jugo mediante tres etapas sulfitado, encalado y sedimentado, debe ser controlado,

El principal causante de que se dé una poca eliminación de las cenizas es la pureza del CaO (cal) utilizada como insumo en la etapa de encalado. La tecnología azucarera recomienda que una cal de buena calidad deba tener el 85 % de óxido de calcio aprovechable para poder evitar un excedente de impurezas al proceso, sin embargo la realidad es otra ya que la pureza de la cal utilizada por el IANCEM no supera el 70 % reportado por el certificado de análisis del proveedor de este insumo ANEXO II, adicionando al proceso una gran cantidad de cenizas.

La dosificación de este insumo debe ser la correcta, ya que una baja cantidad producirá una deficiente decantación y con ello un jugo turbio con posibles causas de inversión, mientras que un alto contenido de cal produciría un aumento en las cenizas por las sales de calcio disueltas produciendo inconvenientes en los procesos subsiguientes y por ende un bajo agotamiento de mieles finales.

Con la finalidad de determinar el porcentaje de cenizas que se adicionarían al proceso si se produce una sobre dosificación de este insumo, se realizó una prueba a nivel del laboratorio tomando 5 muestras de jugo sulfitado de 100 ml cada una, a las cuales se añadieron de 0.1 a 0.4 g de CaO respectivamente para su posterior análisis, los datos obtenidos se registraron en la siguiente tabla.

Tabla 13.3. Incremento del contenido de cenizas de acuerdo a la adición de CaO

CaO (g)	pH	Brix	Cod H₂O (us/cm)	Cod Sol (us/cm)	Cenizas (%)
0	3,6	20,55	2,39	2290	4,124682
0,1	4,95	21,03	4,32	2360	4,254156
0,2	6,02	20,97	2,97	2370	4,269726
0,3	7,02	21,06	4,25	2370	4,27203
0,4	9,11	21,01	6,71	2412	4,352058

Realizado por: Suárez Katherine (2016)

Para poder evidenciar que constituyente de la ceniza de la melaza se encuentra en mayor proporción y la que está causando mayor afectación en el proceso, se analizó una muestra en un laboratorio externo LASA (APENDICE IV), en donde se evidencia que un 69.98 % de ceniza es calcio, seguido del 3.67 % de sodio y 2.58 % de potasio, demostrando así que el problema más crítico es en la etapa de encalado.

3.7.2.2.2 *Cartas de control de lecturas individuales*

Se realizaron las cartas de control para los procesos establecidos como puntos críticos de control en la producción de azúcar blanco, de esta manera se hace posible identificar si estos procesos se encuentran bajo control.

Los límites de control estadísticos se calcularon a partir de la Ecuaciones 3-4-5-6 y las constantes fueron tomadas de la Tabla 3.2

- **Recepción de la materia prima**

Media \bar{X}

$$LSC_X = 0.3684 + 2.66(0.1377) = 0.7345$$

$$LIC_X = 0.3684 - 2.66(0.1377) = 0.0023$$

Rango \bar{R}

$$LSC_R = 3.27x0.1377 = 0.4498$$

$$LIC_R = 0x0.1377 = 0$$

- **Clarificación (Etapa de Encalado)**

Media \bar{X}

$$LSC_X = 0.6195 + 2.66(0.1671) = 1.0640$$

$$LIC_X = 0.6195 - 2.66(0.1671) = 0.1750$$

Rango \bar{R}

$$LSC_R = 3.27x0.1671 = 0.5460$$

$$LIC_R = 0x0.1671 = 0$$

Las gráficas de control para cada punto se las realizaron con la ayuda del programa MINITAB.

3.7.2.2.3 Capacidad del proceso

La capacidad de proceso se calculó de igual forma para los puntos críticos de control para establecer y analizar el Cp de cada uno de ellos. Los cálculos se lo realizaron con la ayuda de la (Ecuación 7) y con los límites especificados por la norma técnica interna de la empresa.

- **Recepción de la materia prima**

$$Cp = \frac{0.55 - 0.34}{6(0.1599)} = 0.22$$

- **Clarificación (Etapa de Encalado)**

$$Cp = \frac{1.1 - 0.8}{6(0.1977)} = 0.25$$

Las capacidades de cada proceso fueron analizadas mediante el programa MINITAB

3.7.3 Técnicas de comprobación de hipótesis

ALTERNATIVA 1: En base a la pureza del CaO

Se realizaron tres pruebas a una sola muestra de jugo sulfitado, en cada una se utilizó 500 ml de jugo

Prueba 1.

- Tomar una muestra de 20 g de CaO utilizado por el IANCEM, en su proceso de elaboración de azúcar blanco
- Adicionar 20 ml de H₂O con la finalidad de hidratarle Ca (OH)₂ y se procedió a un secado en la estufa,
- Añadir Ca (OH)₂ al jugo hasta un pH de 6.9 - 7.1.
- Adicionar 2 ml de floculante dejar reposar por 5 minutos
- Filtrar y realizar los análisis de: brix, dureza, % cenizas y % de azúcares reductores

Prueba 2.

- Añadir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reactivo al hasta un pH de 6.9 - 7.1.
- Adicionar 2 ml de floculante dejar reposar por 5 minutos
- Filtrar y realizar los análisis de: brix, dureza, % cenizas y % de azúcares reductores

Prueba 3.

- Tomar una muestra de 100 g de CaO utilizado por el IANCEM, en su proceso de elaboración de azúcar blanco, en un vaso de precipitación de 1000 ml
- Adicionar H_2O hasta completar el volumen.
- Colocar esta solución en un cono de sedimentación y dejar reposar durante 30 minutos.
- Retirar el sedimentado y desechar
- Filtrar la muestra del cono sobrante y secar en la estufa.
- Añadir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sedimentado y filtrado al jugo hasta un pH de 6.9 - 7.1.
- Adicionar 2 ml de floculante dejar reposar por 5 minutos
- Filtrar y realizar los análisis de: brix, dureza, % cenizas y % de azúcares reductores

A las muestra de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de cada prueba se realizó un análisis de pureza, el informe de laboratorio del IANCEM se muestra en el ANEXO V.

Los resultados de las tres pruebas se muestran en la Tabla 14.3.

Tabla 14.3. Pruebas de optimización en base a la calidad del CaO

PRUEBA 1 Ca(OH)₂ PZ= 68.54 % (Común)							
(g) Ca(OH) ₂ gastados	Brix	Cod H ₂ O	Cod Sol	% Cenizas	Dureza	% AR	Índice Melasigénico
0,805	17,43	1,98	2980	5,36	2580	3,85	0,71
PRUEBA 2 Ca(OH)₂ PZ= 90 % (Reactivo)							
(g) Ca(OH) ₂ gastados	Brix	Cod H ₂ O	Cod Sol	% Cenizas	Dureza	% AR	Índice Melasigénico
0,659	16,96	3,23	2920	5,25	2400	4,52	0,86
PRUEBA 3 Ca(OH)₂ PZ= 73.83 % (Sistema de sedimentado y Filtrado)							
(g) Ca(OH) ₂ gastados	Brix	Cod H ₂ O	Cod Sol	% Cenizas	Dureza	% AR	Índice Melasigénico
0,769	16,61	2,27	2910	5,23	2140	4,36	0,83

Realizado por: Suárez Katherine (2016)

ALTERNATIVA 2: Sistema de carbonatación.

La adición de CO₂ al proceso de clarificación es un sistema que ha sido utilizado por algunos ingenios. La prueba se realizó a una muestra de jugo sulfitado obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 15.3. Pruebas de optimización mediante un sistema de carbonatación

PRUEBA DE CARBONATACIÓN							
	Brix	Cod H₂O	Cod Sol	% Cenizas	Dureza	% AR	Índice Melasigénico
Sin CO ₂	15,32	2,43	2987	5,373	1620	3,65	0,6793651
Con CO ₂	15,5	1,99	3080	5,541	1700	4,79	0,86449982

Realizado por: Suárez Katherine (2016)

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de Resultados

4.1.1 Análisis del índice melasigénico de melaza

Tomando en cuenta que ingenios azucareros con procesos controlados y equipos eficientes pueden llegar a tener melazas con purezas de entre 30 - 38 % como se indica en la Tabla 6.2, se establece valores de entre 0.95 y 1.05 de índice melasigénico.

De acuerdo a las mediciones realizadas en esta investigación en el proceso de elaboración de azúcar blanco se ha obtenido un índice melasigénico para melazas de 0.60; como se indica en la Tabla 11.3, el mismo que equivale a una pureza de 44 %, adquirida a partir de la Ecuación 15.

El promedio real del IANCEM desde Enero del 2016 hasta la fecha que se termina la investigación, es de 43.3 % de pureza, se aprecia que el cálculo teórico no se aleja mucho de la realidad del proceso, pero si es distante en comparación a otros procesos en otros ingenios; por lo cual se analiza las principales causas que hacen que este índice de 0.60 sea muy bajo.

4.1.2 Análisis del porcentaje de cumplimiento del índice melasigénico a la normativa técnica interna de la empresa en cada operación del proceso

- **OPERACIÓN (PC) 1: MATERIA PRIMA**

La calidad de la materia prima es fundamental para cualquier industria azucarera para obtener resultados tanto en calidad como en rendimiento

El cumplimiento de índice melasigénico para los datos obtenidos de materia prima y considerando que sus límites se encuentran entre 0.3 a 0.55 es del 50 % observado en la

Figura 10.3. En esta etapa la relación de AR/C es muy inferior al índice recomendado para mieles de 0.95 a 1.05, esto se debe a que este índice debe ir subiendo a medida que el producto es procesado ya que no es deseable que los azúcares reductores incrementen en la fábrica, pero si es conveniente que las cenizas sean eliminadas especialmente en los procesos de clarificación, con lo cual este índice se va ajustando a los valores recomendados.

- **OPERACIÓN (PC) 2: EXTRACCIÓN Y MOLIENDA**

En esta operación como su nombre lo indica se prepara la caña almacenada en patio para su posterior molienda, teniendo en cuenta que los aportes de ceniza se dan especialmente por la presencia de materia extraña y considerando que el contenido de esta no supera el 3 %, la adición de impurezas es mínima.

En la Figura 13.3, se observa que el cumplimiento se va incrementando ya que 12 de 20 valores de índice melasigénico se encuentran dentro de los límites de especificación lo que equivale al 60 % de cumplimiento, lo cual corrobora que este índice se va ajustando a medida que el material se va incorporando a la fábrica.

- **OPERACIÓN (PC) 3: CLARIFICACIÓN**

En esta operación se debe eliminar la mayor cantidad de cenizas y el índice AR/C debe empezar ajustarse a la unidad, ya que como lo indica la tecnología azucarera las cenizas se deben eliminar en forma de cachaza la cual contienen fosfatos, oxalatos y sulfatos de calcio, pero nuestra realidad es diferente ya que en su lugar aumenta como se observa en la Figura 16.3, en donde 4 de 20 valores de índice melasigénico se encuentran dentro de los límites de especificación, lo que equivale al 20 % de cumplimiento alejándose inclusive de las operaciones iniciales lo cual nos indica que existe un incremento de cenizas.

- **OPERACIÓN (PC) 4: CRISTALIZACIÓN**

La materia prima que recibe esta operación es el jugo claro evaporado, el cual se conoce con el nombre de meladura o jarabe, debido a que las cenizas no se eliminan y más bien

se concentran como se evidencia en la Figura 19.3, en donde solamente el 5 % de los datos cumplen con los límites de especificación.

En esta operación es muy difícil o costoso tratar de realizar algún tipo de ajuste para la eliminación de cenizas en el jarabe, debido a que se eliminan al finalizar las tres etapas de cristalización. Por lo cual la principal actividad debe enfocarse a las buenas prácticas agrícolas y al proceso de clarificación.

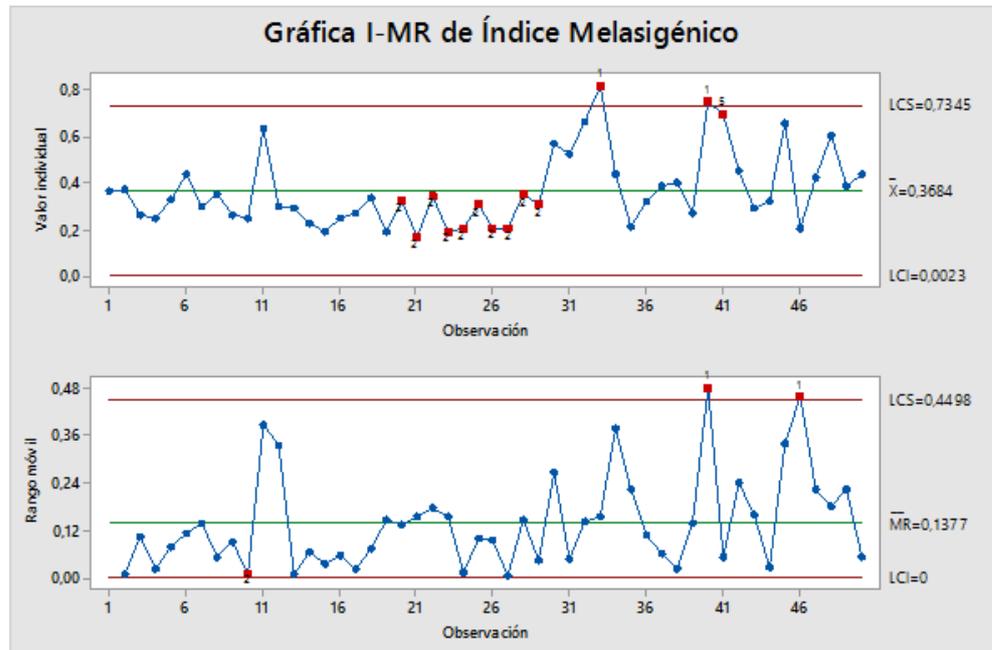
- **OPERACIÓN (PC) 5: CENTRIFUGACIÓN**

La centrifugación es la operación encargada de separar la miel del cristal, en donde una gran cantidad de cenizas que ha venido arrastrando el proceso se quedan adheridas a esta, aquí el índice melasigénico ya debería ajustarse a los límites establecidos en la industria azucarera sin embargo esto no ocurre por los problemas que ha venido acarreado el proceso evidenciándose en la Figura 22.3, en la cual se aprecia un 0 % de cumplimiento ya que ningún valor se encuentra dentro de los límites de especificación

En base al análisis realizado a las Figuras de índice melasigénico mencionadas en las operaciones del proceso, podemos concluir que las operaciones que presentan un menor cumplimiento a los límites establecidos por la empresa son la cristalización y la centrifugación principalmente en la melaza, siendo procesos en los cuales no es posible eliminar las causas que ocasionan este alto efecto melasigénico se consideró como puntos críticos de control a las operaciones consiguientes en menor cumplimiento de parámetros como es el caso de la recepción de la materia prima y en la clarificación principalmente en la etapa de encalado por el alto contenido de calcio que tiene la ceniza de la melaza comprobado en el análisis realizado a esta que se indica en el APENDICE IV, afectando considerablemente a la recuperación de sacarosa ya que no se está eliminando en su gran mayoría este elemento.

