Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ, COMO UN INDICADOR DE EFICIENCIA EN LA CLARIFICACIÓN DE MELADURA Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR DEL AZÚCAR, BLANCO ESTÁNDAR EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO

Vinicio Maltez Roberti
Asesorado por el Ing. Marco Tulio Romero Cortez

Guatemala, marzo de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ, COMO UN INDICADOR DE EFICIENCIA EN LA CLARIFICACIÓN DE MELADURA Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR DEL AZÚCAR, BLANCO ESTÁNDAR EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VINICIO MALTEZ ROBERTI
ASESORADO POR EL ING. MARCO TULIO ROMERO CORTEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Alberto Rivera Palacios
EXAMINADORA	Ing. José Manuel Tay Oroxóm
EXAMINADOR	Inga. Teresa Lisely de León Arana
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ, COMO UN INDICADOR DE EFICIENCIA EN LA CLARIFICACIÓN DE MELADURA Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR DEL AZÚCAR, BLANCO ESTÁNDAR EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 15 de octubre de 2009.



Vinicio Maltez Roberti

Guatemala, Marzo 08 de 2010

Ingeniero
Williams Alvarez
Director
Escuela de Ingeniería Química
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez:

Por medio de la presente le informo que he revisado el informe final de trabajo de graduación del estudiante de la carrera de ingeniería química Vinicio Maltez Roberti, titulado "ANALISIS DE REMOCION DE TURBIDEZ COMO UN INDICADOR DE EFICIENCIA EN LA CLARIFICACION DE MELADURA Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR DEL AZUCAR BLANCO ESTANDAR EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO".

Luego de la revisión de su contenido, lo encuentro satisfactorio y lo remito a su consideración para proseguir con los tramites correspondientes.

Atentamente,

Marco Tulio Romero Cortez
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No. 850

Ing. Marco Tulio Romero Cortez
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 24 de enero de 2011
Ref.EIQ.TG.018.2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el **Acta TG-1362010-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario, **VINICIO MALTEZ ROBERTI** identificado con carné No. **1992-18230**, titulado: **ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ, COMO UN INDICADOR DE EFICIENCIA EN LA CLARIFICACIÓN DE MELADURA Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR DEL AZÚCAR, BLANCO ESTÁNDAR EN UN INGENIERO AZUCARERO GUATEMALTECO**, el cual ha sido asesorado por el **Ingeniero Químico Marco Tulio Romero Cortez.**

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **MALTEZ ROBERTI** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012

Agencia Centroamericana de Acreditación de Arquitectura y de Ingeniería

Ref.EIQ.TG.084.2011

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **VINICIO MALTEZ ROBERTI** titulado: **"ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ, COMO UN INDICADOR DE EFICIENCIA EN LA CLARIFICACIÓN DE MELADURA Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR DEL AZÚCAR, BLANCO ESTÁNDAR EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía; C.Dr.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERIA QUIMICA
U. S. A. C.

Guatemala, marzo de 2011

Cc: Archivo
WGAM/ale

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012

ACAAI
Agencia Centroamericana de Acreditación de Arquitectura y de Ingeniería

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 088.2011.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ, COMO UN INDICADOR DE EFICIENCIA EN LA CLARIFICACIÓN DE MELADURA Y SU INFLUENCIA EN EL COLOR DEL AZÚCAR, BLANCO ESTÁNDAR EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO,** presentado por el estudiante universitario **Vinicio Maltez Roberti,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 29 de marzo de 2011.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS	Por darme toda esa fuerza muy necesaria cuando más lo necesite.
MI MADRE	Gracias Zoila Ruth Roberti Quiroa, por haberme dado la vida y sobre todo por el apoyo incondicional, moral y espiritual.
MI PADRE	Sosimo Efraín Maltez Espinoza, por enseñarme los caminos de la vida hasta el final.
MIS HIJOS	Rossy Fernanda y Vinicio Alejandro.
MI ESPOSA	Nancy Gabriela Flores López por su apoyo.
MI CUÑADA	Flor Flores por ser la seguidora del estudio y amiga siempre y a su esposo por siempre Mario Marín.
MI ASESOR Y JEFE	Ing. Marco Romero por ser la guía y el apoyo.
ING. ERICK CRUZ	Por ser el principal pujante a que obtuviera el título, y sobre todo por sus enseñanzas transmitidas.
ING. GUSTAVO DE LEÓN	Por ser una guía y amigo, pero sobre todo el ser un ejemplo a seguir en la vida.

ING. ADLAY MENESES	Por ser un amigo y catedrático con disciplina.
ING. ESTUARDO MONROY	A mi catedrático y amigo.
MIS AMIGOS DE LA USAC	Genaro de Paz, Vinicio Catalán, Fracisco Barillas, Rolando, Carlos Peña, Jorge Mario Mencos, Pedro, Vinicio Cabrera, Pablo Grijalva, Fausto Escobar, Gabriel, Marvin y José Pineda, por enseñarme a estudiar y vivir momentos inmemorables.
MIS MEJORES AMIGOS-HERMANOS	Walter Manrique Cifuentes Ceron y Edvin Estuardo Vásquez Morales, por estar siempre allí, en el momento que los necesité.
LIC. OSCAR MONZÓN	Por ser un amigo, colaborador y sobre todo un experto en manejo de datos agrupados.
LIC. MIGUEL E. MORALES	Por su ayuda incondicional para la elaboración de este trabajo.
CARLOS EDMUNDO PAREDES FIGUEROA	Por ser mi amigo y guía.
COMPAÑÍA AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA	Por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES **V**

LISTA DE SÍMBOLOS **IX**

GLOSARIO **XI**

RESUMEN **XVII**

OBJETIVOS **XIX**

HIPÓTESIS **XXI**

INTRODUCCIÓN **XXIII**

1. ANTECEDENTES 1
2. MARCO TEÓRICO 3
   - 2.1. Descripción del proceso de fabricación de azúcar 3
     - 2.1.1. Patio de caña 3
     - 2.1.2. Picadoras de caña 4
     - 2.1.3. Molinos 4
     - 2.1.4. Sulfitación 5
     - 2.1.5. Alcalización 5
     - 2.1.6. Calentamiento de jugo 6
     - 2.1.7. Decantación 6
     - 2.1.8. Filtración 6
     - 2.1.9. Evaporación 7
     - 2.1.10. Clarificación de meladura 7
     - 2.1.11. Cristalización 7
     - 2.1.12. Centrifugación 9
     - 2.1.13. Secado y enfriado 10
   - 2.2. Azúcar 11

2.3. Turbidez 11
2.4. Clarificación de meladura actual 13
2.5. Importancia de la clarificación de meladura en el proceso 14
2.6. Eficientar el proceso de clarificación de meladura 21
2.7. Modificación propuesta 22

3. DISEÑO METODOLÓGICO 23
3.1. Variables 23
3.2. Delimitación del campo de estudio 23
3.3. Recursos humanos disponibles 23
3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería y materiales) 24
3.4.1. Equipo 24
3.4.2. Cristalería 24
3.4.3. Reactivos 24
3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa 25
3.5.1. Análisis de brix refractométrico 25
3.5.2. Análisis de color Icumsa 4 25
3.5.3. Análisis de turbidez de meladura 27
3.6. Recolección y ordenamiento de la información 28
3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información 30
3.7.1. Porcentaje de remoción de turbidez de la meladura 30
3.7.2. Datos calculados 31
3.8. Análisis estadístico 36
3.8.1. Agrupación de datos 36
3.8.2. Capacidad de proceso 38

3.8.3. Correlación de remoción de turbidez meladura y color de azúcar estándar zafra 2007–2008 39
3.8.4. Correlación de remoción de turbidez meladura y color de azúcar estándar zafra 2008 – 2009 40
3.8.5. Correlación de color de meladura clarificada y color de azúcar estándar zafra 2007 – 2008 41
3.8.6. Correlación de color de meladura clarificada y color de azúcar estándar zafra 2008 – 2009 42

4. RESULTADOS 45
4.1. Turbidez de meladura no clarificada 45
4.2. Turbidez de meladura clarificada 45
4.3. Porcentaje de remoción de turbidez 46
4.4. Color de azúcar estándar 46
4.5. Producción de miel final 47

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 49

CONCLUSIONES 57
RECOMENDACIONES 59
BIBLIOGRAFÍA 61
APÉNDICE 63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Meladura sin clarificar (izquierda) y clarificada (derecha) 13
2. Producción de azúcar en sus distintas presentaciones 15
3. Colores de azúcar estándar por día 17
4. Color de azúcar estándar por semana 17
5. Días de producción de azúcar 18
6. Color promedio 19
7. Desviaciones estándar del color estándar 19
8. Color de meladura por día de la zafra 2007 – 2008 20
9. Porcentaje de remoción de turbidez (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2007 – 2008 39
10. Porcentaje de remoción de turbidez (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2008 – 2009 40
11. Color de meladura clarificada (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2007 – 2008 41
12. Color de meladura clarificada (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2008 – 2009 42
13. Turbidez de la meladura no clarificada, zafras 2007 – 2008 y 2008-2009 45
14. Turbidez de la meladura clarificada, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009 45
15. Porcentaje de remoción de turbidez de meladura, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009 46
16. Color de azúcar estándar, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009 46

17. Galonaje de miel final por tonelada de caña, zafras 2007–2008 y 2008 – 2009 47

TABLAS

I. Producción de azúcar y galones de miel final por tonelada de caña 16
II. Datos estadísticos de media, desviación estándar y número de datos de color de azúcar 18
III. Porcentaje de remoción de turbidez, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009 31
IV. Datos agrupados de porcentaje remoción de turbidez y meladura zafra 2007 – 2008 35
V. Datos agrupados de color de azúcar estándar de zafra 2007 – 2008 35
VI. Datos agrupados de porcentaje democión de turbidez de meladura de zafra 2008 – 2009 35
VII. Datos agrupados de color de azúcar estándar de zafra 2008 – 2009 36
VIII. Promedio de límites aparentes 38
IX. Datos de correlación de datos entre porcentaje remoción de turbidez meladura (x) y color de azúcar estandar (y), para zafra 2007 – 2008 40
X. Datos de correlación de datos entre porcentaje remoción de turbidez meladura (x) y color de azúcar estandar (y), para zafra 2008 – 2009 41

XI. Datos de correlación de datos entre color de meladura clarificada (x) y color de azúcar estandar (y), para zafra 2007 – 2008 42
XII. Datos de correlacion de datos entre color de meladura clarificada (x) y color de azúcar estandar (y), para zafra 2008 – 2009 43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descripción
Gal	Galones
°F	Grados Fahrenheit
Cpk	Índice de capacidad del proceso o ratio de capacidad del proceso
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
µ	Micrómetro
ml	Mililitros
mm	Milímetro
nm	Nanómetros
ppm	Partes por millón
’	Pie
pie³/min	Pies cúbico por minuto
%	Porciento
psig	Presión manométrica
’’	Pulgada
qq	Quintales
rpm	Revoluciones por minuto
N	Solución normal
°	Unidad de medida de ángulo grado
UI	Unidades Icumsa

GLOSARIO

Alcalización Proceso de tratamiento de jugo, que consiste en aplicar cal (ya sea como lechada de cal o Sacarato) al jugo (sulfitado o mezclado) para neutralizar la acidez natural del jugo y formar sales insolubles de cal, principalmente en forma de fosfatos de calcio.