4.1.3 Análisis de las cartas de control

- **RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**



Resultados de la prueba de la gráfica MR de Índice Melasigénico

PRUEBA 1. Un punto fuera más allá de 3,00 desviaciones estándar de la línea central.

La prueba falló en los puntos: 40. 46

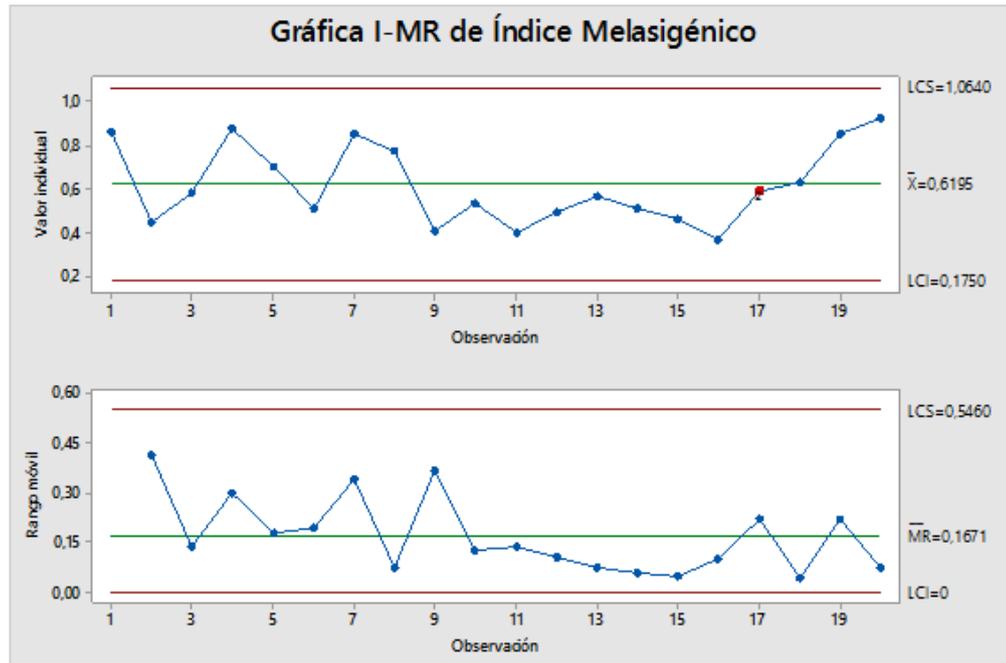
PRUEBA 2. 9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central.

La prueba falló en los puntos: 10

Figura 25.4. Gráfica de Control para el proceso de Recepción de la Materia Prima.

En la Figura. 25.4, (gráfica de control \bar{X} y $M\bar{R}$), se observan dos puntos fuera de los límites de control estadístico que fueron calculados en la sección 3.7.2.2.2, relacionados con causas asignables las mismas que deben ser investigadas y corregidas. Por lo tanto se concluye que la operación de Recepción de la Materia Prima se encuentra fuera de control estadístico, corroborado por patrones de anormalidad determinadas por las pruebas para causas asignables mediante el programa MINITAB.

- **CLARIFICACIÓN**



Resultados de la prueba de la gráfica I de IM

PRUEBA 2. 9 puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central.
 La prueba falló en los puntos: 17

Figura 26.4. Gráfica de Control para el jugo encalado en la Clarificación.

En la Figura. 26.4, (gráfica de control \bar{X} y $M\bar{R}$), se observan que todos los datos se encuentran dentro de los límites de control estadístico que fueron calculados en la sección 3.7.2.2.2, sin embargo la prueba de causas asignables determinada por el programa MINITAB demostraron patrones de anormalidad los mismos que deben ser investigados y corregidos. Por lo tanto se concluye que la operación de Clarificación se encuentra fuera de control estadístico.

4.1.4 Análisis de la Capacidad de Proceso

- **RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

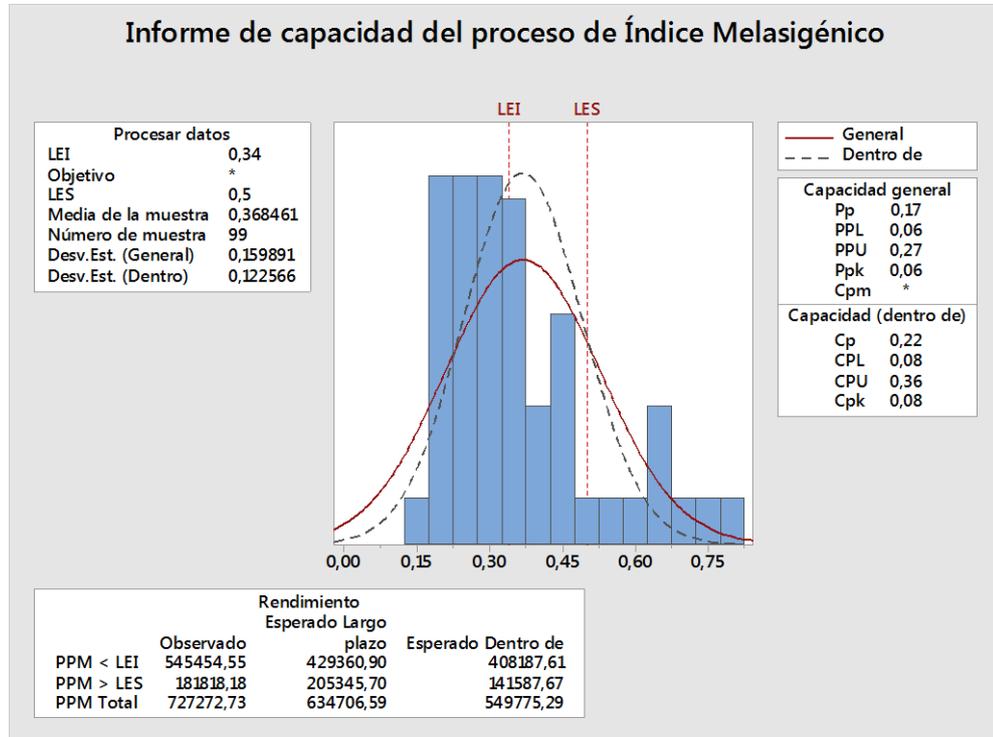


Figura 27.4. Capacidad del proceso para la zafra RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La capacidad del proceso de la operación de Recepción de la Materia Prima es de 0.22 calculado en la sección 3.7.2.2.3, y determinado por el programa MINITAB como se muestra en la Figura 27.4; siendo menor a 1.33 (valor mínimo establecido como aceptable para una buena capacidad de proceso) y a 0.65 como indica la Tabla 4.2, se concluye que esta operación es inadecuado para el trabajo, por lo tanto se necesita modificaciones serias de la operación del proceso.

- **CLARIFICACIÓN**

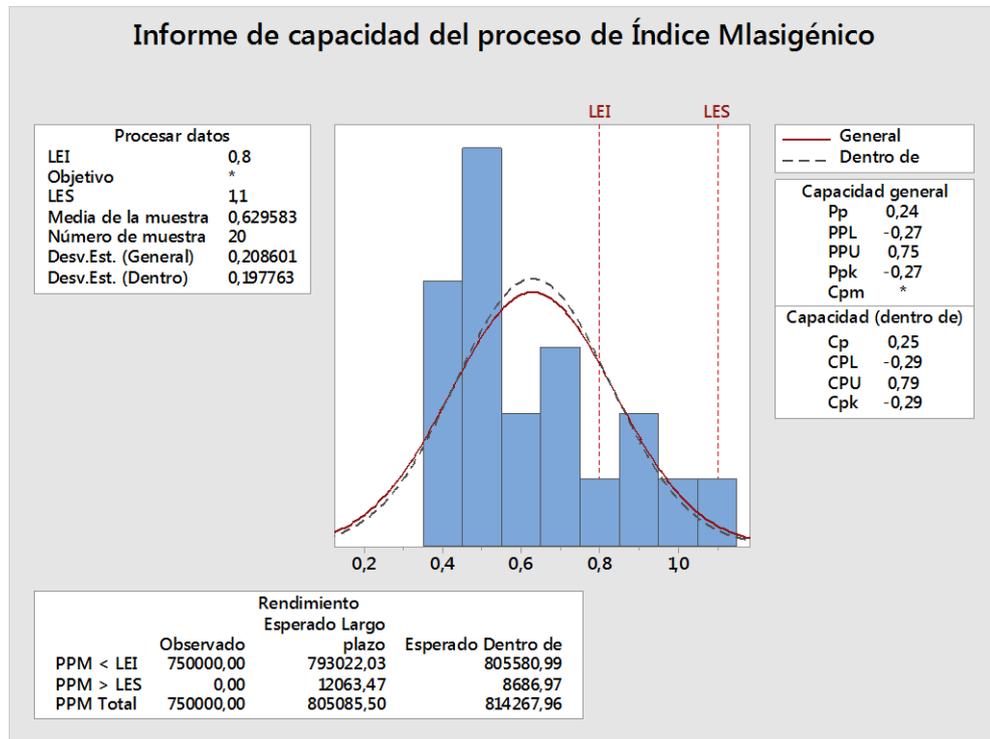


Figura 28.4. Capacidad del proceso en la CLARIFICACIÓN.

La capacidad del proceso de esta operación es de 0.25, calculado en la sección 3.7.2.2.3 y corroborado por el programa MINITAB como se observa en la Fig.28.4, al ser menor a 1.33 (valor mínimo establecido como aceptable para una buena capacidad de proceso) y a 0.65 como indica la Tabla 4.2, demuestra que el proceso es inadecuado para el trabajo, por lo tanto esta operación necesita modificaciones serias principalmente en la etapa de encalado ya que es en donde se adiciona más cantidad de cenizas al proceso por la baja pureza del CaO (cal).

4.1.5 Análisis del incremento de cenizas en la etapa de encalado

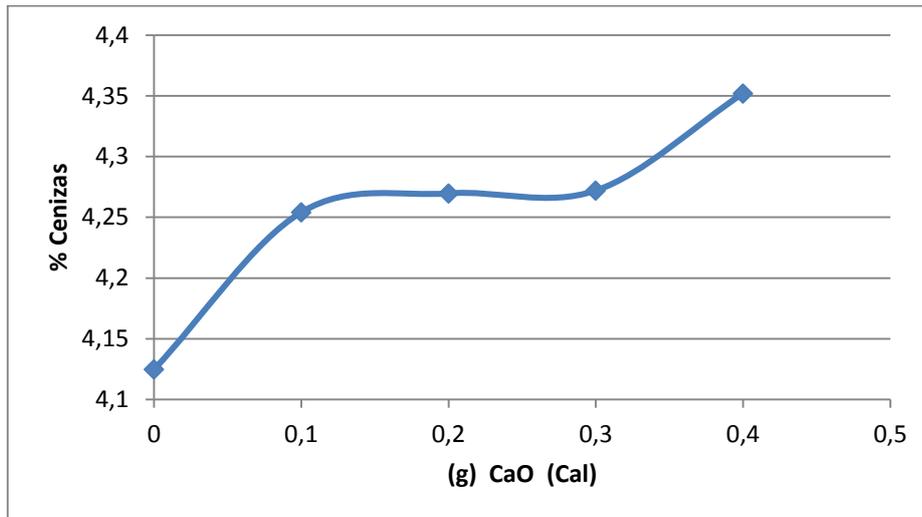


Figura 29.4. Incremento del contenido de cenizas de acuerdo a la adición de CaO

La Figura 29.4, muestra que a medida que aumenta la dosificación de CaO el % de cenizas es mayor incrementándose en un 1.9 % cuando se produce un sobre encalamiento. De igual manera la mayor cantidad de impurezas que se introducen en esta etapa son consecuencia de la mala calidad del CaO. El ingenio azucarero del norte trabaja con una cal que posee una pureza de 68.91 % de CaO aprovechable, este dato fue tomado del certificado de análisis otorgado por el proveedor de este insumo INCOREG, ANEXO II. El porcentaje restante son impurezas que en su gran mayoría no son sedimentadas en el proceso de clarificación y pasan en el jugo clarificado, las cuales ocasionan los siguientes problemas:

1. Al utilizar cal con 65 % de pureza se requiere una alta cantidad de consumo para poder realizar el ajuste de pH requerido en la etapa de encalado.
2. Las impurezas son arrastradas en el proceso, acelerando la incrustación en los diferentes evaporados y calentadores, disminuyendo su capacidad de intercambio de calor causando problemas de abrasión en los jugos, incrustaciones de mayor resistencia química, por lo cual se requiere de una limpieza química más agresiva tanto en concentración de productos químicos como en tiempo y una posterior limpieza mecánica.

3. Las impurezas asociadas a la mala calidad del producto de la cal generalmente son silicatos, los cuales tienen un alto poder abrasivo lo que disminuye la vida útil de ciertos sensores como los de pH.
4. Otro efecto indeseable es que las soluciones impuras (productos químicos de baja pureza) tienen un comportamiento diferente a las soluciones de alta pureza en muchos casos variando algunas de sus propiedades químicas de las cuales se requiere para ciertos procesos en nuestro caso específicamente la neutralización y precipitación de los ácidos orgánicos y sales minerales. Lo cual se evidencia en las altas durezas (presencia de iones de calcio en soluciones) del jugo claro siendo los valores medidos mayores a 2000 ppm (partes por millón o mg/L). las cuales en procesos posteriores continúan concentrándose llegando inclusive al 10 % de los sólidos de la melaza como se puede evidenciar en análisis externos.

Con la finalidad de observar la presencia de impurezas en la cal se realizó la decantación de la misma, tomando el precipitado obtenido de esta sedimentación y observándole en el microscopio, en donde se evidencia en la Ilustración 6.4, una gran cantidad de manchas negras demostrando la presencia de impurezas en este precipitado.

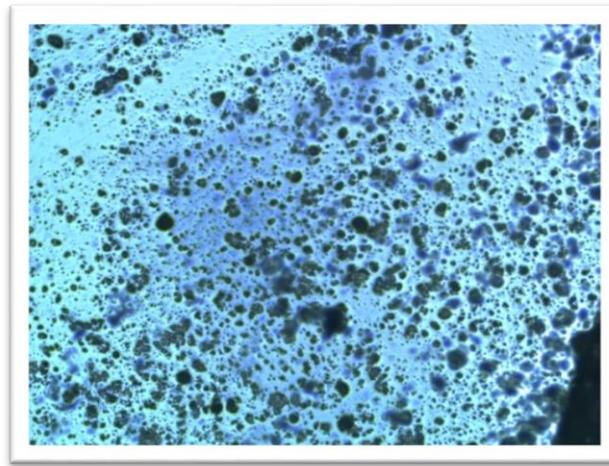


Ilustración 6.4. Impurezas de la cal observadas al microscopio.