Arguto Polímero en estado sólido, color blanco, utilizado en la industria azucarera en sustitución del hierro negro, por su ventaja principal que es el peso.

Azúcar También llamada sacarosa, azúcar común o azúcar de mesa y cuya fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$. Es un disacárido que se encuentra en el jugo de muchas sustancias, y se extrae principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha.

Bagacillo Partículas muy pequeñas de bagazo, separadas ya sea del jugo clarificado o del bagazo final por filtración.

Bagazo	Residuo que se obtiene al moler caña en uno o más molinos. Se llama respectivamente “bagazo del primer molino”, “bagazo del segundo molino”, etc., y “bagazo del último molino”, “bagazo final” o sencillamente “bagazo”, cuando se alude al material que sale del último molino. En general, el término bagazo se refiere al que sale del último molino, a menos que se especifique otra cosa.
Baumé	Escala densimétrica que permite determinar la gravedad específica de un líquido, y está basada en la medición del porcentaje en peso de una solución de cloruro de sodio (NaCl). Para soluciones de azúcar tiene una relación directa con la medición de brix, es decir, un grado baumé equivale a la mitad de un grado brix más una unida.
Brix	Porcentaje de sólidos disueltos en una solución al 100%.
Cachaza	Es un material, con consistencia de lodo que se forma de los desechos eliminados en la clarificación del jugo alcalizado; y que posteriormente se secan en un filtro de rotación, operando con vacío.

Caña de azúcar	Botánicamente una planta del género *Saccharum oficinarum,* y agriculturalmente el cultivo producido de híbridos que provienen de un número de especies *Saccharum* comúnmente referidos como caña. Específicamente, la determinación y distribución de la sacarosa en la caña, está en el material crudo aceptado en los molinos para su procesamiento.
Clarificador	Los clarificadores, son decantadores continuos, un clarificador es un tanque al que se le hace llegar continuamente jugo para decantar sólidos contenidos en el.
Cpk	Cálculo estadístico que sirve para medir la capacidad que tiene un proceso, para producir un resultado dentro de los límites predefinidos superior e inferior.
Evaporación	Operación unitaria de transferencia de calor, cuyo objetivo es eliminar el mayor porcentaje de agua que contiene el jugo clarificado, sin llevarlo a su punto de saturación, obteniendo un jugo con mayor cantidad de sólidos solubles (brix) y que comúnmente se conoce como meladura.

Flasheo	Es una evaporación instantánea, en la cual el vapor total extraído se acerca al equilibrio con el líquido residual.
Guarapo	Sinónimo de jugo.
Imbibición	El proceso, en el cual se aplica agua (generalmente a alta temperatura) al bagazo en el molino 5 y 6 para mejorar la extracción de sacarosa de éste, mediante lixiviación. El agua que así se usa se llama agua de imbibición.
Meladura	Es el jugo clarificado concentrado, que sale de último efecto del sistema de evaporadores, sin llegar al punto de saturación, que luego es enviado directamente hacia el proceso de evaporación y cristalización en tachos, o bien al proceso de clarificación por fosfo-flotación.
Melaza	Se refiere al subproducto de todo el proceso de la fabricación o refinación del azúcar crudo: el líquido denso y viscoso que se separa de la masa cocida final de baja calidad y del cual no se puede cristalizar más azúcar por los métodos usuales. Se suele decir que es incomestible, porque no se usa para consumo humano, pero la melaza se puede comer sin resultados perjudiciales. Se le llama, también, miel final.

pH (potencial hidrógeno)	El potencial del agua pura es 7,0; e indica que la concentración de iones libres de hidrógeno, es igual a la de los iones oxhidrilo. Como las concentraciones de los mismos en el equilibrio es relativamente bajo, 0,0000001 molar, cuando existen diferencias en la equivalencia, es difícil de apreciar; se creó la escala de pH; que es una simple relación matemática pH = logaritmo (1/ concentración molar de iones hidrógeno) y sirve para medir acidez o alcalinidad de una solución.
Pol	Concentración de azúcar en una solución.
Pureza	Porcentaje de azúcar contenida, en una solución azucarada, está dada por la relación pol/brix.

RESUMEN

La calidad de azúcar, que produce un ingenio, está ligada directamente a la eficiencia del proceso de clarificación de meladura, dicha eficiencia es medida directamente por el porcentaje de remoción de turbidez, entre la meladura clarificada y la no clarificada. La meladura se trabaja a un brix determinado, según las necesidades de ahorro de vapor de cada ingenio azucarero, en este caso se trabaja en un rango de 65 a 68.

En dicha clarificación se hace pasar la meladura por un proceso de flotación de sólidos, con la ayuda de un polímero floculante, acido fosfórico y cal, para poder separarlos de la misma y así mejorar el color y poder bajar la turbidez.

La meladura, es proveniente del último efecto de la evaporación, se calienta y luego se le aplica acido fosfórico, sacarato, aire comprimido y floculante antes de entrar al clarificador de meladura “Talo”, donde ocurre la separación de la espuma con los sólidos (no azúcares), los cuales no fueron eliminados en la clarificación de jugo anterior, y así obtener una meladura ya clarificada. Todo este proceso se realiza en condición controlada de pH y temperatura, ayudando a minimizar las pérdidas por inversión de la sacarosa.

Se sabe que el resultado de una buena clarificación de meladura es la obtención de un color de azúcar estándar por debajo de 250 UI, entonces se deben producir colores bajos para poder almacenarla en las bodegas para su posterior venta, ya que si se produce a un alto color puede degradarse en las bodegas desde su día de producción hasta su venta, y luego si se deteriora se tiene que reclasificar a una azúcar de menor calidad.

En Guatemala, los sistemas de clarificación de meladura se basan en flotación de sólidos, y muy pocos tienen actualizada su tecnología, pero la calidad de la meladura debe mantenerse con muy buenos estándares para poder obtener una azúcar de buena calidad.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar el porcentaje de remoción de turbidez de meladura, como indicador de eficiencia y su influencia en el color de azúcar blanco estándar.

ESPECÍFICOS

1. Evaluar la mejora de la turbidez de meladura y el color del azúcar estándar, después de realizar cambios en el sistema de clarificación de meladura.

2. Determinar la relación entre el color de la meladura clarificada y el color del azúcar estándar.

3. Identificar si hay reducción de la producción de miel final, al mejorar el sistema de clarificación de meladura en base al análisis de turbidez.

HIPÓTESIS

La clarificación de meladura influye directamente en la calidad del azúcar estándar, y en ésta, interviene la turbidez de la meladura. Mientras más baja sea la turbidez de la meladura clarificada, más bajo será el color del azúcar estándar y habrá reducción en la cantidad de recirculación de mieles.

El porcentaje de remoción de turbidez nos da la relación diferencial porcentual entre la meladura no clarificada y la meladura clarificada; y estos valores es conveniente que sean lo más alto posibles, denotando una buena disminución de la turbidez de meladura clarificada.

Se realizaran mejoras en el equipo del área de clarificación de meladura, para lograr una mejor mezcla de los químicos; ácido fosfórico y sacarato, y controlar la cantidad de aire dosificado a la meladura antes de entrar a los clarificadores, esto ayudará, a que haya una mejor separación de los sólidos no deseados, contenidos en la meladura por flotación con la ayuda de floculante.

Dichos cambios traen como resultado obtener una mejor calidad de azúcar blanca con colores bajos, ya que el porcentaje de remoción de turbidez de la meladura clarificada aumentará. Se reducirá la variabilidad en la producción con respecto a la calidad, ya que un proceso mejora si logra obtener producciones constantes. En el proceso de extracción de azúcar en la fábrica se tendrá

menor cantidad de recirculación de mieles debido a la disminución del galonaje de miel final.

INTRODUCCIÓN

Debido a que toda empresa en el mercado de la agroindustria azucarera, tiene un gran número de competidores, es necesario que se apliquen herramientas para la mejora continua en varios aspectos, como lo son sus operaciones, administración, reducción de costos, renovación de las ventajas competitivas y fortalecimiento de la eficiencia de los recursos humanos entre otras.

Hay que recordar que la calidad y satisfacción del cliente son temas importantes, que cada vez requieren de una mayor atención a nivel mundial. En el proceso de clarificación de meladura, es donde realmente se dan las características básicas a la calidad esperada, en envasado del azúcar estándar, por tal razón es necesario tener un sistema controlado y con equipos altamente eficaces.

Cuando se clarifica la meladura se espera obtener una disminución de su turbidez; mientras más baja sea, mejor será la calidad del azúcar al final del proceso, y se obtendrá disminución de las pérdidas en la fábrica.

Una manera de poder medir la eficiencia en la clarificación de meladura, es obteniendo el porcentaje de remoción de turbidez, esto se logra comparando los datos de turbidez de meladura antes y después de clarificar, es por eso que en el siguiente informe se analiza la turbidez en la meladura y su efecto en el color de azúcar estándar, así como la aplicación de una mejora en el área de clarificación de meladura.

Hay que recordar que si se obtiene una mejor calidad de azúcar blanca, entonces se podrá almacenar por mayor tiempo en bodegas antes de ser comercializada.

Con realizar la mejora en la clarificación de meladura, se pretende obtener producciones con resultados más constantes, y así reducir la probabilidad de tener un producto final de mala calidad. Recordemos cuando no dan los parámetros de calidad de azúcar blanca, entonces se procede reclasificar de azúcar blanca hacia azúcar cruda, teniendo como consecuencia, pérdidas monetarias ya que la azúcar cruda tiene menor precio de venta. También ayudará dentro del proceso de recuperación del azúcar en la fábrica, porque se tendrá menor cantidad de recirculación de mieles y se reducirá la inversión de la sacarosa.

1. ANTECEDENTES

El sistema de clarificación de meladura, actualmente consta de un tanque con tres divisiones; en las cuales se mezcla el ácido fosfórico y el sacarato (mezcla de meladura, lechada de cal y jugo claro), luego se agrega aire con presión controlada y el floculante se dosifica en la entrada a los clarificadores, bajo estas condiciones se observa muy poca flotación de los sólidos no deseados, que están contenidos en la meladura dentro de los clarificadores, además no se sabe que cantidad de aire ni de la distribución que se inyecta al sistema.

Todo esto provoca un mayor lavado en la batería de centrifugas *batch* y se tiene una mayor recirculación de mieles en el sistema.

Al final, el ingenio debe producir directamente azúcar blanca con colores en el rango de 200 a 250 UI para almacenar y esperar su comercialización, y dicha azúcar se degrada en las bodegas, si no se logra vender a un corto plazo, alcanzando colores arriba de 380 UI, pudiendo cambiar a categoría de cruda si excede 400 UI. Por lo mencionado con anterioridad, actualmente se obtiene la producción con demasiada variabilidad.