4.2 Prueba de hipótesis

Hipótesis 1

Se levantó información del índice melasigénico (AR/C) como se observa en la Tabla 11.3, para cada etapa del proceso de elaboración de azúcar blanco. De esta forma fue posible establecer que el proceso no es estable como se muestra en la Figura 30.4, al existir una gran dispersión de los datos. Fundamentando la realización de este estudio.

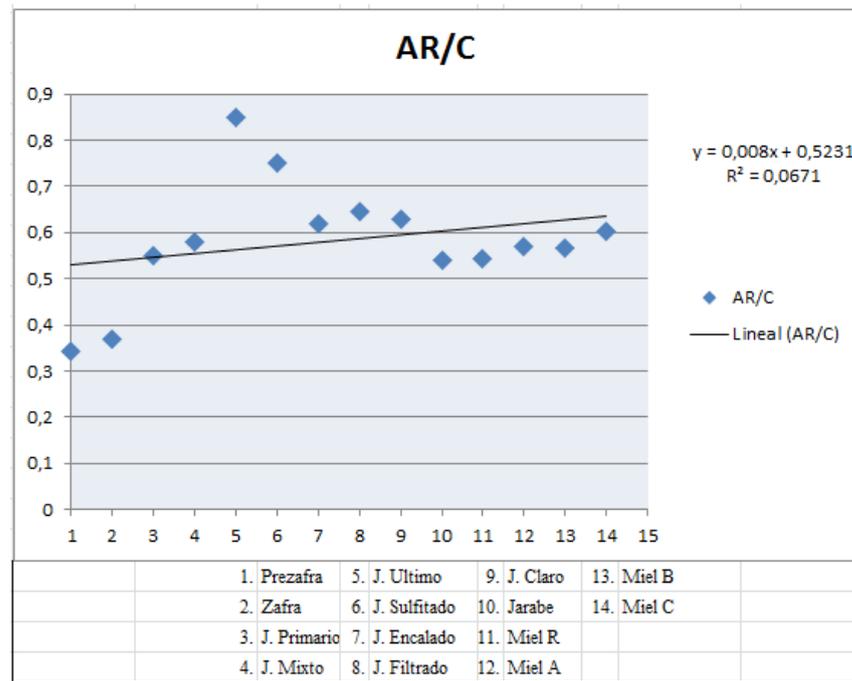


Figura 30.4. Índice Melasigénico para cada etapa del proceso

Hipótesis 2

Los puntos críticos de control identificados, mediante la incidencia del índice melasigénico (Tabla 16.4), en la producción de mieles finales de alta pureza por sus altos contenidos de cenizas en cada etapa del proceso de elaboración de azúcar blanca se muestran en la Figura 32.4.

Tabla 16.4. Incidencia del Índice melasigénico en las etapas del proceso.

OPERACIÓN	ETAPA	ÍNDICE MELASIGÉNICO	INCIDENCIA	CAUSA
RECEPCION DE LA MATERIA PRIMA	INTERZAFRA	0.343	ALTA	La caña que ingresa a la fábrica es de baja calidad ya que contiene altos contenidos de cenizas
	ZAFRA	0.368	ALTA	
EXTRACCIÓN	JUGO PRIMARIO	0.550	BAJA	Se le considera baja porque en esta operación el índice se va ajustando a los parámetros establecidos en la norma interna de le empresa
	JUGO MIXTO	0.579	BAJA	
	JUGO ÚLTIMO	0.843	BAJA	
CLARIFICACIÓN	JUGO SULFITADO	0.751	MEDIA	Existe un bajo cumplimiento de los límites de especificación, pero la mayor incidencia presenta la etapa de encalado
	JUGO ENCALADO	0.620	ALTA	
	JUGO FILTRADO	0.646	MEDIA	
	JUGO CLARO	0.630	MEDIA	
EVAPORACIÓN Y CRISTALIZACIÓN	JARABE	0.542	MEDIA	A pesar de tener un menor índice que la

				clarificación en esta operación no es posible realizar ninguna modificación
CENTRIFUGACIÓN	MIEL A	0.569	MEDIA	En esta operación se ve reflejado el alto efecto melasigénico, sin embargo de igual forma que la operación anterior no es posible su modificación
	MIEL RICA	0.543	MEDIA	
	MIEL B	0.568	MEDIA	
	MIEL C	0.60	MEDIA	
SECADO Y EMPACADO	AZÚCAR	0.90	BAJA	El producto final cumple con la normativa, la incidencia es baja porque en esta operación el índice melasigénico alcanza la unidad.

Realizado por: Suárez Katherine, (2016)

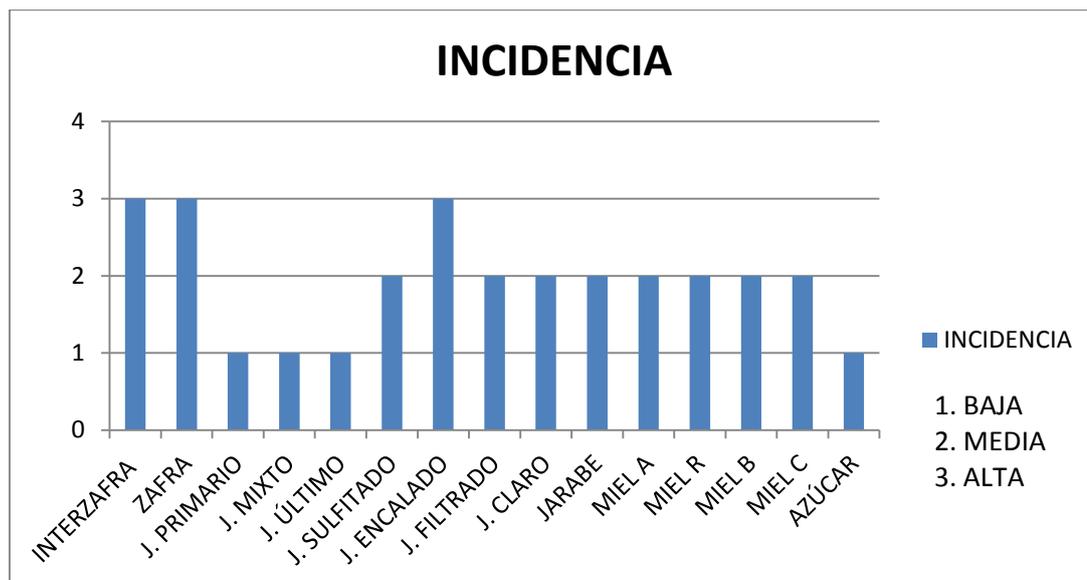


Figura 31.4. Incidencia del índice melasigénico en las etapas del proceso.

En base a la observación de la Figura 31.4, se concluye que las etapas con mayor incidencia de índice melasigénico son:

- Interzafra y zafra, pertenecientes a la recepción de la materia prima producto de variables agrícolas que influyen en la calidad de la caña, produciendo en la mayoría de los casos una sobre fertilización ocasionando de esta forma que el contenido de cenizas aumente considerablemente y que se genere el efecto melasigénico en etapas posteriores de la fabricación de azúcar.
- Encalado, al ser la etapa mediante la cual se adiciona CaO con la finalidad de formar fosfatos tricalcicos para poder eliminar la mayor cantidad de impurezas insolubles presentes en el jugo, la pureza de la cal utilizada debe contener más del 85 % de CaO aprovechable caso contrario se estaría adicionando una cantidad considerable de cenizas. Tomando en cuenta que en el proceso se utiliza una cal de 68.91 %, se considera a esta etapa como el punto más crítico.

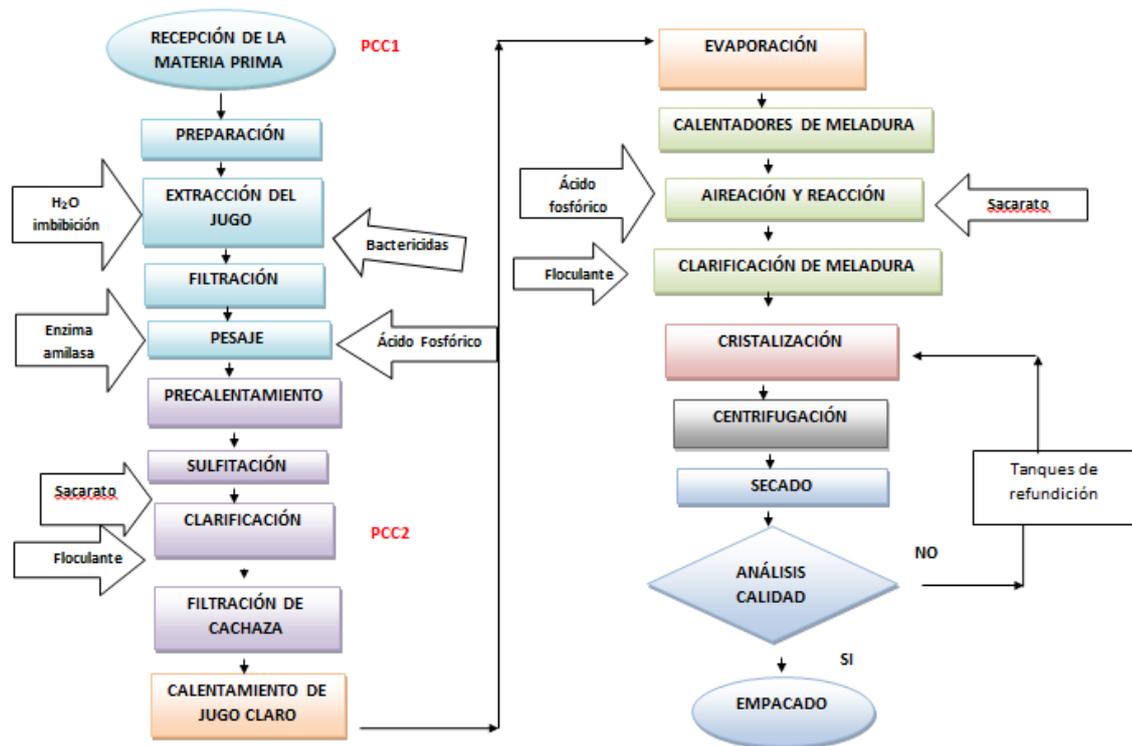


Figura 32.4. Diagrama de bloques de fabricación de azúcar blanco, con puntos críticos de control.

Hipótesis 3

Tomando en cuenta que este estudio no profundiza las variables agrícolas que pueden estar involucradas en la materia prima simplemente es un punto de partida para nuevas investigaciones y correcciones en cuanto a las buenas prácticas agrícolas que se debe aplicar tanto a productores privados como a la caña del IANCEM, este trabajo de investigación se enfatizó en buscar alternativas de solución a la etapa de enclado.

ALTERNATIVA 1: EN BASE A LA PUREZA DE LA CAL

Tabla 17.4. Alternativa de optimización en base a la pureza del Ca (OH)₂

Alternativa	Pureza Ca(OH) ₂		Parámetros de índice melasigénico	Índice melasigénico calculado	Cumple	No cumple
	Prueba	%				
1	1	68.54 %	0.8-1.1	0.71		X
	2	73.83 %	0.8-1.1	0.83	X	
	3	90 %	0.8-1.1	0.86	X	

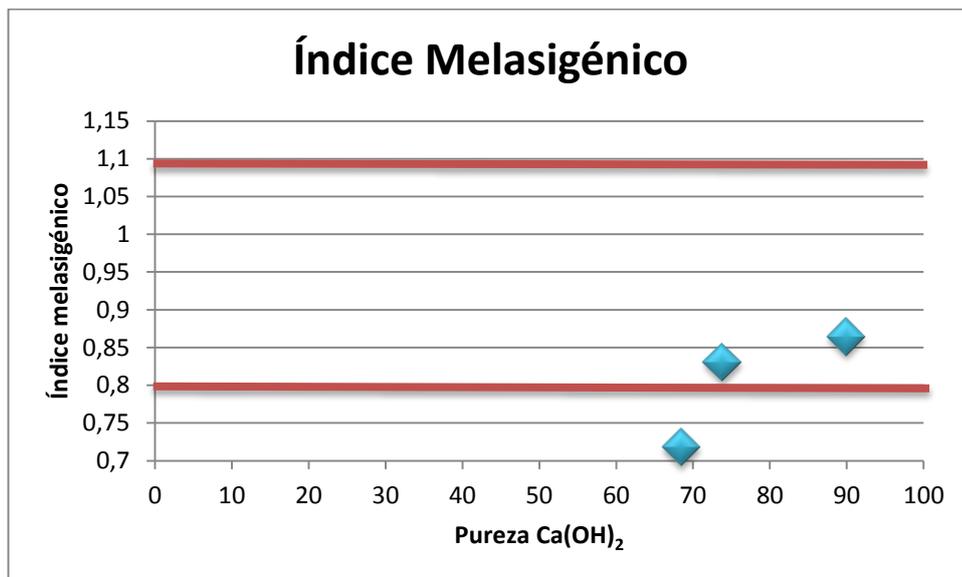


Figura 33.4. Índice melasigénico en base a la pureza del Ca (OH)₂

ALTERNATIVA 2: SISTEMA DE CARBONATACIÓN

Tabla 18.4. Índice melasigénico mediante el sistema de carbonatación

Alternativa	Adición de CO ₂	Parámetros de índice melasigénico	Índice melasigénico calculado	Cumple	No cumple
2	Sin CO ₂	0.8-1.1	0.658		X
	Con CO ₂	0.8-1.1	0.891	X	

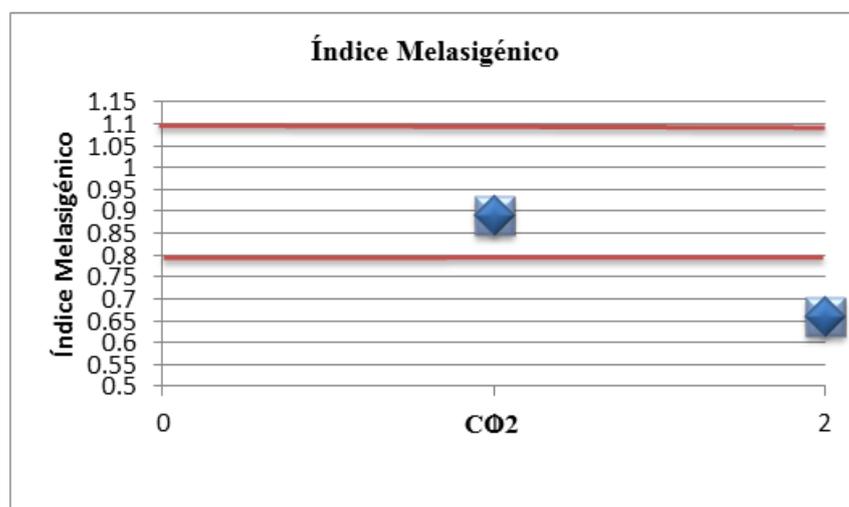


Figura 34.4. Índice melasigénico mediante el sistema de carbonatación

Hipótesis 4

Las dos alternativas de optimización planteadas cumplieron con lo esperado ya que los valores de índice melasigénico indicadas en las Tablas 17.4 y 18.4, cumplen con los parámetros establecidos por la norma interna de la empresa. Sin embargo el alto costo de implementación del sistema de carbonatación y al no existir en el país un Ca (OH)₂ que contenga una pureza mayor al 85 %, se puede concluir que la mejor opción para mejorar los problemas en la etapa de encalado es mediante el sistema de sedimentación y filtración de la cal, con el cual se aumenta un 8 % la pureza del Ca (OH)₂ demostrado en el informe de laboratorio reportado por el IANCEM. (APENDICE V).

4.3 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos de la determinación del índice melasigénico proporcionaron una idea del estado actual de los procesos de elaboración de azúcar blanco, evidenciando un alto contenido de cenizas al obtener valores de este índice menor a la unidad Figura 4.3.

Tomando como referencia que la pureza de la melaza para ingenios con procesos controlados debe ser de 30 a 38 % (Tabla 6.2), correspondiente a índices melasigénicos de 0.95 a 1.05, el valor de 0.60 obtenido en el proceso es distante, demostrando un baja recuperación de sacarosa y un agotamiento de mieles finales de alta pureza.

Los cálculos realizados para determinar el porcentaje de cumplimiento de los datos obtenidos en cada operación del procesos, reflejaron un 0 % de cumplimiento en la miel final (Figura 22.3), manifestando el alto efecto melasigénico y justificando las altas purzas de la misma, seguido del proceso de cristalización con 5 % (Figura 19.3), la recepción de la materia prima con 46 % (Figura 10.3), la extracción 60 % (Figura 13.3) y la clarificación de jugo con 25 % (Figura 16.3). Mediante el análisis realizado a cada uno de estas operaciones y tomando en cuenta que a partir de la cristalización ya no es posible realizar modificaciones, se establecieron como puntos críticos de control a la recepción de la materia prima y a la operación de clarificación principalmente en la etapa de encalado por ser los que mayor incidencia presentan en este índice.

Las cartas de control de lecturas individuales (Figura 25.4 y 26.4), demostraron que los procesos tanto de recepción de la materia prima como la etapa de encalado se encuentran fuera de control comprobado por los patrones de anormalidad que reportan las pruebas de causas especiales realizadas en cada uno por el programa MINITAB.

La capacidad de proceso para la recepción de la materia prima fue de 0.22 (Figura 27.4), siendo menor a 1.33 valor referido en la Tabla 4.2, nos indica que esta operación en relación al índice melasigénico no es el adecuado y se requiere modificaciones serias. La misma situación se presenta en el proceso de clarificación en donde el valor obtenido de capacidad de proceso es de 0.25 (Figura 28.4), y al ser menor al valor establecido para procesos que se encuentran bajo control estadístico de 1.33, nos indica que la operación es inadecuada para el trabajo.

Con la finalidad de identificar que elemento de la ceniza presente en la melaza es el que está causando mayor incidencia, se realizó un análisis en el laboratorio externo LASA en donde se evidenció que el mayor constituyente es el calcio con un 69.98 % (APENDICE IV), del total y fue comprobado con el alto contenido de dureza en el jugo claro representado por un valor de 2580 ppm de CaCO_3 (Tabla 14.3), tomando en cuenta que el valor mínimo de dureza debe ser de 2000 ppm de CaCO_3 (valor referido de la normativa interna de la empresa). Mediante lo cual se evidencia que el problema radica en la etapa de encalado.

En base a la tecnología azucarera en donde se manifiesta que el CaO (cal) utilizado como agente purificador del jugo de caña debe tener una pureza mayor a 85 % (Ramos, A. 2009), se establece que la causa principal del alto contenido de cenizas en la clarificación son ocasionadas por la baja calidad de la cal utilizada con una pureza de 68.91 % (ANEXO II), y por un sobre encalamiento demostrado en la Figura 30.4, en donde se puede apreciar un incremento del 1.9 % de impurezas al proceso, ocasionando que la solubilidad de la sacarosa aumente y que una cantidad considerable de cenizas se adhieran a la película del cristal obstaculizando la incorporación de sacarosa al mismo.

Al ser de baja pureza el CaO utilizado por el IANCEM el principal causante del alto efecto melasigénico, la mejor opción sería utilizar Ca(OH)_2 (cal hidratada) con una pureza del 90 %, la misma que produce índices melasigénicos de 0.86 como se observa en la Tabla 17.4, que cumplen con los parámetros establecidos por la empresa, sin embargo en el país no existe un CaO que produzca una cal hidratada con esta pureza, para lo cual se estableció un sistema de purificación del CaO mediante las operaciones de sedimentación y filtración de la misma reportándonos una pureza de 73.83 % (APENDICE V) y evidenciando un índice melasigénico de 0.83 (Tabla 17.4), cumpliendo con la norma interna. Adicionalmente esta alternativa de optimización debe ir acompañada con un sistema automático de dosificación de sacarato para evitar un sobre encalamiento y tener mayor control con la incorporación de sacarato al jugo.

Como una segunda alternativa se plantea un sistema de carbonatación, que consiste en la adición de CO_2 a la operación de clarificación, el mismo que permitió un aumento del 26 % (Figura 34.4) del índice melasigénico al obtener un valor de 0.89 (Tabla 18.4), contribuyendo a la mayor recuperación de sacarosa, pero tomando en cuenta que esto

implicaría un alto costo de implementación ya que se debe diseñar y obtener equipos destinados para la obtención de CO₂, finalmente se establece que la mejor alternativa para el IANCEM es el sistema de purificación del CaO indicado en el párrafo anterior.

CONCLUSIONES

- Mediante la determinación del índice melasigénico en cada etapa del proceso de elaboración de azúcar blanco, procedente del Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta IANCEM, se estableció que los valores no corresponden a los límites especificados en cada uno de ellos, produciendo un mayor efecto melasigénico y por lo tanto, menor posibilidad de agotamiento de mieles, razón por la cual no es posible una adecuada recuperación de la sacarosa.
- El estado actual del proceso de elaboración de azúcar blanco no es estable, debido a que presenta una gran dispersión de los datos de índice melasigénico en cada etapa del proceso, el mismo que se denota al obtener melaza de alta pureza en comparación con la recomendada por la tecnología azucarera
- Las etapas que presentan una mayor afectación en la recuperación de sacarosa son la materia prima y el encalado, las cuales fueron identificadas mediante un análisis de cumplimiento de datos, verificado por patrones de anomalía observadas en las gráficas de control. Tomando en cuenta que la etapa de encalado es la de mayor interés y que la pureza del CaO utilizado cumple un papel importante en el incremento de cenizas durante el proceso.
- Este estudio no profundiza las variables agrícolas que pueden producir los altos contenidos de cenizas, que se producen durante la operación de recepción de la materia prima. Las alternativas de optimización fueron planteadas para la etapa de encalado, las mismas que tomaron dos direcciones; la primera fue realizada en base a la pureza de la cal y la segunda mediante un sistema de carbonatación, pero, al no existir en el mercado nacional una cal con una pureza mayor al 85 % e implementar un sistema de carbonatación representa un costo elevado, la mejor opción es utilizar un sistema de purificación de la misma.

- El índice melasigénico que se obtuvo en el IANCEM, adoptando el sistema de purificación del CaO, cumple con los parámetros establecidos por la industria azucarera, permitiendo así una mejor cristalización del azúcar; disminuyendo el efecto melasigénico; obteniendo un eficiente agotamiento de mieles finales y en consecuencia una mayor recuperación de sacarosa.

RECOMENDACIONES

- Al ser la pol en caña y los azúcares reductores los principales factores que se analizan en la materia prima, pasa a segundo plano el contenido de cenizas, por lo que se recomienda la realización de este análisis, para poder tener un mayor control de la caña que ingresa a la fábrica.
- El lavado de la caña debe ser realizado en cada ingreso de la materia prima, aunque la cantidad de impurezas presentes no supera los límites establecidos por la industria azucarera, si produce el aumento en el contenido de cenizas.
- En base a los análisis realizados a la materia prima, se recomienda realizar un estudio complementario, enfocado a las buenas prácticas agrícolas (BPA), mismas que se deben aplicar tanto a productores privados como a la caña del IANCEM.
- Se recomienda la implementación de un sistema automático de dosificación de insumos, principalmente en la adición de sacarato, con el fin de disminuir la incidencia de cenizas al proceso.
- Para minimizar el efecto melasigénico que produce la etapa de encalado al proceso, se recomienda la implementación del sistema de purificación de CaO, el que se fundamenta en conos de decantación con serpentines para la eliminación del sedimentado, lo que permitirá la disminución del porcentaje de cenizas y consecuentemente el mayor agotamiento de mieles finales.
-

BIBLIOGRAFÍA

- Angel, A.J. (2006). Introducció a MINITAB. (Tesis de Grado, Universidad Politécnic de Catalunya). Recuperado de http://www.uoc.edu/in3/e-math/docs/Intro_Minitab_UPC.pdf
- Beyer, W. (1987). Manual de química orgánica. 19ª ed. Versión española por: Dr. José BarluengaMur, España: Reverté.
- Buenaventura, C. (1989). Manual de laboratorio para la industria azucarera. Colombia: Tecnicaña.
- Chen, J. P. (1991) MANUAL DEL AZUCAR DE CAÑA. 11ª ed. México: Limusa.
- Crespo, R. (1985). Química Orgánica Fundamental. España: Reverté.
- Coulson, J.M & Richardson, J.F.(1981). Ingeniería Química “Operaciones Básicas”. España: Reverte.
- Domínguez. F & Díaz T. (2003). Agotamiento de mieles en la industria azucarera. (Trabajo de Grado). Universidad de Matanzas, Cuba.
- ELMER. B. (1982). Elementos de Probabilidad y Estadística. España: Reverté.
- Gil, Z.N. (2007). Aconitic acid from sugarcane: production and industrial application. (Tesis Doctoral). Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- García, M. (2008). Manual de Marketing. Madrid: Esic.
- Henrituez, C. (1999). Factores químicos de suelo que afectan la calidad de los productos agrícolas. (Trabajo Doctoral). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Herrera, A. (2011). Estudio comparativo de métodos para la determinación de sacarosa y azúcares reductores en miel virgen de caña utilizados en el ingenio Pichichís. (Trabajo de Grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Honig P. (1969)Principios de la tecnología azucarera. Cuba: Pueblo y Educación.
- Inés, A &Avila, O. (2011). El Aguardiente de caña, procesos y tradición en el Valle de Yunguilla. (Tesis de Grado) Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Juran, J.M & Gryna, F.M. (2002). Anàlisis y planeación de la calidad. 3ª ed. Madrid: McGraw-Hill
- Komdofer, G. (1994). Importancia da adubacaonaqualidade da cana-de-acucar. Sao Paulo: Icone.
- Miller, K,F. Ingram, G,D. &Murry, J,D. (1998). Exhaustion characteristics of australiano molasses. SugarResearchInstituted. 506. Recuperado de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad>

- =rja&uact=8&ved=0ahUKEwja_67S8PvNAhXRsh4KHckjBngQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.assct.com.au%2Fmedia%2Fpdfs%2F1998_pa_m79.pdf&usg=AFQjCNFIKXBuiilY4hG7KUSK71-Cr32_Kg&bvm=bv.127178174,d.dmo
- Miranda Francisco (2007). *Introducción a la Gestión de la Calidad*. España: Delta.
- NTE INEN AZÚCAR BLANCO Requisitos. Quito-Ecuador. 2000. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0259.2000.pdf>
- NTE INEN NORMAS DE MUESTREO DE AZÚCAR. Quito-Ecuador. 1980. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0262.1980.pdf>
- Primo, E. (2007). *Química Orgánica Básica y Aplicada*. España: Reverté.
- Quezada, W. (2007). *Determinación de Parámetros Óptimos para la Producción y Aromatización de Miel Hidrolizada, Panela soluble y Azúcar*. (Trabajo de Investigación). Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
- Ramos, A. (2009). *Procesos de elaboración del azúcar y etanol de la caña*. 2ª ed. Cali. Universidad del Valle.
- Sahadeo, P. (1998). The effect of some impurities on molasses exhaustion. *Sugar Milling Research Institute*, 4041. Durban
- Textos científicos. (2016). *Velocidad de cristalización*. Recuperado de <http://www.textoscientificos.com/quimica/cristales/crecimiento-cristales>
- Zossi., *et al.* (2010). Influencia de compuestos azúcares y no azúcares en la calidad industrial de caña de azúcar en Tucumán *Revista Industrial y agrícola de Tucumán*. 87(1), 22-23. Recuperado de <http://www.agro.unlp.edu.ar/revista/index.php/revagro/article/viewFile/60/36>
- Vilar Ares, M.J. (2007). *Desarrollo del análisis de peligros y puntos de control crítico en explotaciones de vacuno lechero en galicia: estudio epidemiológico de patógenos zoonóticos*. (Trabajo Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela). Recuperado de https://dspace.usc.es/bitstream/10347/2323/1/9788497508704_content.pdf

ANEXOS Y APÉNDICES

APENDICE I

Muestra	Fecha	Brix	Pol	Pureza	%Cenizas	%Azucares Reductores	AR/C
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