Entonces, al realizar mejoras en el área de clarificación de meladura, se podrá atacar directamente dichos problemas, y obtener un azúcar de buena calidad sin afectar el proceso.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción del proceso de fabricación de azúcar

El proceso de fabricación de azúcar en un ingenio, a partir de caña de azúcar, es un proceso muy largo que se inicia en el patio de caña y termina en el secado y enfriado. A continuación se dan a conocer los procesos mencionados.

2.1.1. Patio de caña

La caña que llega del campo, se pesa en básculas electrónicas y se muestrea con el fin de determinar sus características de calidad, como el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se conduce al patio, donde se almacena a granel o se dispone directamente a las mesas de caña, para luego conducirlas al conductor de caña que alimenta las picadoras. En las mesas se dispone un sistema de lavado con agua o en seco, según el ingenio, con el objetivo de remover las impurezas que trae la caña consigo y evitar su entrada al proceso.

2.1.2. Picadoras de caña

La caña es transportada con un conductor hacia las picadoras, las cuales son unas cuchillas colocadas a un eje, movidas por un motor eléctrico, bajo las cuales se hace pasar un colchón de caña, que se fracciona abriendo las celdas para facilitar la extracción del jugo que contiene. Los conductores están provistos de un sistema de control de velocidad, que alimenta al primer molino y controla que no se formen tacos y controlar la capacidad de molienda programada.

2.1.3. Molinos

La caña preparada por las picadoras llega al tándem de molinos, los cuales están conformados de varios molinos y cada molino de varias masas cilíndricas ranuradas, en medio de las cuales se hace pasar el colchón de caña y mediante presión se extrae el jugo que se recolecta en canoas y tanques.

Cada molino, puede ser accionado por medio de turbinas de vapor y por motores eléctricos.

Con la finalidad de aumentar la extracción de sacarosa, se hace recircular jugo en el material fibroso, a lo cual se le denomina maceración y al último molino se le agrega agua caliente denominada agua de imbibición.

El bagazo sale del último molino y va directamente a las calderas para ser utilizado como combustible, y proporcionar vapor de alta presión y se emplee en las turbinas que dan movimiento a los molinos o a los turbogeneradores que producen energía eléctrica, requerida por el ingenio y el sobrante para venderlo a la red nacional. El vapor de escape de los turbo generadores se utiliza para el cocimiento de jugo y los procesos en la fábrica.

El jugo que sale del primer molino denominado jugo diluido o mixto, se envía hacia la fábrica para extraerle el azúcar después de varios procesos.

2.1.4. Sulfitación

Significa poner en contacto dióxido de azufre con el jugo mixto o diluido, proveniente de los molinos de un pH de 5,3 – 5,6 para oxidación de colorantes, el método común en un ingenio es la quema de azufre para producir Dióxido de Azufre SO_2, que se pone en contacto directo con el jugo en una torre de absorción llegando el pH a un valor de 4,5 – 5,0.

2.1.5. Alcalización

Aquí se utiliza una mezcla de lechada de cal; Hidróxido de Calcio $Ca(OH)_2$ para estabilización de pH, se eliminan algunas impurezas e inhibición de crecimiento microbiano. En algunas ocasiones se le agrega jugo claro a la lechada de cal formando una solución denominada sacarato, dicha mezcla se agrega al jugo obteniendo un pH de 7,0 - 7,6.

2.1.6. Calentamiento de jugo

Se hace con el fin de elevar la velocidad de reacción y crear condiciones para clarificar, logrando alcanzar una temperatura hasta de 218 - 222 °F, con intercambiadores de calor de concha y tubos o de placas.

2.1.7. Decantación

Es la sedimentación de los flóculos, formados en el calentamiento para eliminación; por decantación de impurezas sólidas e insolubles diversas. La decantación se hace de tres maneras: 1) en defecadores, 2) en decantadores discontinuos, y 3) en decantadores continuos o clarificadores. En los defecadores; el calentamiento se obtiene por medio de un doble fondo o de un serpentín calentado, por vapor directo reducido a 3 kg/cm². Los decantadores son simples tanques rectangulares en los cuales se deja reposar el jugo un tiempo necesario a la decantación.

2.1.8. Filtración

Los lodos o cachaza contienen azúcar y para extraerla se someten a un proceso de filtración al vacío, utilizando filtros rotativos, inicialmente a la cachaza se le agrega bagacillo, cal y floculante de alto peso molecular, para aumentar su filtravilidad. En dichos filtros rotativos se le agrega agua caliente para mejorar la extracción de sacarosa y el jugo con sacarosa se retorna al proceso, por lo regular al tanque alcalizado; en esta parte del proceso se obtienen lodos que se separan del jugo con sacarosa, a los cuales ya no puede

extraerse más sacarosa, y son utilizados en el campo como abono en las plantaciones de caña.

2.1.9. Evaporación

El jugo clarificado se recibe en los evaporadores con un contenido de sólidos de aproximadamente 15 brix, se concentra por evaporación de múltiple efecto y se entrega con un brix aproximado de 65, a este jugo concentrado se le denomina meladura.

2.1.10. Clarificación de meladura

La meladura, proveniente de la evaporación, se somete a una segunda clarificación por flotación con acido fosfórico, sacarato, floculante y aire para separarle la espuma que contiene los sólidos insolubles que no son azúcar, que no fueron eliminados en la clarificación de jugo inicial. Luego dicha meladura ya clarificada es enviada a la tanquería de tachos para ser concentrada y lograr la cristalización de la sacarosa.

2.1.11. Cristalización

Este proceso es uno de los más complejos, pero básicamente se puede entender más si se explica de atrás hacia delante. En este caso se explica el

proceso de doble magma a continuación:

Como referencia, se sabe que el azúcar proveniente de una masa primera es el azúcar que va hacia el envasado y venta posterior, el azúcar de una masa de segunda es llamada magma de segunda y el azúcar de una masa de tercera es llamada magma de tercera.

La magma de tercera proviene de la cristalización, y se hace a partir de una mezcla a una pureza deseada entre 75 – 78, dicha mezcla se hace con miel segunda, miel primera y/o meladura, según estén las purezas del material y se haya hecho el cálculo.

Dicha mezcla se concentra en el tacho hasta llegar al punto de cristalización que está entre un brix 80 – 83, en ese momento se agrega semilla para tener la formación del grano deseado, luego se levanta el tacho de tercera con miel segunda, hasta cierta altura deseada y ya se tiene una masa tercera que va a los cristalizadores, donde se termina de agotar la miel migrando azúcar de la miel hacia el cristal y lograr agotar al máximo la miel final, luego se bota a las centrifugas continuas de tercera.

En las centrifugas continuas de tercera, se separa el azúcar o magma de tercera de la miel tercera o miel final, la miel final es vendida y la magma de tercera se recircula al proceso para hacer masas segundas.

Las masas segundas se preparan más fácilmente, se introduce al tacho magma de tercera y se levanta con miel primera, la masa resultante se baja a las centrifugas continuas de segunda.

En las centrifugas de segunda se separa el azúcar o magma segunda de la miel segunda, la miel segunda sirve para las masas terceras, en la cristalización y la magma de segunda para hacer masas primeras.

Las masas primeras, se preparan introduciendo al tacho magma de segunda y se levanta con meladura, la masa resultante se baja a las centrifugas *batch* de primera.

En las centrifugas de primera se separa el azúcar o azúcar comercial de la miel primera, la miel primera sirve para las masas segundas y el azúcar es envasada o a granel para venderla.

2.1.12. Centrifugación

Los cristales se separan del licor madre, mediante fuerza centrifuga en tambores rotativos, que poseen mallas en su interior. Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la miel que rodea los cristales, y por medio de conductores y elevadores se lleva a la secadora.

2.1.13. Secado y enfriado

El azúcar húmeda que sale de las centrifugas *batch*, se transporta por conductores y elevadores para alimentar la secadora, que consiste en un tambor rotatorio inclinado, el cual pone en contacto el azúcar con aire caliente a contracorriente. El aire se calienta con vapor por intercambiadores de calor de superficies extendidas y se introduce a la secadora por medio de ventiladores de tipo tiro inducido. El azúcar seca, sale al extremo contrario donde se le coloca una malla para separar terrones de azúcar que se pudieron haber formado.

Luego de salir el azúcar tamizada, se introduce por conductores y elevadores a una enfriadora que es similar a la secadora, la enfriadora no es más que un tambor rotatorio, en el cual entra azúcar caliente en un extremo y sale por el otro extremo ya fría, el azúcar se pone en contacto con aire frío que normalmente es aire del ambiente y es introducido también por medio de ventilador de tiro inducido.

Enfriadoras más modernas introducen el aire más frío por medio de un sistema de aire acondicionado, esto para lograr temperaturas más bajas del azúcar y así lograr la disminución del aterronamiento del azúcar en bodegas.

2.2. Azúcar

Se denomina azúcar, a la sacarosa; también llamada azúcar común o azúcar de mesa. La sacarosa se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera. Para la producción azucarera guatemalteca, sólo se utiliza la caña que pertenece a la familia de las gramíneas y al género *Saccharum*, en su mayoría se usa la especie domesticada *Saccharum Officinarum*, en Europa y otros países se usa la remolacha, pero es una remolacha de 8 a 12'' de diámetro y color blanco.

En cambio, en ámbitos industriales se usa la palabra azúcar o azúcares para designar los diferentes monosacáridos y disacáridos, que generalmente tienen sabor dulce, aunque por extensión se refiere a todos los hidratos de carbono.

2.3. Turbidez

Se entiende por turbidez, ICUMSA la diferencia de la desviación de un haz de luz, que se hace pasar a través de una solución de azúcar en una celda de 10 mm, antes y después de filtrar, utilizando un filtro de 45 µ. Dicho en otras palabras, cuando más sólidos en suspensión haya en el líquido, más sucio parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad de lo que se desea medir, cuanto más turbia, menor será su calidad.

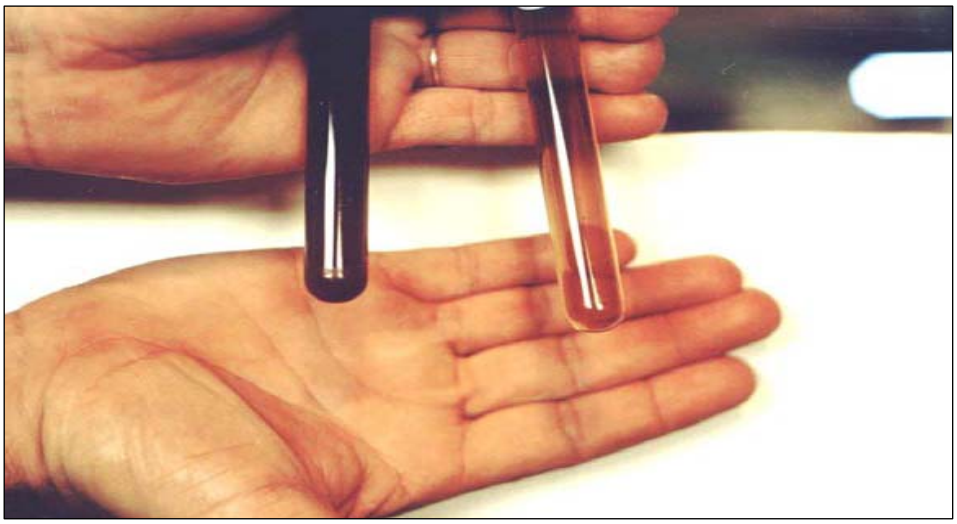
En el control de calidad, el valor de medición “turbidez ICUMSA” es un parámetro determinante en muchas aplicaciones. Esto es cierto para el procesamiento del agua potable y las aguas residuales, para la elaboración de bebidas y en el campo químico desde la galvanización hasta la industria petroquímica, pero también en la industria del azúcar de la caña.