APENDICE II

Tabla 1.2. Datos obtenidos de Prezafra

Muestra	Fecha	Brix(%)	Pol(%)	Pureza(%)	Cdut H2O(us)	Cdut Sol(us)	Nivel AR
1	13/01/2016	22,02	20,34	92,37	3,16	1232	0,2
2	13/01/2016	22,72	20,02	88,12	3,16	864	0,18
3	13/01/2016	22	18,97	86,23	2,58	1327	0,19
4	13/01/2016	22,9	19,83	86,59	2,58	1616	0,19
5	13/01/2016	21,18	19,67	92,87	2,73	1182	0,2
6	13/01/2016	21,76	19,37	89,02	2,73	1223	0,2
7	13/01/2016	23,2	21,22	91,47	3,5	1031	0,22
8	13/01/2016	22,18	20,32	91,61	3,5	775	0,18
9	13/01/2016	22,16	20,67	93,28	2,98	933	0,2
10	13/01/2016	22,42	21,27	94,87	2,98	1016	0,2
11	13/01/2016	22,34	20,71	92,70	2,81	960	0,19
12	13/01/2016	22,2	20,36	91,71	2,81	1085	0,2
13	13/01/2016	23,52	21,93	93,24	3,04	1303	0,18
14	13/01/2016	22,4	20,31	90,67	3,04	1335	0,18
15	14/01/2016	20,92	18,3	87,48	2,41	1840	0,18
16	14/01/2016	20,38	17,92	87,93	2,41	2400	0,19
17	14/01/2016	20,22	18,05	89,27	2,41	1913	0,22
18	14/01/2016	18,46	15,23	82,50	3,08	2510	0,25
19	14/01/2016	17,86	14,97	83,82	3,08	2580	0,28
20	14/01/2016	17,92	15,19	84,77	3,08	2490	0,3
21	14/01/2016	17,88	15,12	84,56	3,33	2500	0,31
22	14/01/2016	17,1	13,54	79,18	1,97	3180	0,42
23	14/01/2016	17,94	14,94	83,28	1,97	2550	0,3
24	14/01/2016	21,56	19,23	89,19	2,43	1866	0,17
25	14/01/2016	19,78	16,69	84,38	1,76	2300	0,25
26	14/01/2016	18,36	15,15	82,52	1,85	2710	0,31
27	14/01/2016	18,34	15,06	82,12	2,79	2320	0,29
28	14/01/2016	17,66	14,56	82,45	2,79	2840	0,33
29	14/01/2016	19,12	16,74	87,55	2,52	2027	0,24
30	14/01/2016	18,94	16,15	85,27	2,55	1915	0,27
31	14/01/2016	19,5	16,89	86,62	2,55	1752	0,28
32	14/01/2016	20,36	18,14	89,10	1,94	2189	0,2
33	14/01/2016	19,52	17,29	88,58	1,94	1960	0,19
34	14/01/2016	21,94	19,48	88,79	1,85	1632	0,18
35	14/01/2016	20,34	17,19	84,51	1,85	2210	0,27
36	14/01/2016	17,24	14,05	81,50	1,92	3230	0,37
37	14/01/2016	19,98	17,67	88,44	1,92	1972	0,18
38	14/01/2016	20,7	18,46	89,18	1,75	1869	0,16
39	14/01/2016	19,06	17,03	89,35	1,75	1918	0,15
40	19/01/2016	21,74	19,19	88,27	2,72	1599	0,2

41	19/01/2016	20,78	18,37	88,40	4,69	1949	0,18
42	19/01/2016	22,02	19,82	90,01	3,35	1793	0,17
43	19/01/2016	23,46	21,56	91,90	4,86	1477	0,15
44	19/01/2016	22,34	20,27	90,73	2,81	1802	0,16
45	19/01/2016	22,32	20,4	91,40	2,81	1764	0,18
46	19/01/2016	22,46	20,56	91,54	2,72	1543	0,17
47	19/01/2016	23,94	21,77	90,94	2,72	1645	0,17
48	19/01/2016	22,74	20,88	91,82	2,75	1562	0,15
49	19/01/2016	18,12	15,85	87,47	2,36	2680	0,25
50	19/01/2016	17,48	15,01	85,87	2,36	2750	0,3

Tabla 2.2. Datos de Zafra

Muestra	Fecha	Brix	Pol	Pureza	Nivel AR	Condut H2O	Condut Sol
1	13/01/2016	20,98	18,31	87,27	0,28	3,59	2037
2	13/01/2016	22	18,78	85,36	0,29	3,59	1968
3	13/01/2016	21,98	19,19	87,3	0,19	3,65	1789
4	13/01/2016	21,54	19,32	89,68	0,18	3,65	1873
5	13/01/2016	19,42	17,24	88,78	0,25	2,53	2181
6	13/01/2016	18,42	15,15	82,26	0,41	2,53	2820
7	13/01/2016	22,46	19,76	87,96	0,22	2,57	1806
8	13/01/2016	19,52	16,84	85,57	0,29	2,57	2330
9	14/01/2016	18,76	15,67	83,55	0,28	2,37	3140
10	14/01/2016	20,42	17,71	86,73	0,22	2,37	2360
11	14/01/2016	21,68	19,16	88,38	0,28	2,71	1124
12	14/01/2016	19,68	17,75	90,18	0,22	2,69	2035
13	14/01/2016	18,66	16,26	87,15	0,21	2,75	2128
14	14/01/2016	21,14	18,53	87,67	0,2	2,75	2280
15	14/01/2016	20,34	18,47	90,8	0,15	2,73	2111
16	14/01/2016	20,44	17,64	86,3	0,26	2,73	2840
17	14/01/2016	19,9	17,18	86,36	0,27	2,73	2800
18	14/01/2016	18,32	15,89	86,74	0,28	3,33	2490
19	14/01/2016	20,66	18,2	88,11	0,22	1,39	3030
20	15/01/2016	21,16	18,15	85,75	0,3	1,39	2410
21	15/01/2016	20,56	18,51	90,05	0,15	1,65	2370
22	15/01/2016	17,32	14,79	85,39	0,21	1,34	1936
23	15/01/2016	21,96	19,92	90,7	0,17	1,79	2210
24	15/01/2016	20,06	18,03	89,87	0,17	1,79	2280
25	15/01/2016	19,92	17,33	87	0,3	2,63	2730
26	15/01/2016	22,36	20,07	89,76	0,2	3,37	2370
27	15/01/2016	18,46	16,03	86,83	0,2	3,37	2950
28	15/01/2016	20,32	18,06	88,9	0,26	3,77	2021
29	15/01/2016	18,1	15,98	88,26	0,26	3,77	2590
30	18/01/2016	23,1	21,09	91,32	0,22	3,24	927
31	18/01/2016	23,74	19,94	84	0,48	4,18	2145

32	18/01/2016	20,46	17,81	87,03	0,47	4,4	1921
33	18/01/2016	21,9	18,79	85,79	0,72	2,9	2230
34	18/01/2016	21,86	19,58	89,57	0,23	1,83	1328
35	18/01/2016	22,9	20,65	90,19	0,17	2,59	1918
36	18/01/2016	22,04	20,11	91,26	0,2	1,49	1556
37	18/01/2016	20,78	19,44	93,54	0,18	1,49	1248
38	19/01/2016	20,78	18,66	89,81	0,26	2	1709
39	19/01/2016	19,7	17,54	89,03	0,18	2	1885
40	19/01/2016	22,26	19,8	88,96	0,36	1,91	1199
41	19/01/2016	22,14	19,54	80,25	0,42	2,09	1516
42	19/01/2016	23,26	21,56	92,67	0,17	2,09	892
43	19/01/2016	21,42	18,03	84,2	0,31	1,74	2720
44	19/01/2016	22,02	19,51	88,61	0,22	1,74	1725
45	19/01/2016	21,4	18,85	88,09	0,36	2,72	1415
46	19/01/2016	21,5	19,17	84,14	0,18	2,72	2280
47	20/01/2016	19,88	17,84	89,76	0,29	3,05	1893
48	20/01/2016	22,5	20,23	89,91	0,31	3,05	1259
49	20/01/2016	23,1	21,21	91,83	0,19	2,64	1186
50	20/01/2016	23,64	21,9	92,64	0,21	2,64	1125

Tabla 3.2. Datos de Jugo Primario (EXTRACCIÓN DEL JUGO)

Muestra	Fecha	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	CdutH2O (us)	Cdut Sol(us)	ml gastados
1	21/01/2016	20,7	17,81	86,04	3,95	1558	10,9
2	22/01/2016	19,22	17,45	90,79	1,92	2280	11
3	25/01/2016	17,62	15,15	86,00	3,49	1917	10,9
4	27/01/2016	17,57	15,10	85,94	2,62	2380	12,3
5	29/01/2016	20,23	17,84	88,17	3,54	1926	8,9
6	02/02/2016	18,66	15,67	84,00	2,82	2800	11,2
7	04/02/2016	18,06	15,33	84,91	3,34	2044	7,4
8	05/02/2016	18,78	15,99	85,13	1,83	2290	16,6
9	10/02/2016	18,26	15,85	86,83	1,54	2350	15,6
10	11/02/2016	16,84	14,04	83,40	2,43	2660	19,5
11	12/02/2016	19,55	17,47	89,37	2,01	2470	16
12	13/02/2016	19,54	17,40	89,05	2,43	2850	19,1
13	16/02/2016	18,46	16,55	89,64	3,04	2930	11,4
14	17/02/2016	19,36	17,28	89,26	2,28	2003	17,9
15	18/02/2016	19,25	16,96	88,09	2,01	2500	21,7
16	19/02/2016	19,39	17,46	90,04	2,05	2280	21,1
17	22/02/2016	19,57	17,04	87,06	2,82	2820	10,4
18	23/02/2016	19,84	16,95	85,44	1,66	2087	7,8
19	25/02/2016	21,43	19,20	89,59	1,89	1553	11,2
20	26/02/2016	17,68	15,12	85,53	3,28	2500	9,1

Tabla 4.2. Datos de Jugo Mixto (EXTRACCIÓN DEL JUGO)

Muestra	Fecha	Brix (%)	Pol(%)	Pureza(%)	Condut H2O (us/cm)	Condut Sol (us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	19,39	17,23	88,88	5,23	1558	11,4
2	22/01/2016	17,73	15,49	87,38	1,92	2380	13,2
3	25/01/2016	16,17	13,85	85,63	3,49	1993	10,8
4	27/01/2016	16,65	14,07	84,48	2,62	2410	12,1
5	29/01/2016	18,76	16,48	87,86	3,54	1989	9
6	02/02/2016	17,68	15,21	86,03	2,82	3340	11,5
7	04/02/2016	16,63	14,10	84,76	3,34	2096	7,3
8	05/02/2016	16,99	14,35	84,45	1,83	2340	18,4
9	10/02/2016	16,89	14,37	85,06	1,54	2470	14,5
10	11/02/2016	15,27	12,71	83,23	2,43	2700	17,9
11	12/02/2016	17,93	15,86	88,44	2,01	2560	15,3
12	13/02/2016	18,17	16,13	88,75	2,43	2200	19
13	16/02/2016	17,7	15,35	86,72	3,04	2890	10,6
14	17/02/2016	17,6	15,65	88,91	2,28	2028	19,6
15	18/02/2016	17,07	15,01	87,94	2,01	2610	20,4
16	19/02/2016	17,84	15,84	88,81	2,05	2260	20,2
17	22/02/2016	18,44	15,94	86,43	2,82	2860	9,6
18	23/02/2016	18,86	16,36	86,73	1,66	1949	8,7
19	25/02/2016	19,78	17,61	89,02	1,89	1600	10,7
20	26/02/2016	16,66	14,17	85,02	3,28	2570	9,2

Tabla 5.2. Datos Jugo Último (EXTRACCIÓN DEL JUGO)

Muestra	Fecha	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Cdut H2O(us/cm)	Cdut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	4,05	3,29	81,27	0	1697	31,4
2	22/01/2016	3,46	2,69	77,65	0	1757	42,1
3	25/01/2016	3,63	2,91	80,20	0	2030	37,1
4	27/01/2016	4,1	3,35	81,64	0	2550	24,4
5	29/01/2016	3,62	3,09	85,47	0	2190	41,2
6	02/02/2016	4,1	3,48	84,84	0	2870	43,5
7	04/02/2016	3,64	2,91	79,97	0	2122	34,5
8	05/02/2016	3,98	3,16	79,37	0	2690	48,9
9	10/02/2016	3,89	3,15	81,10	0	2340	52,4
10	11/02/2016	2,34	1,96	83,94	0	1421	50
11	12/02/2016	3,8	3,14	82,65	0	2620	49,2
12	13/02/2016	4,86	4,21	86,68	0	2700	48,5

13	16/02/2016	4,68	3,75	80,06	0	3070	31,9
14	17/02/2016	3,61	3,14	86,99	0	1957	41,4
15	18/02/2016	3,89	3,21	82,62	0	2099	56,2
16	19/02/2016	3,97	3,30	83,07	0	2320	57,5
17	22/02/2016	5,04	4,09	81,09	0	3450	26,2
18	23/02/2016	4,27	3,35	78,34	0	2770	23,6
19	25/02/2016	4,73	3,94	83,21	0	1965	29,7
20	26/02/2016	4,56	3,65	80,08	0	2530	29,7

Tabla 6.2. Jugo Sulfitado (CLARIFICACIÓN)

Muestra	Fecha	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Cdut H2O(us/cm)	Cdut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	18,43	15,83	85,90	3,96	1648	8,5
2	22/01/2016	16,78	14,39	85,76	2,39	2380	10,5
3	25/01/2016	15,58	13,15	84,43	5,32	2200	9,5
4	27/01/2016	15,2	13,31	87,56	2,62	2590	6,3
5	29/01/2016	17,55	14,95	85,17	3,54	2210	9,2
6	02/02/2016	16,13	14,44	89,54	2,82	3090	10,7
7	04/02/2016	16,33	13,99	85,65	3,34	2240	5,6
8	05/02/2016	16,05	14,33	89,30	1,83	2340	11,9
9	10/02/2016	16,36	14,50	88,63	1,54	2610	11,8
10	11/02/2016	15,17	13,30	87,68	2,43	2750	8,9
11	12/02/2016	16,85	14,96	88,78	2,01	2810	12,1
12	13/02/2016	16,96	14,87	87,66	2,43	2440	11,3
13	16/02/2016	16,71	14,48	86,68	3,04	3050	9,7
14	17/02/2016	16,62	14,74	88,71	3,48	2340	13,8
15	18/02/2016	17,04	14,82	86,95	2,01	2510	14,6
16	19/02/2016	17,17	15,10	87,93	2,05	2490	15,4
17	22/02/2016	17,25	14,35	83,20	2,82	2970	6,4
18	23/02/2016	17,28	14,40	83,32	1,66	2870	7,2
19	25/02/2016	18,9	16,80	88,90	1,61	1766	8,6
20	26/02/2016	16,74	14,40	86,03	3,28	2290	7,7

Tabla 7.2. Jugo Encalado (CLARIFICACIÓN)