Los sólidos no disueltos en masas líquidas, por ejemplo, algas, lodos, microbios u otras partículas absorben y dispersan la luz que los atraviesa.

Al aumentar el número de las partículas, aumenta el grado de turbidez también a simple vista. La forma, las dimensiones y la composición de las partículas influyen en el grado de turbidez. En el pasado, para la medición de la turbidez, se utilizaba simplemente la luz que atravesaba el líquido. Sin embargo, la medición de la luz difusa en un ángulo de 90°, sobre todo para los intervalos inferiores de medición, ha demostrado ser la técnica predominante y es reconocida actualmente como la técnica más avanzada en todo el mundo. Los aparatos de medición que aplican este método se denominan nefelómetros.

En la figura 1, se muestra una diferencia de la turbidez de la meladura, obsérvese que del lado izquierdo se presenta una foto de meladura sin clarificar y del lado derecho meladura clarificada con menor turbidez.

Figura 1. Meladura sin clarificar (izquierda) y clarificada (derecha)



La turbidez afecta en forma directamente proporcional al azúcar estándar, de manera que si sube la turbidez por parámetros arriba de 2 000 entonces al final, en el proceso sale una azúcar estándar de mala calidad, porque no entra en parámetro de estándar sino se reclasifica a crudo.

2.4. Clarificación de meladura actual

El sistema cuenta con tres calentadores de meladura, que no son más que 3 intercambiadores de calor de concha y tubos, utilizando vapor de segundo efecto de la evaporación por la calandria y la meladura proveniente del último efecto de la evaporación, por el interior de los tubos; de los cuales dos trabajan en serie y hay uno en limpieza química, logrando levantar la temperatura de la meladura desde 150 – 160 hasta 165 – 170 °F.

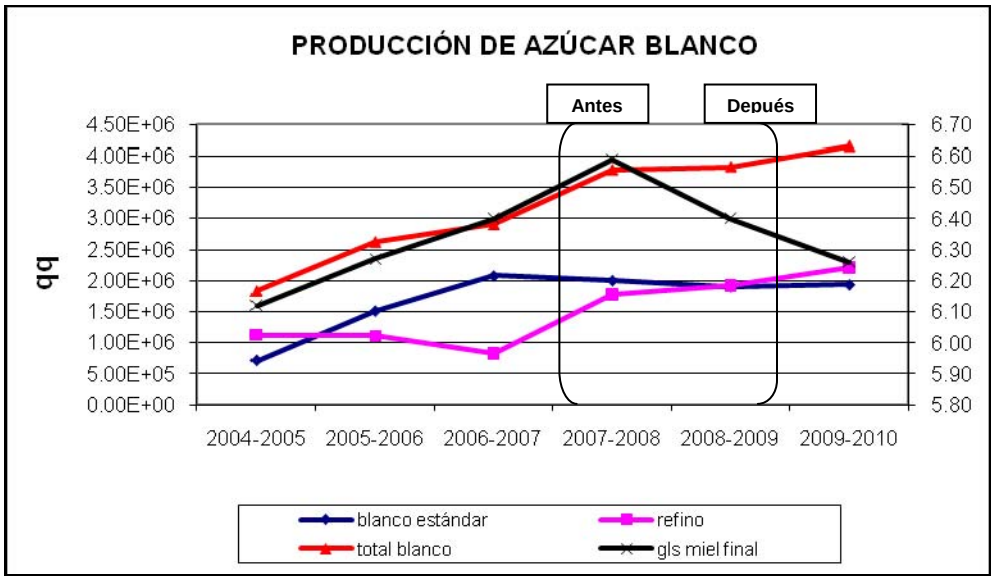
Luego, la meladura pasa a un tanque cilíndrico de aproximadamente 4’ de diámetro y 20’ de altura, con tres compartimientos en su interior para lograr una mezcla adecuada, en el cual se le agrega los químicos, siendo en este caso el acido fosfórico y sacarato, y a la salida el floculante es agregado, todos estos en proporciones controladas.

Posteriormente se dosifica aire comprimido con una flauta a una presión de 2 – 10 psig, dicha flauta es un tubo de ½ ’’ de diámetro y 6 ’’ de largo con 8 agujeros a todo lo largo, el aire se suministra al sistema en la entrada de cada clarificador de meladura “Talo”, y así poder sacar del mismo los sólidos no deseados y la meladura ya clarificada para poder obtener una buena azúcar a partir de ésta.

2.5. Importancia de la clarificación de meladura en el proceso

La producción de miel final, se puede observar en la figura 2, que va en aumento desde 6.12 gal por tonelada de caña en la zafra 2004-2005 hasta 6.59 gal por tonelada de caña en la zafra 2007-2008. Esto se debe a varios motivos, entre ellos la deficiente clarificación de la meladura y el aumento de producción de azúcar blanca.

Figura 2. Producción de azúcar en sus distintas presentaciones



El ingenio debe producir directamente azúcar blanca con colores en el rango de 200 a 250 UI para almacenar y esperar su comercialización, y dicha azúcar se degrada en las bodegas si no se logra vender a un corto plazo, alcanzando colores arriba de 380 unidades Icumsa, pudiendo cambiar a categoría de cruda si excede 400 unidades Icumsa.

Como toda empresa, que va en vías de expansión, el ingenio se ha visto en la necesidad de producir mayor cantidad de azúcar blanca, ya que así lo requiere el mercado; en la zafra 2004-2005 su requerimiento era de 1 835 699,51 qq de azúcar blanca y en la zafra 2007-2008 la producción fue de 3 779 253,46 qq (ver tabla I).

Tabla I. Producción de azúcar y galones de miel final por tonelada de caña

Zafra	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
Blanco estándar (qq)	710 296,80	1 510 341,41	2 079 071,79	2 004 118,31	1 936 688,43
Refino (qq)	1 125 402,71	1 112 873,86	828 064,13	1 775 135,15	2 214,375,35
Total blanco (qq)	1 835 699,51	2 623 215,27	2 907 135,92	3 779 253,46	4 151 063,78
Galones de miel final (galones/tonelada caña molida)	6,12	6,27	6,40	6,59	6,26

Fuente: datos obtenidos del laboratorio de control de calidad de ingenio azucarero.

Esto conlleva a un aumento en el galonaje de miel final, ya que los lavados en centrifugas se mantienen altos, se necesita mayor cantidad de meladura a clarificar para la producción de dicho azúcar y se han aumentado los días de producción de azúcar blanca. Con lo mencionado con anterioridad se está llegando al límite de capacidad para la producción de la misma.

Respecto a los colores se pueden observar las figuras 3 y 4, que para la zafra 2006/2007, los colores de la semana 14 en adelante son bajos, se debe a que son del color de estándar especial, que se produce en la refinería, como desecho que no puede clasificarse como azúcar refino, entonces se saca como estándar, por lo cual no se tomarán en cuenta para dicho análisis.

Figura 3. Colores de azúcar estándar por día

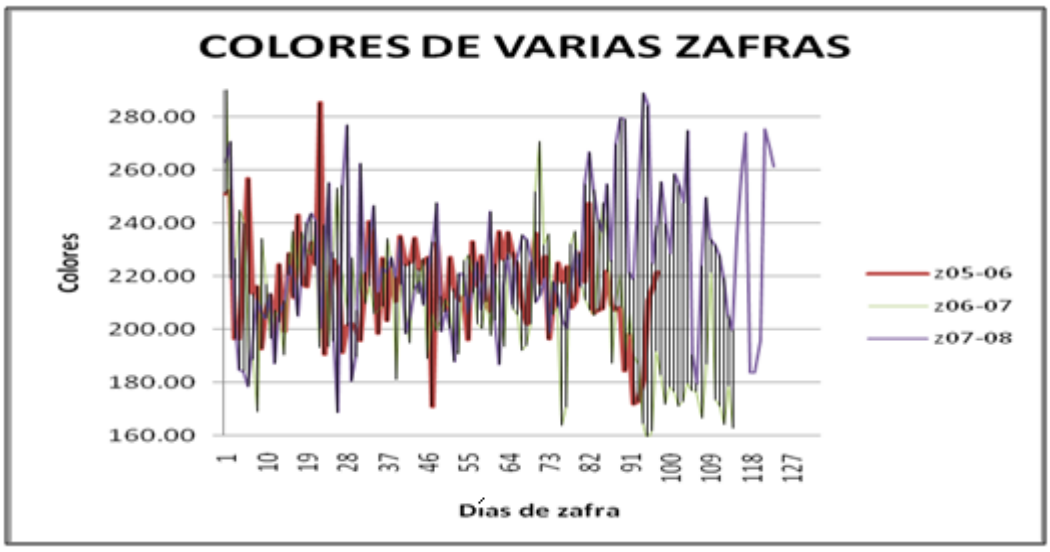
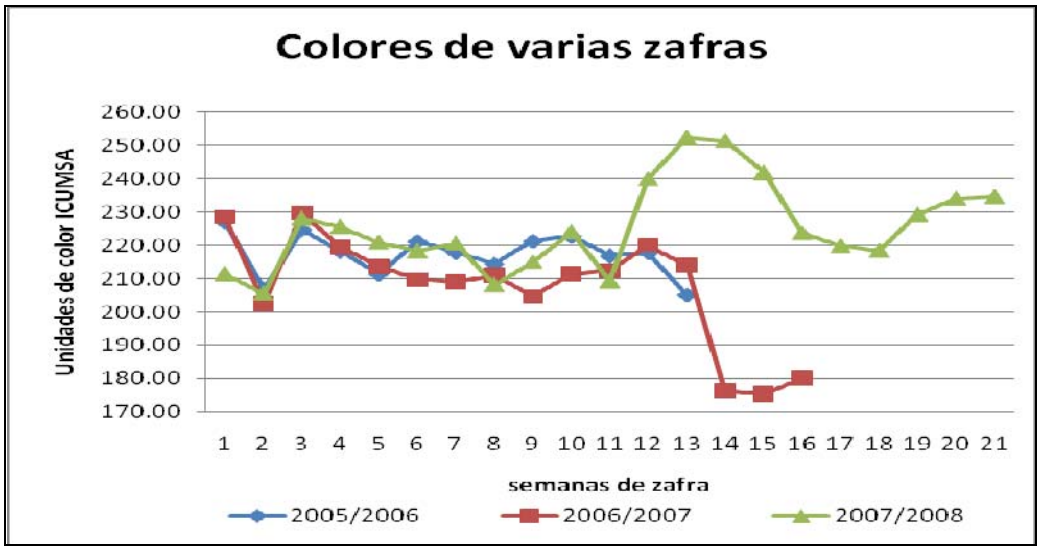


Figura 4. Color de azúcar estándar por semana



También, a medida que avanzan las zafras del año, desde el 2004-2005 hasta la 2007-2008 los datos se desestabilizan, de manera que hay datos muy dispersos.

En la tabla II, se observa que la media y la desviación estándar aumentan, demostrando existencia de variabilidad en los datos, dicha variabilidad no es conveniente, porque puede dar datos fuera de rango, así como también indica debilidad en la clarificación de meladura.

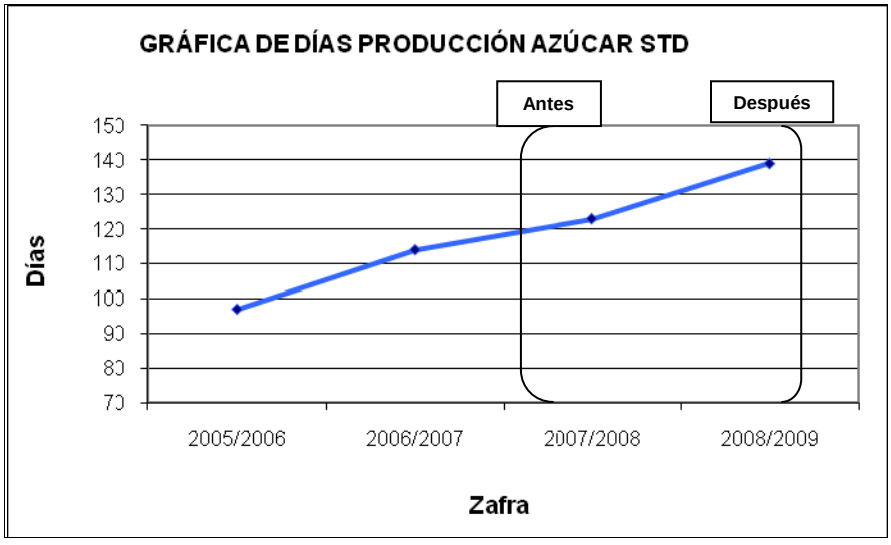
Tabla II. Datos estadísticos de media, desviación estándar y número de datos de color de azúcar

	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
Media	216,03	206,70	225,33	229,18
Desviación estándar	18,18	24,82	26,58	16,25
Número de datos	97	114	123	139

Fuente: datos obtenidos del laboratorio de control de calidad de ingenio azucarero.

En la figura 5, se observa que a medida que avanzan las zafras, también aumentan los días de producción de azúcar blanca estándar, debido a la demanda que existe en la comercialización del azúcar en el ingenio.

Figura 5. Días de producción de azúcar



En la figura 6, se observa el aumento del color promedio, esto demuestra que al aumentar la demanda de producción de azúcar, el sistema de clarificación se vuelve deficiente, ya que la capacidad del proceso dentro de la fábrica disminuye. El mismo comportamiento se da en la figura 7, ya que los datos son muy variados desestabilizando el sistema.

Figura 6. Color promedio

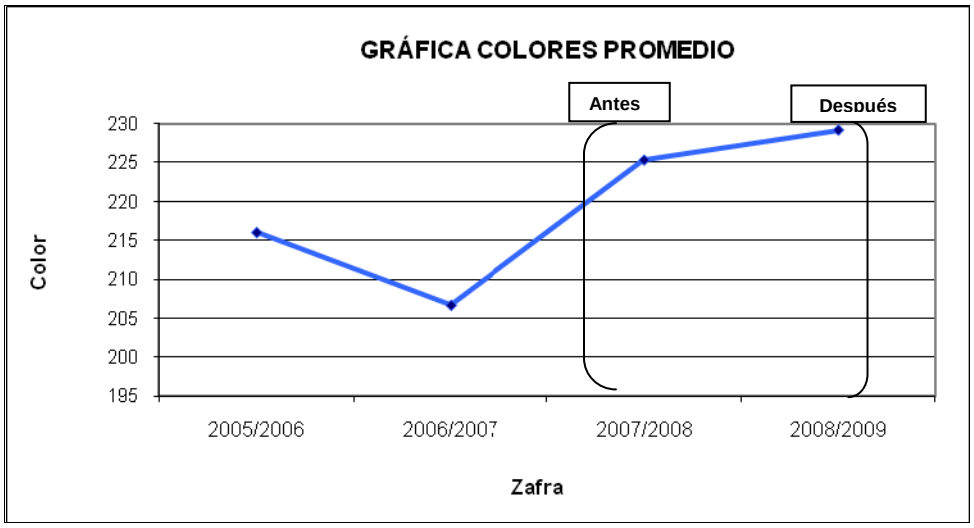
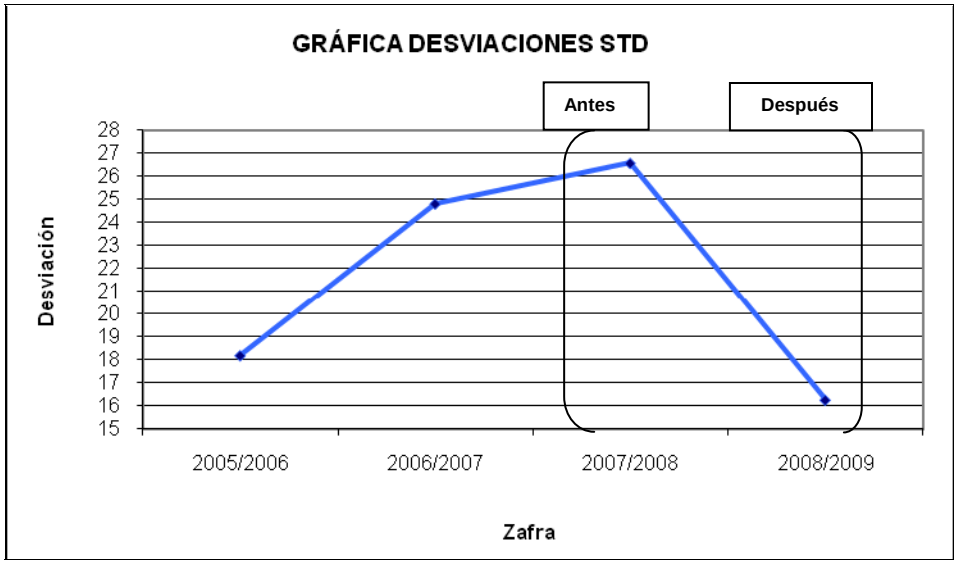
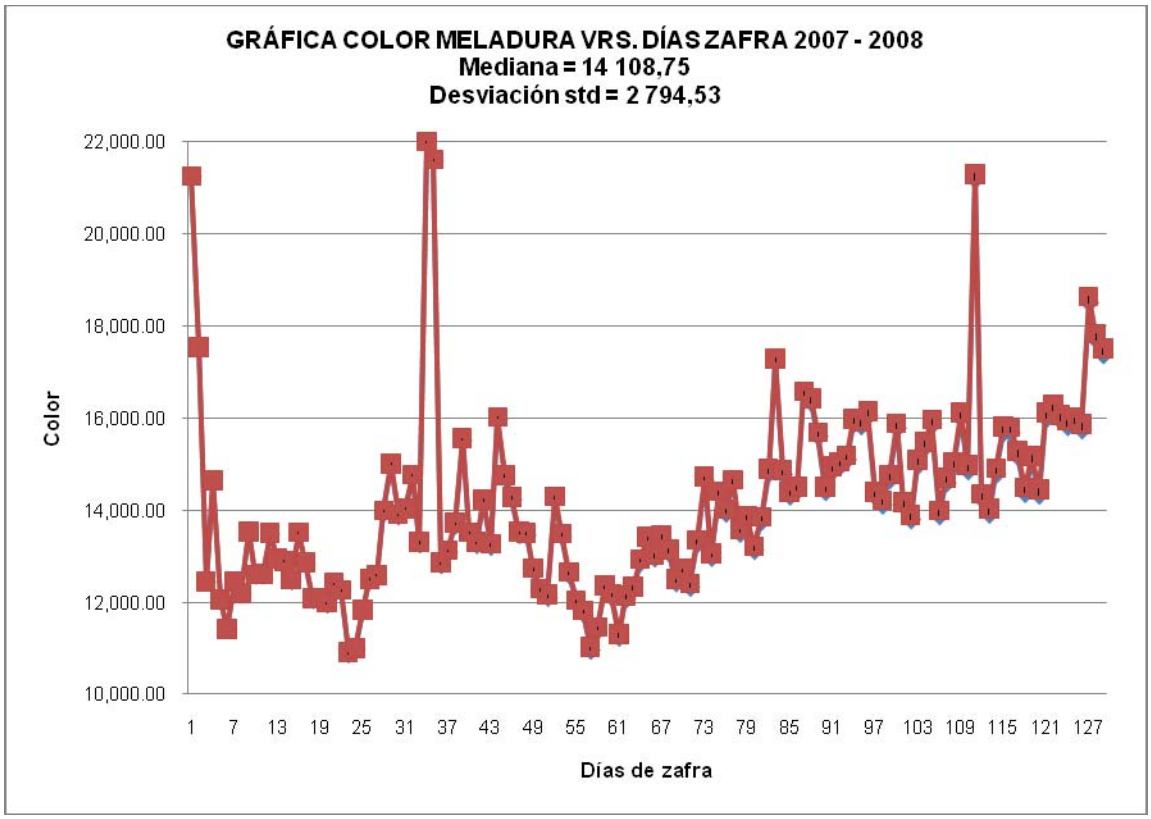


Figura 7. Desviaciones estándar del color estándar



En la figura 8, se puede observar que los colores de la meladura oscilan entre 14 000 y 19 000 UI, las tres cuartas partes de la producción. Cuando hay datos altos por arriba de 20 000 UI, entonces no se puede hacer azúcar blanca, esto implica pérdida debido a que se está dosificando químicos para hacer una azúcar que no lo necesita y dichos químicos no están contemplados en el presupuesto. Para tener colores de azúcar mejores y disminuir la variación; los colores de la meladura deberán bajar, y esto se logra mediante la mejora en el área de clarificación de la meladura.

Figura 8. Color de meladura por día de la zafra 2007 – 2008



2.6. Eficientar el proceso de clarificación de meladura

Al hacer mejoras en el área de clarificación de meladura, entonces se podrá obtener una mejor calidad de azúcar blanca, obteniendo colores bajos y así se puede almacenar por mayor tiempo en bodegas.

Se reducirá la variabilidad en la producción, con respecto a la calidad, ya que se sabe que un proceso mejora, si logra obtener producciones más constantes y así reducir la probabilidad de obtener producto final de mala calidad en altas cantidades.

También ayudará dentro del proceso de extracción de azúcar en la fábrica, porque se tendrá menor cantidad de recirculación de mieles y se reducirá la inversión de la sacarosa.

Los resultados de estos cambios, podrán servir de base para la industria azucarera, ya que actualmente 10 de los 14 ingenios existentes en Guatemala, producen azúcar blanca y de estos solamente uno posee esta tecnología, la cual no está documentada.