Muestra	Fecha	Brix (%)	Pol (%)	Pureza(%)	Cdut H2O(us/cm)	Cdut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	17,12	15,16	88,55	7,93	2101	9,1
2	22/01/2016	17,08	14,65	85,77	1,92	2790	13,1
3	25/01/2016	16,16	13,24	81,93	5,32	2450	12,2
4	27/01/2016	15,6	12,69	81,34	2,62	3100	6,6
5	29/01/2016	15,84	13,60	85,86	3,54	2290	11
6	02/02/2016	16,76	14,03	83,71	2,82	3100	10,6
7	04/02/2016	16,47	13,78	83,65	3,34	2360	8,5
8	05/02/2016	16,06	13,61	84,74	1,83	2320	9,7
9	10/02/2016	17,15	14,33	83,55	1,54	2780	14,3
10	11/02/2016	14,8	12,55	84,80	2,43	2980	11,9
11	12/02/2016	16,86	14,50	86,00	2,01	2940	14,2
12	13/02/2016	16,88	13,94	82,58	2,43	2250	14,8
13	16/02/2016	17,02	15,00	88,13	3,04	3080	9,4
14	17/02/2016	16,94	14,68	86,68	3,48	2560	12,6
15	18/02/2016	17,79	15,55	87,38	2,01	2300	14,7
16	19/02/2016	17,22	15,05	87,40	2,05	2730	16,1
17	22/02/2016	17,5	17,40	99,41	2,82	2980	9,1
18	23/02/2016	17,4	14,53	83,50	1,66	3030	8,4
19	25/02/2016	18,83	16,60	88,18	1,61	1918	9,1
20	26/02/2016	16,77	14,34	85,53	3,28	2380	7,6

Tabla 8.2. Jugo Claro (CLARIFICACIÓN)

Muestra	Fecha	Brix (%)	Pol (%)	Pureza(%)	Cdut H2O(us/cm)	Cdut Sol(us/cm)	mi gastados
1	21/01/2016	19,78	17,67	89,32	3,78	2065	7,2
2	22/01/2016	17,3	14,78	85,42	2,91	2610	14,1
3	25/01/2016	16,3	13,89	85,25	4,53	2440	12,6
4	27/01/2016	16,72	14,12	84,42	2,62	2970	5,2
5	29/01/2016	17,58	15,05	85,58	3,54	2200	10,1
6	02/02/2016	16,4	14,10	85,97	2,82	2710	14,7
7	04/02/2016	17,87	15,27	85,45	3,34	2330	10,1
8	05/02/2016	17,54	14,67	83,62	1,83	2280	7,9
9	10/02/2016	16,94	13,95	82,37	1,54	2840	16,6
10	11/02/2016	16,59	13,70	82,57	2,43	3150	7,6
11	12/02/2016	15,11	13,17	87,15	2,01	2670	13,2
12	13/02/2016	18,03	15,77	87,44	2,43	2690	12,4
13	16/02/2016	17,58	15,19	86,40	3,04	2910	13,2
14	17/02/2016	18,41	16,39	89,04	3,48	2340	12,7
15	18/02/2016	17,24	14,73	85,44	2,01	2390	12,6

16	19/02/2016	17,27	14,55	84,26	2,05	2730	12,1
17	22/02/2016	17,58	14,88	84,63	2,82	2850	12,1
18	23/02/2016	17,72	14,80	83,51	1,91	2920	8,7
19	25/02/2016	19,04	16,56	86,99	1,61	1924	8,3
20	26/02/2016	18,23	15,43	84,67	3,28	2500	7,6

Tabla 9.2. Jugo Filtrado (FILTRACIÓN DE LA CACHAZA)

Muestra	Fecha	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Cdut H2O(us/cm)	Cdut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	17,6	15,48	87,95	5,07	2130	11,3
2	22/01/2016	13,98	11,52	82,40	2,39	2096	12,7
3	25/01/2016	17,36	15,11	87,01	5,32	2710	10,7
4	27/01/2016	15,35	13,16	85,72	2,14	3410	3,8
5	29/01/2016	14,42	12,05	83,57	3,54	2790	9,8
6	02/02/2016	14,54	11,86	81,55	2,82	2890	9,8
7	04/02/2016	17,37	15,03	86,54	3,34	2680	10
8	05/02/2016	13,36	11,35	84,96	1,83	2720	13,6
9	10/02/2016	16,64	14,02	84,24	1,54	2930	10,3
10	11/02/2016	16,25	13,52	83,19	2,43	3160	10,8
11	12/02/2016	15,59	13,33	85,50	2,01	2920	13,4
12	13/02/2016	15,5	13,18	85,00	2,43	2860	10,8
13	16/02/2016	15,2	13,08	86,04	3,04	3120	12,5
14	17/02/2016	18,59	16,34	87,91	3,48	2330	12,4
15	18/02/2016	16,82	14,08	83,74	2,01	2690	10
16	19/02/2016	15,8	13,42	84,94	2,05	2810	13,5
17	22/02/2016	17,28	14,72	85,19	2,82	3130	10,7
18	23/02/2016	18,84	15,90	84,42	1,91	2850	8,8
19	25/02/2016	17,63	15,19	86,14	2,64	2118	8,6
20	26/02/2016	17,82	14,63	82,08	3,28	2740	7,1

Tabla 10.2. Jarabe (CLARIFICACIÓN DE MELADURA)

Muestra	Fecha	Brix(%)	Pol(%)	Pureza(%)	Condut H2O(us/cm)	Condut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	64,98	54,7	84,14	3,78	2280	70,2
2	22/01/2016	64,41	56,2	87,30	2,91	1976	87,2
3	25/01/2016	60,87	50,0	82,15	4,53	2400	50
4	27/01/2016	60,15	49,6	82,46	2,62	2370	52,1
5	29/01/2016	43,23	36,9	85,46	3,1	2152	92,5
6	02/02/2016	60,27	50,4	83,57	3,42	2710	63,5
7	04/02/2016	62,25	54,4	87,33	2,05	2260	54,6
8	05/02/2016	51	42,9	84,04	1,83	2280	89,6
9	10/02/2016	62,04	50,9	81,98	1,52	2860	91,2

10	11/02/2016	63,7	52,7	82,80	2,35	3000	56,6
11	12/02/2016	49,74	42,6	85,57	1,53	2850	72,8
12	13/02/2016	59,91	50,8	84,79	1,71	2650	71
13	16/02/2016	50,7	42,4	83,71	2,47	2970	72
14	17/02/2016	56,64	49,0	86,50	3,48	2250	75,6
15	18/02/2016	60,54	52,0	85,90	2,43	2530	57,4
16	19/02/2016	63,06	54,8	86,90	2,05	2370	68,8
17	22/02/2016	52,59	44,3	84,28	2,82	3150	68,2
18	23/02/2016	49,95	42,6	85,37	1,91	2630	72
19	25/02/2016	49,5	42,5	85,85	1,89	1994	62,8
20	26/02/2016	49,32	40,3	81,69	2,32	2490	46

Tabla 11.2. Miel A (CENTRIFUGACIÓN)

Muestra	Fecha	Brix(%)	Pol(%)	Pureza(%)	Condut H2O(us/cm)	Condut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	77,6	59,4	76,5	3,95	2960	54,2
2	22/01/2016	79,8	60,2	75,5	2,3	4140	30,1
3	25/01/2016	79,5	60,4	75,9	3,17	3640	30,1
4	27/01/2016	75	53,1	70,8	2,14	4220	21
5	29/01/2016	80,2	57,3	71,5	3,1	4240	22,9
6	02/02/2016	78,5	56,7	72,3	3,42	4700	31,8
7	04/02/2016	77,1	57,9	75,1	2,05	3610	28,5
8	05/02/2016	80,1	59,2	73,9	1,92	3620	32
9	10/02/2016	81,4	56,8	69,8	1,82	5100	26
10	11/02/2016	80,3	56,9	70,9	2,35	5110	23,2
11	12/02/2016	80,4	58,6	72,9	1,94	4980	37
12	13/02/2016	80,2	57,7	72,0	1,71	2650	26,5
13	16/02/2016	79,2	59,0	74,5	2,47	4840	25,6
14	17/02/2016	78,6	58,7	74,7	2,43	4440	28,9
15	18/02/2016	80,2	59,5	74,2	2,43	4680	25,2
16	19/02/2016	78,4	58,7	74,9	1,51	4380	30
17	22/02/2016	81,8	59,5	72,7	2,37	5420	23,8
18	23/02/2016	81,4	59,1	72,6	2,22	5160	24,8
19	25/02/2016	79,5	60,0	75,4	1,61	3640	23,3
20	26/02/2016	80,3	58,2	72,5	2,32	4180	21,5

Tabla 12.2. Miel Rica (CENTRIFUGACIÓN)

Muestra	Fecha	Brix(%)	Pol(%)	Pureza(%)	Condut H2O(us/cm)	Condut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	78,6	62,9	80,00	3,95	3030	46,6
2	22/01/2016	76,9	63,5	82,52	2,3	2610	53,2
3	25/01/2016	75,1	63,0	83,88	3,17	3070	29
4	27/01/2016	78,3	63,1	80,61	2,15	3140	25,9
5	29/01/2016	77,3	64,5	83,39	3,99	2340	49,3
6	02/02/2016	78,8	63,3	80,31	3,42	4270	35,6
7	04/02/2016	77,7	64,6	83,20	2,05	3600	28,6
8	05/02/2016	78,7	66,6	84,68	2,85	2125	56,1
9	10/02/2016	79,3	64,9	81,79	1,82	3330	41,9
10	11/02/2016	79,7	63,8	80,04	2,35	4020	32
11	12/02/2016	78,1	63,7	81,50	4,45	3280	46,6
12	13/02/2016	76,2	66,5	87,22	1,71	2540	61,6
13	16/02/2016	77,9	64,5	82,79	2,47	3210	42,8
14	17/02/2016	76,4	66,5	86,98	2,43	2097	62,8
15	18/02/2016	78,3	62,7	80,03	2,43	3230	38,8
16	19/02/2016	78	63,1	80,86	1,51	3470	35,5
17	22/02/2016	79	68,0	86,05	2,37	2670	50
18	23/02/2016	78,9	65,4	82,83	2,22	2930	40,4
19	25/02/2016	77,9	65,2	83,70	1,89	2430	34,7
20	26/02/2016	78,5	64,1	81,72	2,32	2800	33,9

Tabla 13.2. Miel B (CENTRIFUGACIÓN)

Muestra	Fecha	Brix(%)	Pol(%)	Pureza(%)	Condut H2O(us/cm)	Condut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	82,7	47,4	57,32	3,78	6620	16,7
2	22/01/2016	84,3	45,4	53,83	1,53	7590	15,2
3	25/01/2016	84,6	46,4	54,88	1,61	7420	15,2
4	27/01/2016	75,7	38,7	51,18	2,14	7370	11,06
5	29/01/2016	79,7	42,1	52,82	3,79	7030	11,3
6	02/02/2016	87,4	46,5	53,21	4,1	9160	14,6
7	04/02/2016	83,3	44,7	53,68	2,05	6850	25,2
8	05/02/2016	84,6	46,0	54,41	4,33	6530	15,4
9	10/02/2016	82,4	47,5	57,62	1,97	7150	17,6
10	11/02/2016	84,4	44,9	53,25	2,35	8230	15,7
11	12/02/2016	81,5	47,1	57,82	1,53	7430	16,9
12	13/02/2016	81,8	49,0	59,88	1,71	7280	23,5
13	16/02/2016	84,6	47,8	56,52	2,47	8000	13,4
14	17/02/2016	83,4	46,6	55,82	2,43	7750	13,7
15	18/02/2016	80,8	44,7	55,30	2,43	7620	15,5
16	19/02/2016	84,2	46,0	54,58	1,51	8390	14,6

17	22/02/2016	84	45,8	54,54	2,37	8160	13,6
18	23/02/2016	86,5	50,4	58,21	2,22	7700	15,3
19	25/02/2016	84	47,7	56,73	1,61	6820	15,3
20	26/02/2016	82,1	46,6	56,76	2,32	6830	11,8

Tabla 14.2. Miel C (CENTRIFUGACIÓN)

Muestra	Fecha	Brix(%)	Pol(%)	Pureza(%)	Condut H2O(us/cm)	Condut Sol(us/cm)	ml gastados
1	21/01/2016	82,6	34,6	41,86	3,7	9600	12,8
2	22/01/2016	84,2	35,1	41,72	3,54	8720	11,6
3	25/01/2016	83,3	37,4	44,92	1,61	8620	13,4
4	27/01/2016	83,8	33,4	39,82	2,14	9550	9,1
5	29/01/2016	86,4	35,9	41,50	3,1	8930	10,9
6	02/02/2016	81	35,5	43,83	4,1	9140	9,2
7	04/02/2016	87,4	35,4	40,46	2,16	9620	11,8
8	05/02/2016	89,3	36,3	40,62	1,92	9090	12,3
9	10/02/2016	86,4	36,0	41,62	1,82	9250	10,1
10	11/02/2016	85,1	36,9	43,37	2,71	8880	11,9
11	12/02/2016	87,1	37,9	43,47	1,53	9720	11,4
12	13/02/2016	86,1	35,6	41,39	1,71	9250	9,8
13	16/02/2016	85,1	37,6	44,23	2,47	9980	12,1
14	17/02/2016	85,3	36,7	43,00	3,17	8930	10,2
15	18/02/2016	86,6	37,4	43,24	2,43	9930	11,6
16	19/02/2016	87,4	36,0	41,24	2,25	9920	11,2
17	22/02/2016	88,2	38,3	43,40	2,37	9680	10,4
18	23/02/2016	89,6	38,0	42,44	2,22	9990	9,9
19	25/02/2016	85,9	37,7	43,89	1,61	9870	10,4
20	26/02/2016	85,1	35,6	41,89	2,32	9910	10

Tabla 15.2. Azúcar (EMPACADO)

Muestra	Pol	Cdt H2O(us)	Cdt Sol (us)	ml gastados	
				azúcar	blanco
1	99,53	4,58	100,7	46,7	48
2	99,5	3,41	104,89	39,1	46,2
3		1,73	154,6	45,3	47,8
4		1,74	144	40,5	46,7
5		4,56	102,1	39,4	45,3