2.7. Modificación propuesta

Los calentadores de meladura siguen igual, la meladura que sale de ellos pasa por un tubo de 8’ de diámetro y 6’ de largo con el interior con dos tornillos sin fin intercalados para poder realizar una mezcla estática del acido fosfórico a la entrada y en la salida el sacarato.

El tanque de 4’ de diámetro y 20’ de alto, se elimina y en su lugar se instalan tres tanques. Donde la meladura circula en serie por ellos, para prepararla antes de entrar a los clarificadores de meladura “Talos”. Después de pasar por el mezclador estático, la meladura pasa en serie a los dos primeros tanques cilíndricos (nuevos) de 6’ de diámetro y 10’ de altura, ellos cuentan con agitadores de tipo helicoidal de 2 aspas al centro girando a una velocidad de 250 rpm con el fin de poder realizar una buena mezcla.

Seguidamente la meladura descarga a un tercer tanque, que es de forma rectangular, el cual contiene un eje con agujero interior para finalizar en un plato de polímero de 8” de diámetro y 2’’ de alto con cuatro toberas transversales, las cuales distribuyen el aire comprimido a una condición controlada entre 2 a 10 pies³/min, dichos ejes son dos de 2” de diámetro, 1” de agujero interior y están girando a una velocidad de 1 600 rpm distribuidos en el tanque rectangular.

Al descargar la meladura de este tercer tanque se instala una tubería de 1” para agregar el floculante, luego la meladura pasa por un tubo donde se distribuye la meladura a los tres clarificadores de meladura “Talos” donde se separan los sólidos no deseados de la meladura ya clarificada.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

a. Turbidez de meladura clarificada

b. Turbidez de meladura no clarificada

c. Color de azúcar estándar

3.2. Delimitación de campo de estudio

El presente estudio, abarca un ingenio azucarero guatemalteco en el área de clarificación de meladura, desde que entra la meladura no clarificada a tratamiento químico, previo a la alimentación de clarificadores de meladura “Talos”, hasta que sale la meladura clarificada. También toma en cuenta el azúcar estándar que sale de la enfriadora industrial de la fábrica.

3.3. Recursos humanos disponibles

Se cuenta con un analista con escolaridad mínima de tercero básico, que él mismo recolecta la muestra y la analiza.

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería reactivos)

3.4.1. Equipo

a. Refractómetro
b. Bomba de vacío
c. Espectrofotómetro
d. Balanza de laboratorio
e. Membrana de filtración con poros de 0,45 µm

3.4.2. Cristalería

a. Beaker de 50 ml
b. Matraz 50 ml

3.4.3. Reactivos

a. Agua desmineralizada a pH 7,0

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

3.5.1. Análisis de brix refractométrico

- Filtrar la muestra, a través del papel filtro
- Verificar que la muestra a leer tenga una temperatura de 20°C o lo más cercano a ella
- Colocar la muestra en refractómetro
- Leer el brix indicado en el refractómetro
- El equipo corrige la lectura obtenida a la temperatura de referencia 20°C

Cálculos:

Brix = Lectura refractométrica

3.5.2. Análisis de color Icumsa 4

- Homogenizar la muestra de azúcar

- Tomar 25 g de la muestra y mezclar con 25 g de agua de dilución, de esta manera se prepara una solución 1:1, en peso de azúcar y agua

- Filtrar al vacío la solución preparada, utilizando la membrana que se menciono anteriormente

- Remover burbujas de aire atrapadas, introduciendo un erlenmeyer que contenga la solución filtrada en un baño ultrasónico por un tiempo de 3 minutos

- Medir el brix de la solución filtrada, utilizando un refractómetro

- Ajustar el pH de la solución filtrada a 7, utilizando para ello soluciones de hidróxido de sodio o de ácido clorhídrico (0,01N)

- Filtrar a través de la membrana de 0,45 µm

- Introducir solución filtrada en una celda cuadrada de absorción de 1 cm de paso, habiéndose asegurado de las buenas condiciones de la celda y haciendo el respectivo lavado de la celda con la solución filtrada

- Ajustar el espectrofotómetro a 420 nm de longitud de onda

- Calibrar el espectrofotómetro con el agua de dilución, utilizándola como blanco

- Colocar la celda de absorción con la solución filtrada dentro del espectrofotómetro y determinar la absorbancia de dicha solución

Cálculos:

$$Color = \frac{Abs \times 1000}{L \times \rho}$$

Donde:

Abs = Absorbancia de la solución L = Largo de la celda en centímetros

ρ = Densidad de la solución de azúcar al vacío en g/ml

3.5.3. Análisis de turbidez de meladura

- Tomar 25 g de la muestra y mezclar con 25 g de agua de dilución, de esta manera se prepara una solución 1:1 en peso de meladura y agua

- Filtrar al vacío la solución preparada, utilizando la membrana que se mencionó anteriormente

- Remover burbujas de aire atrapadas, introduciendo un erlenmeyer que contenga la solución filtrada en un baño ultrasónico por un tiempo de 3 minutos

- Medir el brix de la solución filtrada utilizando un refractómetro

- Ajustar el pH de la solución filtrada a 7, utilizando para ello soluciones de hidróxido de sodio o de ácido clorhídrico (0,01N)

- Introducir solución filtrada en una celda cuadrada de absorción de 1 cm de paso, habiéndose asegurado de las buenas condiciones de la celda, y haciendo el respectivo lavado de la celda con la solución filtrada

- Ajustar el espectrofotómetro a 420 nm de longitud de onda

- Calibrar el espectrofotómetro con el agua de dilución, utilizándola como blanco

- Colocar la celda de absorción con la solución filtrada dentro del espectrofotómetro y determinar la absorbancia de dicha solución

- Filtrar a través de la membrana de 0,45 µm

- Luego volver a medir la absorbancia después de filtrarla, y hacer una resta de los colores que dio como resultado antes y después de filtrar

Cálculos:

$$Color1 = \frac{Abs \times 1000}{L \times \rho}$$

Donde:

Abs = Absorbancia de la solución 1

L = Largo de la celda en centímetros

ρ = Densidad de la solución de azúcar al vacío en g/ml

$$Color2 = \frac{Abs \times 1000}{L \times \rho}$$

Donde:

Abs = Absorbancia de la solución 2

L = Largo de la celda en centímetros

ρ = Densidad de la solución de azúcar al vacío en g/ml

$$Turbidez = Color1 - Color2$$

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se cuenta con los datos que analiza el laboratorio durante el período de zafra. Para el caso de la turbidez de la meladura es cada 4 horas y para el caso del azúcar estándar es cada 2 horas.

Se utilizó el siguiente formato de recolección de datos de turbidez de meladura:

	Zafra 2007 – 2008		Zafra 2007 – 2008	
Día de zafra	No clarificada	Clarificada	No clarificada	Clarificada
1				
2				
3				
.				
.				
.				
142				

Para el color de azúcar se utilizó el siguiente formato:

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 - 2009
Día de zafra	Color	color
1		
2		
3		
.		
.		
.		
142		

Para la miel final se utilizó el siguiente formato:

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 - 2009
Día de zafra	galones/ton caña	galones/ton caña
1		
2		
3		
.		
.		
.		
142		

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

3.7.1. Porcentaje de remoción de turbidez de la meladura

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$PRT = \frac{t_1 - t_2}{t_1} \times 100$$

Donde:

PRT = Porcentaje de remoción de turbidez

t_1 = Turbidez de meladura no clarificada

t_2 = Turbidez de meladura clarificada

Ejemplo

Para el día 1 de la zafra 2007 – 2008, la turbidez de meladura no clarificada 7 899.00 y la turbidez de meladura clarificada 7 594.56:

t_1 = 7 899.00

t_2 = 7 594.56

$$PRT = \frac{7\,899.00 - 7\,595.56}{7\,899.00} \times 100$$

$$PRT = 3.85$$

3.7.2. Datos Calculados

Tabla III. Porcentaje de remoción de turbidez, zafras 2007-2008 y 2008-2009

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	% remoción	% remoción
1	3,85	12,29
2	3,28	16,16
3	8,71	32,86
4	7,87	24,97
5	8,22	33,83
6	9,62	28,53
7	10,21	21,01
8	8,83	56,70
9	8,10	36,53
10	50,45	63,20
11	34,02	55,24
12	64,88	56,40
13	27,26	66,28
14	48,69	70,23
15	13,49	71,13
16	46,34	67,63
17	41,51	47,17
18	48,59	40,95
19	56,55	41,45
20	52,44	41,13
21	49,09	40,79
22	50,64	51,66
23	46,96	59,47
24	23,02	61,23
25	52,04	56,65
26	49,43	56,91
27	48,17	44,24
28	46,84	46,56
29	19,82	64,51
30	46,44	64,86
31	31,47	54,91
32	58,77	53,62
33	52,18	54,46

Continúa tabla III

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	% remoción	% remoción
34	38,10	53,15
35	44,58	52,48
36	49,37	51,35
37	50,08	52,29
38		
39		
40		
41	42,44	59,90
42	65,02	46,98
43	65,50	50,18
44	64,22	61,26
45	40,09	39,99
46	53,38	41,65
47	41,68	41,47
48	50,56	52,27
49	32,32	48,87
50	55,04	49,16
51	38,74	70,92
52	65,48	59,88
53	31,18	58,70
54	46,13	44,96
55	61,19	64,56
56	55,23	51,17
57	51,12	56,59
58	41,95	74,17
59	60,18	77,07
60	13,63	62,68
61	69,96	51,78
62	54,39	45,04
63	21,92	47,83
64	53,40	48,48
65	51,03	48,27
66	65,57	56,25
67	33,02	50,63
68	53,93	51,14
69	38,79	42,60
70	61,66	50,34
71	64,81	51,88
72	38,95	51,15

Continúa tabla III

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	% remoción	% remoción
73	54,51	41,05
74	49,43	51,01
75	63,93	46,03
76	59,93	45,53
77	63,81	58,25
78	26,44	49,34
79	66,52	72,50
80	51,80	53,53
81	61,10	60,04
82	47,11	57,71
83	44,19	62,01
84	52,82	58,65
85	64,48	40,63
86	50,72	59,43
87	66,54	51,66
88	58,71	64,77
89	42,12	61,56
90	57,15	54,09
91	39,44	51,58
92	49,60	56,98
93	21,21	54,11
94	31,46	57,44
95	37,99	49,92
96	37,46	52,15
97	47,61	52,19
98	15,65	51,29
99	46,65	52,63
100	55,33	53,96
101	57,85	60,43
102	48,60	54,87
103	55,77	61,71
104	25,31	62,87
105	27,79	40,61
106	47,76	50,41
107	42,86	46,41
108	29,69	66,58
109	51,59	54,64
110	58,50	62,49
111	28,63	57,05

Continúa tabla III

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	% remoción	% remoción
112	21,52	62,84
113	30,57	43,43
114	59,65	68,79
115	57,37	49,87
116	24,24	41,08
117	39,93	60,22
118	28,85	52,36
119	57,75	52,85
120	40,47	56,86
121	48,28	41,39
122	37,04	53,27
123	51,15	55,43
124	48,14	44,61
125	22,11	54,17
126	57,97	50,39
127	28,52	51,91
128	28,29	39,65
129	53,84	54,95
130	20,88	52,35
131	53,32	42,65
132	55,34	53,98
133	41,14	50,68
134	44,92	44,38
135	62,64	51,22
136	51,54	52,22
137	38,15	56,22
138	35,34	51,86
139	53,02	56,27
140	50,19	51,47
141	25,22	53,44
142	29,24	62,43