APENDICE III

Tabla 1.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Prezafra

Muestra	Fecha	% Ceniza	%AR(BRIX)	AR/C
1	13/01/2016	2,21	0,908	0,411
2	13/01/2016	1,55	0,792	0,511
3	13/01/2016	2,38	0,864	0,362
4	13/01/2016	2,90	0,830	0,286
5	13/01/2016	2,12	0,944	0,445
6	13/01/2016	2,20	0,919	0,418
7	13/01/2016	1,85	0,948	0,513
8	13/01/2016	1,39	0,812	0,584
9	13/01/2016	1,67	0,903	0,539
10	13/01/2016	1,82	0,892	0,489
11	13/01/2016	1,72	0,850	0,493
12	13/01/2016	1,95	0,901	0,462
13	13/01/2016	2,34	0,765	0,327
14	13/01/2016	2,40	0,804	0,335
15	14/01/2016	3,31	0,860	0,260
16	14/01/2016	4,32	0,932	0,216
17	14/01/2016	3,44	1,088	0,316
18	14/01/2016	4,51	1,354	0,300
19	14/01/2016	4,64	1,568	0,338
20	14/01/2016	4,48	1,674	0,374
21	14/01/2016	4,49	1,734	0,386
22	14/01/2016	5,72	2,456	0,429
23	14/01/2016	4,59	1,672	0,365
24	14/01/2016	3,35	0,788	0,235
25	14/01/2016	4,14	1,264	0,306
26	14/01/2016	4,88	1,688	0,346
27	14/01/2016	4,17	1,581	0,379
28	14/01/2016	5,11	1,869	0,366
29	14/01/2016	3,64	1,255	0,344
30	14/01/2016	3,44	1,426	0,414
31	14/01/2016	3,15	1,436	0,456
32	14/01/2016	3,94	0,982	0,250
33	14/01/2016	3,52	0,973	0,276
34	14/01/2016	2,93	0,820	0,280
35	14/01/2016	3,98	1,327	0,334
36	14/01/2016	5,81	2,146	0,369
37	14/01/2016	3,55	0,901	0,254
38	14/01/2016	3,36	0,773	0,230
39	14/01/2016	3,45	0,787	0,228
40	19/01/2016	2,87	0,920	0,320

41	19/01/2016	3,50	0,866	0,247
42	19/01/2016	3,22	0,772	0,240
43	19/01/2016	2,65	0,639	0,241
44	19/01/2016	3,24	0,716	0,221
45	19/01/2016	3,17	0,806	0,254
46	19/01/2016	2,77	0,757	0,273
47	19/01/2016	2,96	0,710	0,240
48	19/01/2016	2,81	0,660	0,235
49	19/01/2016	4,82	1,380	0,286
50	19/01/2016	4,95	1,716	0,347

Tabla 2.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Zafra

Muestra	Fecha	%Ceniza	%AR(BRIX)	AR/C
1	13/01/2016	3,661	1,335	0,365
2	13/01/2016	3,537	1,318	0,373
3	13/01/2016	3,214	0,864	0,269
4	13/01/2016	3,365	0,836	0,248
5	13/01/2016	3,922	1,287	0,328
6	13/01/2016	5,072	2,226	0,439
7	13/01/2016	3,247	0,980	0,302
8	13/01/2016	4,190	1,486	0,355
9	14/01/2016	5,648	1,493	0,264
10	14/01/2016	4,244	1,077	0,254
11	14/01/2016	2,019	1,292	0,640
12	14/01/2016	3,659	1,118	0,306
13	14/01/2016	3,826	1,125	0,294
14	14/01/2016	4,100	0,946	0,231
15	14/01/2016	3,795	0,737	0,194
16	14/01/2016	5,108	1,272	0,249
17	14/01/2016	5,036	1,357	0,269
18	14/01/2016	4,477	1,528	0,341
19	14/01/2016	5,452	1,065	0,195
20	15/01/2016	4,336	1,418	0,327
21	15/01/2016	4,263	0,730	0,171
22	15/01/2016	3,483	1,212	0,348
23	15/01/2016	3,975	0,774	0,195
24	15/01/2016	4,101	0,847	0,207
25	15/01/2016	4,910	1,506	0,307
26	15/01/2016	4,261	0,894	0,210
27	15/01/2016	5,305	1,083	0,204
28	15/01/2016	3,632	1,280	0,352
29	15/01/2016	4,656	1,436	0,309
30	18/01/2016	1,663	0,952	0,573

31	18/01/2016	3,854	2,022	0,525
32	18/01/2016	3,451	2,297	0,666
33	18/01/2016	4,009	3,288	0,820
34	18/01/2016	2,387	1,052	0,441
35	18/01/2016	3,448	0,742	0,215
36	18/01/2016	2,798	0,907	0,324
37	18/01/2016	2,244	0,866	0,386
38	19/01/2016	3,073	1,251	0,407
39	19/01/2016	3,390	0,914	0,270
40	19/01/2016	2,155	1,617	0,750
41	19/01/2016	2,725	1,897	0,696
42	19/01/2016	1,602	0,731	0,456
43	19/01/2016	4,893	1,447	0,296
44	19/01/2016	3,102	0,999	0,322
45	19/01/2016	2,543	1,682	0,662
46	19/01/2016	4,100	0,837	0,204
47	20/01/2016	3,402	1,459	0,429
48	20/01/2016	2,261	1,378	0,609
49	20/01/2016	2,131	0,823	0,386
50	20/01/2016	2,021	0,888	0,440

Tabla 3.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jugo Primario

Muestra	Fecha	%Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	2,810	2,239	0,797
2	22/01/2016	4,106	2,390	0,582
3	25/01/2016	3,455	2,630	0,761
4	27/01/2016	4,287	2,338	0,545
5	29/01/2016	3,472	2,806	0,808
6	02/02/2016	5,043	2,417	0,479
7	04/02/2016	3,684	3,780	1,026
8	05/02/2016	4,124	1,620	0,393
9	10/02/2016	4,231	1,773	0,419
10	11/02/2016	4,791	1,538	0,321
11	12/02/2016	4,448	1,615	0,363
12	13/02/2016	5,133	1,353	0,264
13	16/02/2016	5,278	2,401	0,455
14	17/02/2016	3,608	1,458	0,404
15	18/02/2016	4,502	1,209	0,269
16	19/02/2016	4,106	1,235	0,301
17	22/02/2016	5,079	2,482	0,489
18	23/02/2016	3,758	3,265	0,869
19	25/02/2016	2,797	2,105	0,752
20	26/02/2016	4,504	3,140	0,697

Tabla 4.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jugo Mixto

Muestra	Fecha	%Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	2,812	2,285	0,813
2	22/01/2016	4,286	2,159	0,504
3	25/01/2016	3,592	2,893	0,805
4	27/01/2016	4,341	2,508	0,578
5	29/01/2016	3,585	2,992	0,835
6	02/02/2016	6,015	2,485	0,413
7	04/02/2016	3,777	4,162	1,102
8	05/02/2016	4,214	1,616	0,383
9	10/02/2016	4,447	2,063	0,464
10	11/02/2016	4,863	1,848	0,380
11	12/02/2016	4,610	1,841	0,399
12	13/02/2016	3,963	1,463	0,369
13	16/02/2016	5,206	2,693	0,517
14	17/02/2016	3,653	1,464	0,401
15	18/02/2016	4,700	1,451	0,309
16	19/02/2016	4,070	1,402	0,344
17	22/02/2016	5,151	2,854	0,554
18	23/02/2016	3,510	3,079	0,877
19	25/02/2016	2,882	2,387	0,828
20	26/02/2016	4,630	3,296	0,712

Tabla 5.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jugo Último

Muestra	Fecha	%Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	3,1	3,972	1,300
2	22/01/2016	3,2	3,467	1,096
3	25/01/2016	3,7	3,750	1,026
4	27/01/2016	4,6	5,049	1,100
5	29/01/2016	3,9	3,386	0,859
6	02/02/2016	5,2	2,832	0,548
7	04/02/2016	3,8	4,022	1,053
8	05/02/2016	4,8	2,595	0,536
9	10/02/2016	4,2	2,478	0,588
10	11/02/2016	2,6	4,317	1,688
11	12/02/2016	4,7	2,701	0,573
12	13/02/2016	4,9	2,143	0,441
13	16/02/2016	5,5	3,383	0,612
14	17/02/2016	3,5	3,379	0,959
15	18/02/2016	3,8	2,310	0,611
16	19/02/2016	4,2	2,212	0,530

17	22/02/2016	6,2	3,825	0,616
18	23/02/2016	5,0	5,013	1,005
19	25/02/2016	3,5	3,595	1,017
20	26/02/2016	4,6	3,730	0,819

Tabla 6.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jugo Sulfitado

Muestra	Fecha	%Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	2,960	3,225	1,090
2	22/01/2016	4,280	2,867	0,670
3	25/01/2016	3,951	3,413	0,864
4	27/01/2016	4,658	5,276	1,133
5	29/01/2016	3,972	3,129	0,788
6	02/02/2016	5,557	2,927	0,527
7	04/02/2016	4,027	5,525	1,372
8	05/02/2016	4,209	2,645	0,628
9	10/02/2016	4,696	2,617	0,557
10	11/02/2016	4,946	3,742	0,757
11	12/02/2016	5,055	2,478	0,490
12	13/02/2016	4,388	2,636	0,601
13	16/02/2016	5,485	3,117	0,568
14	17/02/2016	4,206	2,203	0,524
15	18/02/2016	4,515	2,031	0,450
16	19/02/2016	4,479	1,910	0,427
17	22/02/2016	5,341	4,577	0,857
18	23/02/2016	5,163	4,061	0,786
19	25/02/2016	3,176	3,108	0,979
20	26/02/2016	4,117	3,920	0,952

Tabla 7.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jugo Encalado

Muestra	Fecha	%Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	3,769	3,243	0,860
2	22/01/2016	5,019	2,258	0,450
3	25/01/2016	4,401	2,562	0,582
4	27/01/2016	5,576	4,907	0,880
5	29/01/2016	4,116	2,899	0,704
6	02/02/2016	5,575	2,844	0,510
7	04/02/2016	4,243	3,609	0,851
8	05/02/2016	4,173	3,243	0,777
9	10/02/2016	5,002	2,060	0,412
10	11/02/2016	5,360	2,868	0,535
11	12/02/2016	5,289	2,110	0,399
12	13/02/2016	4,046	2,022	0,500

13	16/02/2016	5,539	3,158	0,570
14	17/02/2016	4,602	2,367	0,514
15	18/02/2016	4,137	1,932	0,467
16	19/02/2016	4,911	1,822	0,371
17	22/02/2016	5,359	3,172	0,592
18	23/02/2016	5,451	3,457	0,634
19	25/02/2016	3,450	2,948	0,855
20	26/02/2016	4,279	3,964	0,926

Tabla 8.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jugo Claro

Muestra	Fecha	% Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	3,711	3,548	0,956
2	22/01/2016	4,693	2,071	0,441
3	25/01/2016	4,385	2,460	0,561
4	27/01/2016	5,342	5,811	1,088
5	29/01/2016	3,954	2,845	0,720
6	02/02/2016	4,873	2,095	0,430
7	04/02/2016	4,189	2,799	0,668
8	05/02/2016	4,101	3,646	0,889
9	10/02/2016	5,110	1,796	0,352
10	11/02/2016	5,666	4,007	0,707
11	12/02/2016	4,803	2,533	0,527
12	13/02/2016	4,838	2,260	0,467
13	16/02/2016	5,233	2,177	0,416
14	17/02/2016	4,206	2,161	0,514
15	18/02/2016	4,299	2,326	0,541
16	19/02/2016	4,911	2,418	0,492
17	22/02/2016	5,125	2,375	0,463
18	23/02/2016	5,253	3,277	0,624
19	25/02/2016	3,461	3,197	0,924
20	26/02/2016	4,495	3,647	0,811

Tabla 9.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jugo Filtrado

Muestra	Fecha	% Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	3,826	2,540	0,664
2	22/01/2016	3,769	2,845	0,755
3	25/01/2016	4,869	2,720	0,559
4	27/01/2016	6,135	8,663	1,412
5	29/01/2016	5,016	3,575	0,713
6	02/02/2016	5,197	3,546	0,682
7	04/02/2016	4,819	2,909	0,604
8	05/02/2016	4,893	2,780	0,568

9	10/02/2016	5,272	2,948	0,559
10	11/02/2016	5,684	2,879	0,506
11	12/02/2016	5,253	2,418	0,460
12	13/02/2016	5,144	3,018	0,587
13	16/02/2016	5,611	2,659	0,474
14	17/02/2016	4,188	2,192	0,523
15	18/02/2016	4,839	3,004	0,621
16	19/02/2016	5,055	2,368	0,469
17	22/02/2016	5,629	2,732	0,485
18	23/02/2016	5,127	3,047	0,594
19	25/02/2016	3,808	3,332	0,875
20	26/02/2016	4,927	3,993	0,811

Tabla 10.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Jarabe

Muestra	Fecha	% Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	4,098	1,938	0,473
2	22/01/2016	3,552	1,549	0,436
3	25/01/2016	4,313	2,976	0,690
4	27/01/2016	4,262	2,885	0,677
5	29/01/2016	3,869	2,227	0,576
6	02/02/2016	4,872	2,335	0,479
7	04/02/2016	4,065	2,641	0,650
8	05/02/2016	4,101	1,935	0,472
9	10/02/2016	5,146	1,544	0,300
10	11/02/2016	5,396	2,489	0,461
11	12/02/2016	5,128	2,473	0,482
12	13/02/2016	4,767	2,086	0,438
13	16/02/2016	5,342	2,455	0,460
14	17/02/2016	4,044	2,069	0,512
15	18/02/2016	4,550	2,582	0,567
16	19/02/2016	4,263	2,040	0,479
17	22/02/2016	5,665	2,500	0,441
18	23/02/2016	4,731	2,491	0,527
19	25/02/2016	3,586	2,904	0,810
20	26/02/2016	4,478	4,047	0,904

Tabla 11.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Miel A

Muestra	Fecha	% Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	5,322	2,124	0,399
2	22/01/2016	7,448	3,826	0,514
3	25/01/2016	6,547	3,841	0,587
4	27/01/2016	7,593	5,934	0,782

5	29/01/2016	7,627	5,064	0,664
6	02/02/2016	8,454	3,683	0,436
7	04/02/2016	6,495	4,198	0,646
8	05/02/2016	6,513	3,579	0,550
9	10/02/2016	9,177	4,377	0,477
10	11/02/2016	9,194	4,991	0,543
11	12/02/2016	8,961	3,066	0,342
12	13/02/2016	4,767	4,353	0,913
13	16/02/2016	8,708	4,565	0,524
14	17/02/2016	7,988	4,057	0,508
15	18/02/2016	8,420	4,581	0,544
16	19/02/2016	7,882	3,912	0,496
17	22/02/2016	9,752	4,765	0,489
18	23/02/2016	9,284	4,590	0,494
19	25/02/2016	6,549	5,010	0,765
20	26/02/2016	7,520	5,395	0,717

Tabla 12.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Miel RICA

Muestra	Fecha	% Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	5,448	2,452	0,450
2	22/01/2016	4,694	2,178	0,464
3	25/01/2016	5,521	4,219	0,764
4	27/01/2016	5,649	4,551	0,806
5	29/01/2016	4,206	2,346	0,558
6	02/02/2016	7,680	3,245	0,423
7	04/02/2016	6,477	4,133	0,638
8	05/02/2016	3,820	2,006	0,525
9	10/02/2016	5,991	2,714	0,453
10	11/02/2016	7,232	3,586	0,496
11	12/02/2016	5,897	2,466	0,418
12	13/02/2016	4,569	1,876	0,411
13	16/02/2016	5,774	2,703	0,468
14	17/02/2016	3,771	1,833	0,486
15	18/02/2016	5,810	2,985	0,514
16	19/02/2016	6,244	3,289	0,527
17	22/02/2016	4,802	2,255	0,470
18	23/02/2016	5,270	2,834	0,538
19	25/02/2016	4,371	3,367	0,770
20	26/02/2016	5,036	3,426	0,680

Tabla 13.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Miel B

Muestra	Fecha	% Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	11,910	6,825	0,573
2	22/01/2016	13,660	7,376	0,540
3	25/01/2016	13,353	7,347	0,550
4	27/01/2016	13,263	11,372	0,857
5	29/01/2016	12,648	10,557	0,835
6	02/02/2016	16,481	7,409	0,450
7	04/02/2016	12,327	4,451	0,361
8	05/02/2016	11,747	7,251	0,617
9	10/02/2016	12,867	6,492	0,505
10	11/02/2016	14,810	7,130	0,481
11	12/02/2016	13,372	6,842	0,512
12	13/02/2016	13,101	4,858	0,371
13	16/02/2016	14,396	8,349	0,580
14	17/02/2016	13,946	8,284	0,594
15	18/02/2016	13,712	7,546	0,550
16	19/02/2016	15,100	7,692	0,509
17	22/02/2016	14,684	8,289	0,564
18	23/02/2016	13,856	7,126	0,514
19	25/02/2016	12,273	7,346	0,599
20	26/02/2016	12,290	9,794	0,797

Tabla 14.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C Miel C

Muestra	Fecha	% Cenizas	%AR(BRIX)	AR/C
1	21/01/2016	17,274	9,001	0,521
2	22/01/2016	15,690	9,754	0,622
3	25/01/2016	15,513	8,512	0,549
4	27/01/2016	17,187	12,530	0,729
5	29/01/2016	16,069	10,120	0,630
6	02/02/2016	16,445	12,814	0,779
7	04/02/2016	17,313	9,235	0,533
8	05/02/2016	16,359	8,664	0,530
9	10/02/2016	16,647	10,931	0,657
10	11/02/2016	15,980	9,399	0,588
11	12/02/2016	17,494	9,588	0,548
12	13/02/2016	16,647	11,309	0,679
13	16/02/2016	17,960	9,239	0,514
14	17/02/2016	16,069	10,960	0,682
15	18/02/2016	17,870	9,476	0,530
16	19/02/2016	17,852	9,733	0,545
17	22/02/2016	17,420	10,388	0,596
18	23/02/2016	17,978	10,749	0,598

19	25/02/2016	17,763	10,668	0,601
20	26/02/2016	17,834	11,211	0,629

Tabla 15.3. Valores de Cenizas, AR y AR/C AZÚCAR

Muestra	%Cenizas	AR (%)	AR/C
1	0,051	0,054	1,1
2	0,062	0,064	1,0
3	0,092	0,056	0,6
4	0,086	0,061	0,7
5	0,051	0,063	1,2

APENDICE IV

ANALISIS REALIZADO A UNA MUESTRA DE MELAZA

PARAMETROS	UNIDADES	RESULTADO DE ENSAYO	METODO DE ENSAYO
CENIZA	%	12.9	PEE-LASA-FQ-10c
GRASA	%	0.1	PEE-LASA-FQ-10b
PROTEÍNA	%	3.3	PEE-LASA-FQ-11
FIBRA	%	<0.01	PEE-LASA-BR-01
AZÚCARES REDUCTORES	%	13.0	HPLC
AZÚCARES TOTALES	%	49.8	HPLC
SACAROSA	%	36.8	HPLC
FRUCTOSA	%	6.2	HPLC
GLUCOSA	%	6.8	HPLC
HIDRATOS DE CARBONO	%	70.8	CÁLCULO
ENERGÍA	Kcal/100g	297.3	CÁLCULO
CALCIO	mg/kg	9027.8	ABSORCIÓN ATÓMICA
SODIO	mg/100g	47.32	ABSORCIÓN ATÓMICA
FÓSFORO	mg/kg	333.00	ABSORCIÓN ATÓMICA

% DE CALCIO EN LA CENIZA= CALCIO/CENIZA*100

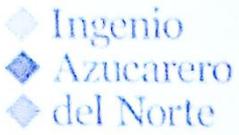
% DE CALCIO EN LA CENIZA= 9027.8/12900*100= 69.98 %

% DE SODIO EN LA CENIZA= SODIO/CENIZA*100

% DE SODIO EN LA CENIZA= 473.2/12900*100= 3.67%

% DE FOSFORO EN LA CENIZA= 333.00/12900*100= 2.58%

APENDICE V

	INFORME DE LABORATORIO APROBACIÓN DE INSUMOS	CODIGO: RCCA-10
		FECHA: 21-06-2007
		VERSION: 01

FECHA DE ANÁLISIS: 23 de junio de 2016

MUESTRA 1: HIDRÓXIDO DE CALCIO GRADO REACTIVO

CONTENIDO DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

H ₂ SO ₄ 0,357 N gastados	36,00 ml
Ca(OH) ₂	90,00 %

MUESTRA 1: HIDRÓXIDO DE CALCIO INCOREG

CONTENIDO DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

H ₂ SO ₄ 0,357 N gastados	29,80 ml
Ca(OH) ₂	68,54 %

MUESTRA 1: HIDRÓXIDO DE CALCIO OBTENIDO POR MÉTODO DE SEDIMENTACIÓN

CONTENIDO DE HIDRÓXIDO DE CALCIO

H ₂ SO ₄ 0,357 N gastados	32,10 ml
Ca(OH) ₂	73,83 %



JEFE LABORATORIO

ANEXO I

AZÚCARES REDUCTORES POR EL MÉTODO RÁPIDO DE LANE Y EYNON

cm ³	USADOS	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
		* SUBSTANCIAS REDUCTORAS									
2		2.37	2.24	2.12	2.03	1.95	1.87	1.80	1.73	1.67	1.61
3		1.56	1.52	1.47	1.43	1.39	1.35	1.31	1.27	1.24	1.21
4		1.17	1.14	1.11	1.08	1.05	1.03	1.01	0.99	0.97	0.95
5		0.93	0.91	0.90	0.88	0.86	0.85	0.84	0.82	0.80	0.79
6		0.78	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68
7		0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60
8		0.59	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53
9		0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47
10		0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43
11		0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.39
12		0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.36
13		0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34
14		0.33	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31
15		0.31	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29
16		0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
17		0.28	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26
18		0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
19		0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
20		0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22

ANEXO II



ANALISIS DE LABORATORIO

Resultados de los análisis de la muestra de Cal T-30 especial entregada por el laboratorio de control de calidad del 12 de mayo del 2016 de la muestra del lote 002034:

MATERIAL	CAL T-30
Análisis químico	Porcentaje
Pérdida al fuego	22,11
SiO ₂	2,41
Al ₂ O ₃	0,83
Fe ₂ O ₃	0,79
CaO	68,91
MgO	2,32
SO ₃	0,94
Na ₂ O	0,76
K ₂ O	0,93
TOTAL	100

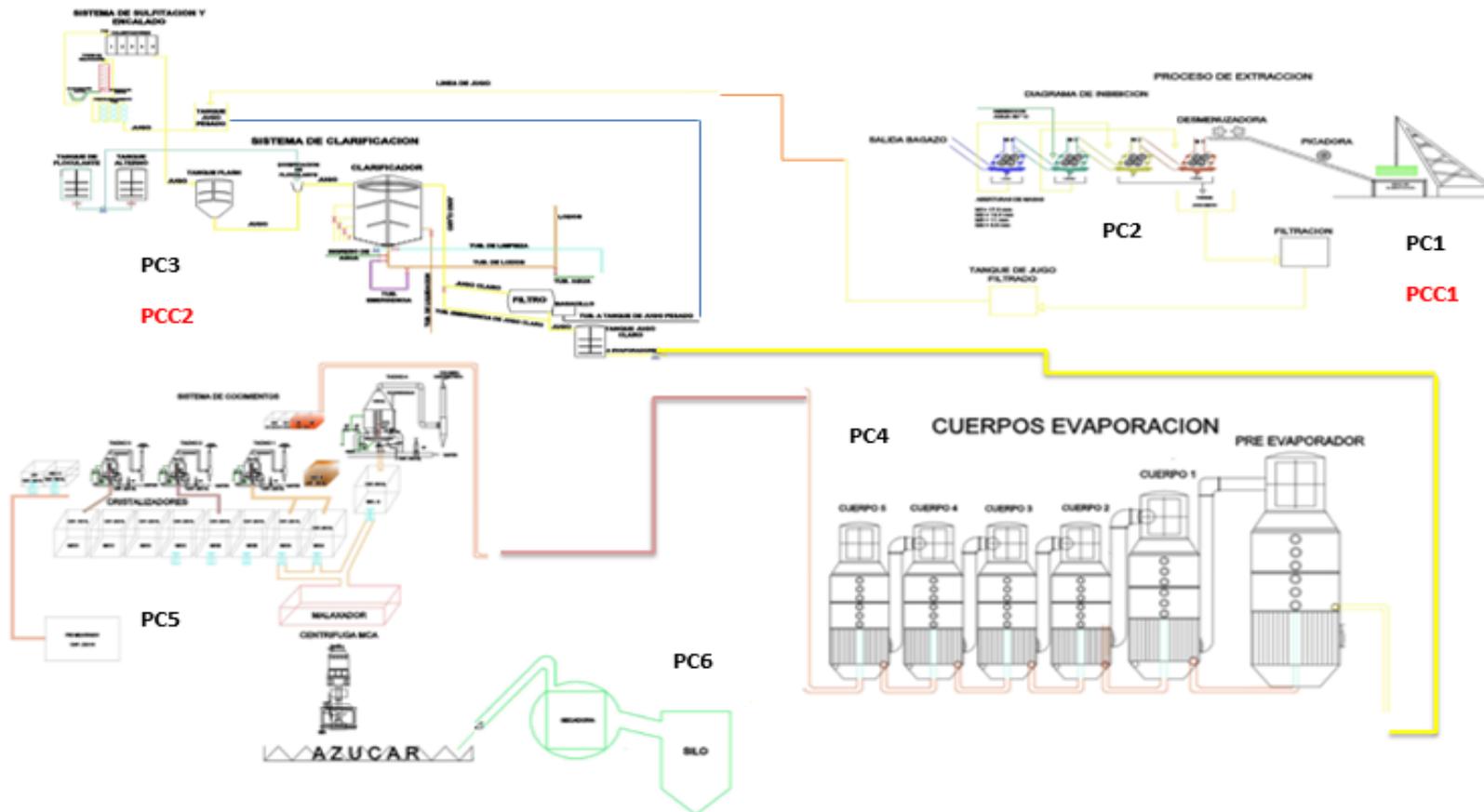
Atentamente,

LABORATORIO

Riobamba: Av. Celso Rodríguez entre Bolívar Bonilla y Av. Circunvalación. Parque Industrial Riobamba
Quito: General Roca N33-47 y Bosmediano
Telfs.: Oficina Riobamba: 03 2953-511 Oficina Quito: 02 2448-827
E-mail: fausto.guevara@gmail.com / fguevara@interactive.net.ec

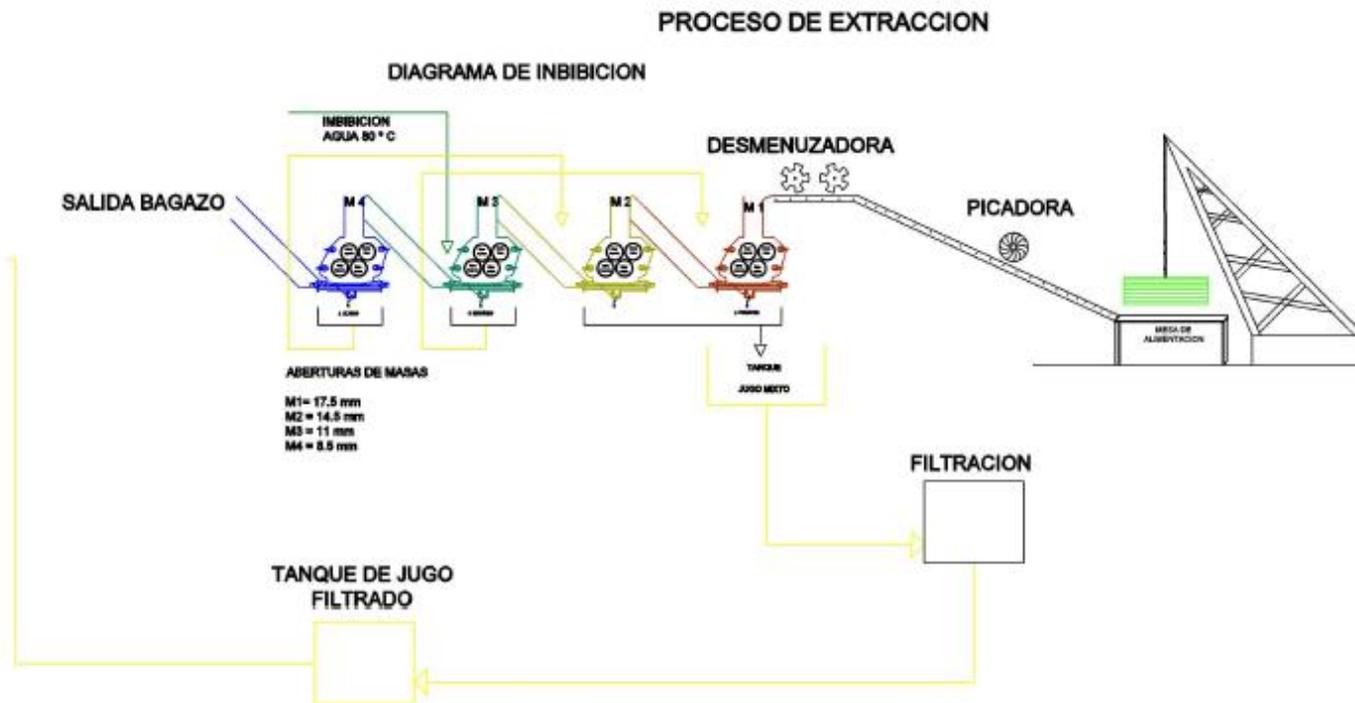
ANEXO III

PROCESO DE ELABORACIÓN DE AZÚCAR



ANEXO IV

OPERACIONES DE RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA Y EXTRACCIÓN



ANEXO V

OPERACIÓN DE CLARIFICACIÓN