Tabla IV. Datos agrupados de % Remoción de turbidez y meladura zafra 2007 – 2008

Rangos aparentes			% de remoción turbidez
3,28	-	11,34	7,31
11,35	-	19,41	15,38
19,42	-	27,48	23,45
27,49	-	35,55	31,52
35,56	-	43,62	39,59
43.63	-	51,69	47,66
51,70	-	59,76	55,73
59,77	-	67,83	63,80
67,84	-	75,90	71,87

Tabla V. Datos agrupados de color de azúcar estándar de zafra 2007 – 2008

Rangos aparentes			color azúcar std
198	-	208	203
209	-	219	214
220	-	230	225
231	-	241	236
242	-	252	247
253	-	263	258
264	-	274	269
275	-	285	280
286	-	296	291

Tabla VI. Datos agrupados de porcentaje de remoción de turbidez de meladura de zafra 2008 – 2009

Rangos aparentes			% de remoción turbidez
12,29	-	20,36	16,33
20,37	-	28,44	24,41
28,45	-	36,52	32,49
36,53	-	44,60	40,57
44,61	-	52,68	48,65
52,69	-	60,76	56,73
60,77	-	68,84	64,81
68,85	-	76,92	72,89
76,93	-	85,00	80,97

Tabla VII. Datos agrupados de color de azúcar estándar de zafra 2008 - 2009

Rangos aparentes			color azúcar std
195	-	203	199
204	-	212	208
213	-	221	217
222	-	230	226
231	-	239	235
240	-	248	244
249	-	257	253
258	-	266	262
267	-	275	271

3.8. Análisis estadístico

3.8.1. Agrupación de datos

Para obtener la agrupación de datos del porcentaje de remoción de turbidez de la meladura, se utilizan las ecuaciones siguientes:

$$K = 1 + 3.3 \log n$$

K: Número de clases

n: Número de datos

$$R = DMA – DME$$

R : Rango de datos

DMA: Dato mayor

DME: Dato menor

$$I = R / K$$

I: Intervalo de datos

R: Rango de datos

K: Número de clases

Ejemplo

Para la tabla de datos VII de la zafra 2007 – 2008 se va a construir una agrupación de datos de la siguiente forma:

Se ordenan los datos de menor a mayor

Se calcula el número de clases:

n = 139

k = 1 + 3.3log (139) = 8.071948841

Se aproxima el número de clases a un entero, en este caso será el número 9

Se calcula el rango de datos:

DMA = 69,96

DME = 3,28

R = 69,96 – 3,28 = 66,68

Se calcula el intervalo:

R = 66,68

k = 8,071948841

I = 66,68 / 8,071948841 = 8,260706468

Se construye la tabla de límites aparentes:

- El primer límite aparente inferior, es el dato menor de la tabla ordenada.

- Luego el que sigue en vertical hacia abajo, es la suma del anterior más el número de clases hasta llegar a hacer el número de clases aproximado a número entero.
- Luego se obtiene el promedio de los límites aparentes, y ese es el dato promedio a utilizar. De esta forma se obtiene la siguiente tabla.

Tabla VIII. Promedio de límites aparentes

Rangos aparentes	% de remoción turbidez
3,28 - 11,34	7,31
11,35 - 19,41	15,38
19,42 - 27,48	23,45
27,49 - 35,55	31,52
35,56 - 43,62	39,59
43,63 - 51,69	47,66
51,70 - 59,76	55,73
59,77 - 67,83	63,80
67,84 - 75,90	71,87

3.8.2. Capacidad del proceso

Para obtener la capacidad de proceso de turbidez de la meladura, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Cpk = Mín. \left[\frac{(Ts - \mu)}{(3 * \delta)} , \frac{(\mu - Ti)}{(3 * \delta)} \right]$$

Donde:

Min: Valor mínimo
Ts: Límite superior
Ti: Límite inferior
μ: Media aritmética
δ: Desviación estándar

Ejemplo:

Para la zafra 2007 – 2008 la cual es antes de la modificación se tiene la media aritmética 43,36, la desviación estándar 15,98, se utiliza el límite inferior 40 y el límite superior 60, entonces:

Ts= 60 μ = 43,36

Ti = 40 δ = 15,98

Cpk = Mín [(60 – 43,36)/(3*15,98) , (43,36 – 40)/(3*15,98)]

= Min [0,347 , 0,070]

= 0,070

3.8.3. Correlación de remoción de turbidez meladura y color de azúcar estándar zafra 2007 - 2008

Figura 9. Porcentaje de remoción de turbidez (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2007 – 2008

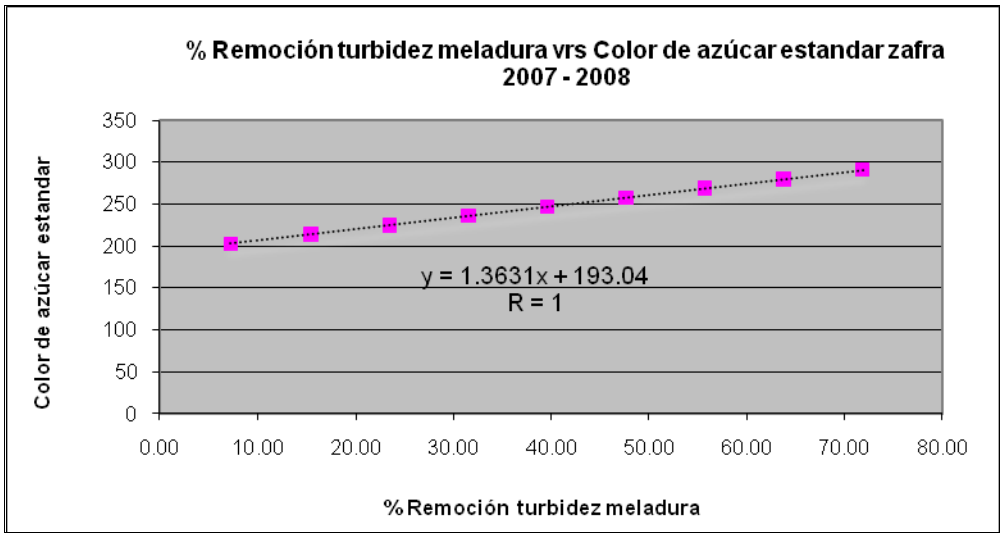


Tabla IX. Datos de correlacion de datos entre porcentaje de remoción de turbidez meladura (x) y color de azúcar estándar (y), para zafra 2007 – 2008

Tipo de ecuación	Coeficiente r	Ecuación
Lineal	1,0000	y = 1,3631x + 193,04
Logarìtmica	0,9053	y = 38,413Ln(x) + 113,31
Polinomial grado 2	1,0000	y = 4E-16x2 + 1,3631x + 193,04
Polinomial grado 3	1,0000	$y = 1E\text{-}16x^3 + 5E\text{-}15x^2 + 1,3631x + 193,04$
Potencial	0,9314	$y = 140,98x^{0.1592}$
Exponencial	0,9974	$y = 196,86e^{0.0056x}$

3.8.4. Correlación de remoción de turbidez meladura y color de azúcar estándar zafra 2008 – 2009

Figura 10. Porcentaje de remoción de turbidez (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2008 – 2009

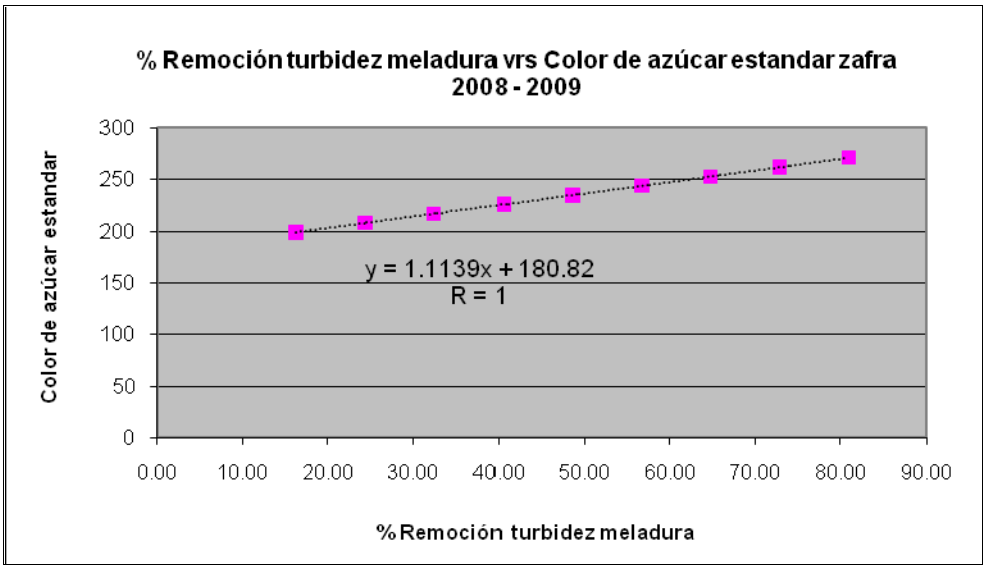


Tabla X. Datos de correlación de datos entre porcentaje de remoción de turbidez meladura (x) y color de azúcar estándar (y), para zafra 2008 – 2009

Tipo de ecuación	Coeficiente r	Ecuación
Lineal	1,0000	$y = 1,1139x + 180,82$
Logarìtmica	0,9511	$y = 45,038Ln(x) + 65,117$
Polinomial grado 2	1,0000	$y = 1,1139x + 180,82$
Polinomial grado 3	1,0000	$y = 1E\text{-}16x^3 - 2E\text{-}14x^2 + 1,1139x + 180,82$
Potencial	0,9678	$y = 112,22x^{0,1946}$
Exponencial	0,9981	$y = 185,44e^{0,0048x}$

3.8.5. Correlación de color de meladura clarificada y color de azúcar estándar zafra 2007 – 2008

Figura 11. Color de meladura clarificada (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2007 – 2008

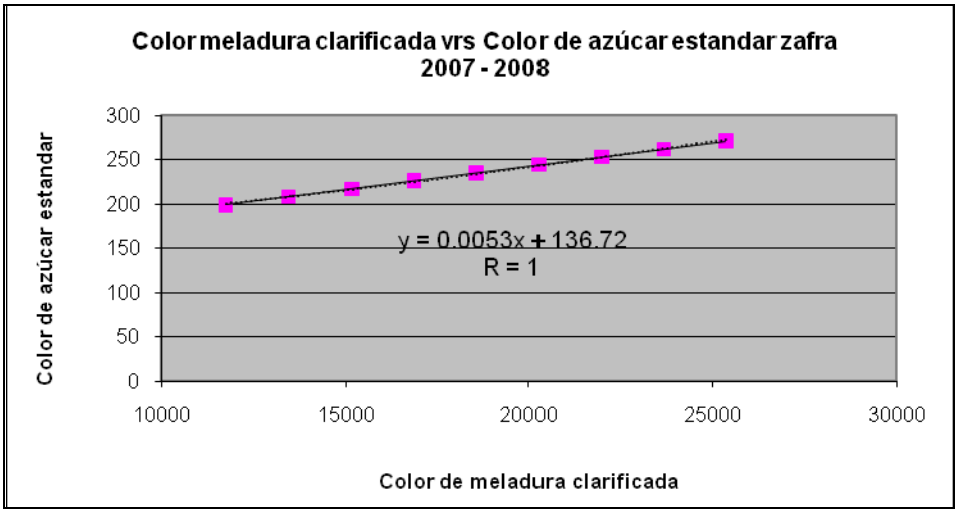


Tabla XI. Datos de correlación de datos entre color de meladura clarificada (x) y color de azúcar estándar (y), para zafra 2007 – 2008

Tipo de ecuación	Coeficiente r	Ecuación
Lineal	1,0000	y = 0,0053x + 136,72
Logarìtmica	0,9883	y = 93,796Ln(x) – 684,15
Polinomial grado 2	1,0000	y = 3E-11x2 + 0,0053x + 136,73
Polinomial grado 3	1,0000	$y = 6E\text{-}15x^3 - 3E\text{-}10x^2 + 0{,}0053x + 136{,}7$
Potencial	0,9958	$y = 4{,}4901x^{0{,}4034}$
Exponencial	0,9981	$y = 153{,}55e^{2E\text{-}05x}$

3.8.6. Correlación de Color de meladura clarificada y color de azúcar estándar zafra 2008 – 2009

Figura 12. Color de meladura clarificada (x) vrs color de azúcar estándar (y), zafra 2008-2009

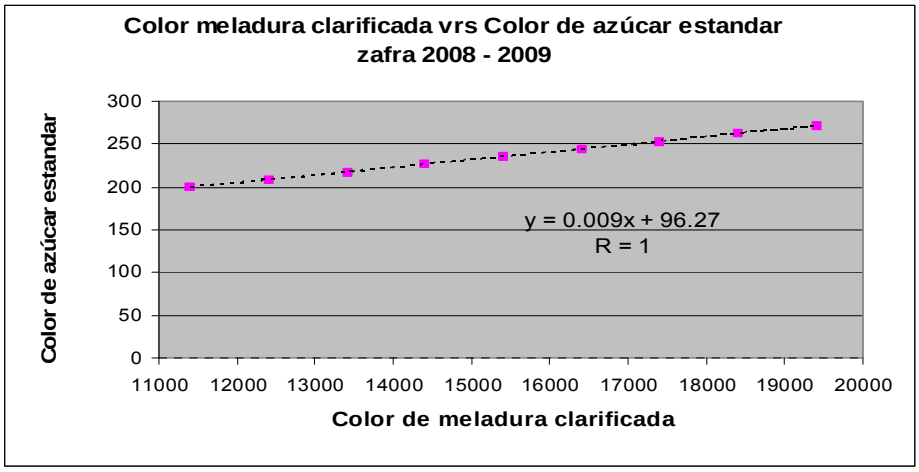


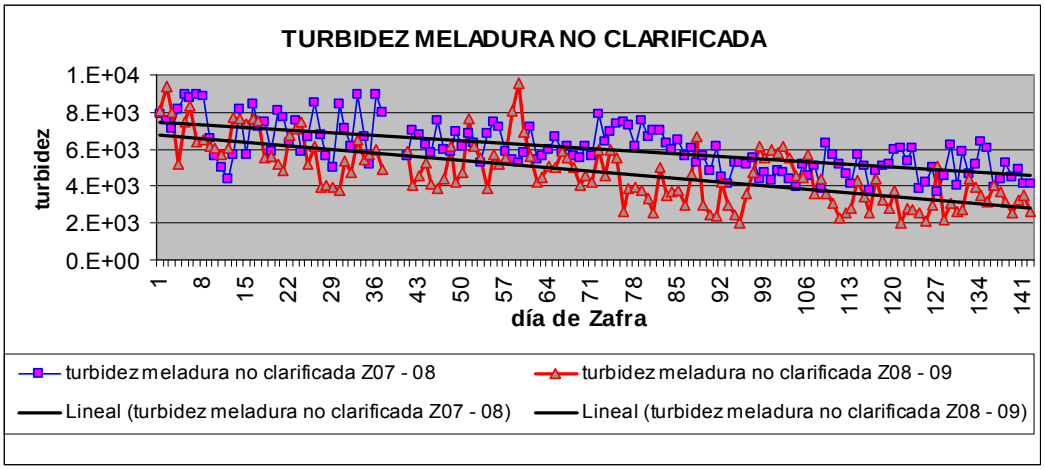
Tabla XII. Datos de correlacion de datos entre color de meladura clarificada (x) y color de azúcar estandar (y), para zafra 2008 – 2009

Tipo de ecuación	Coeficiente r	Ecuación
Lineal	1,0000	y = 0,009x + 96,279
Logarìtmica	0,9944	y = 135,61Ln(x) – 1 070,8
Polinomial grado 2	1,0000	y = 1E-10x2 + 0,009x + 96,31
Polinomial grado 3	1,0000	$y = 5E\text{-}14x^3 - 2E\text{-}09x2 + 0,009x + 96,127$
Potencial	0,9990	$y = 0,8585x^{0,5824}$
Exponencial	0,9981	$y = 129,14e^{4E\text{-}05x}$

4. RESULTADOS

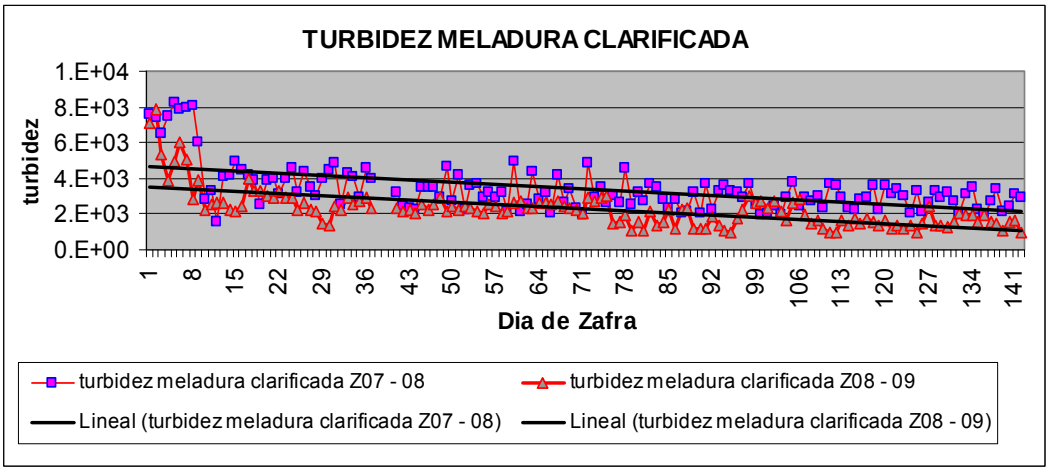
4.1. Turbidez de meladura no clarificada

Figura 13. Turbidez de meladura no clarificada, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009



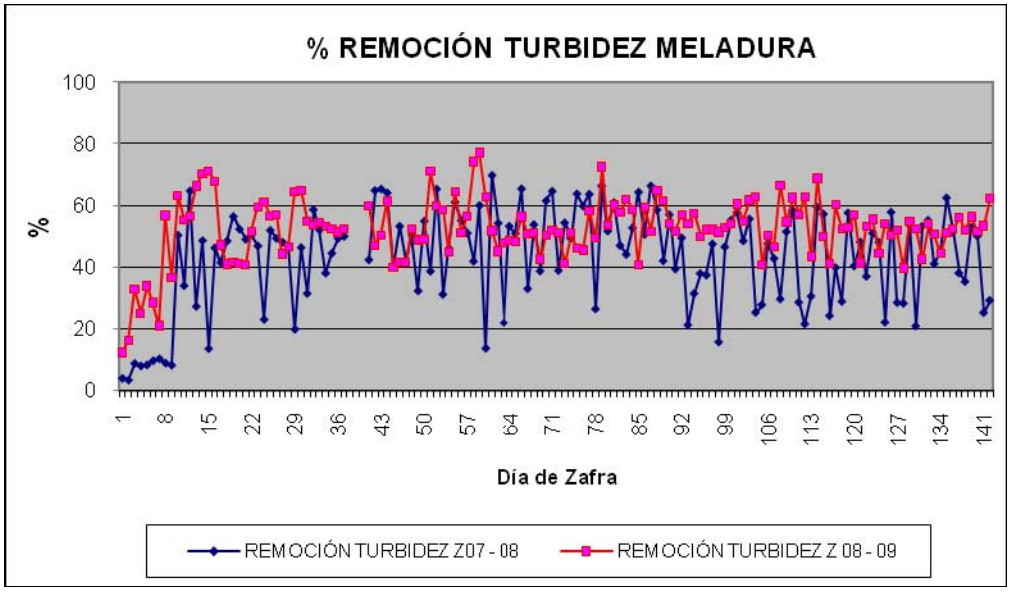
4.2. Turbidez de meladura clarificada

Figura 14. Turbidez de meladura clarificada, zafras 2007-2008 y 2008-2009



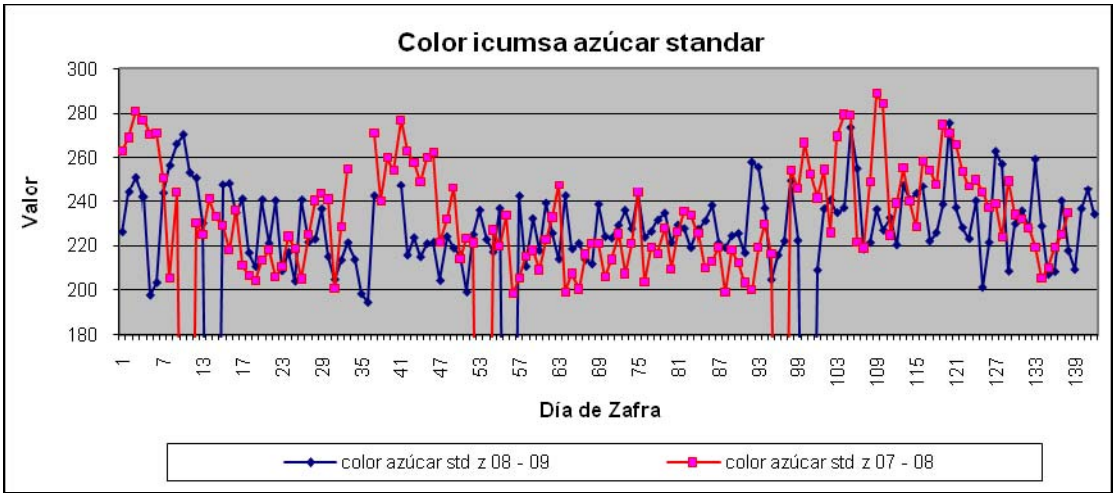
4.3. Porcentaje de remoción de turbidez

Figura 15. Porcentaje de remoción de turbidez de meladura, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009



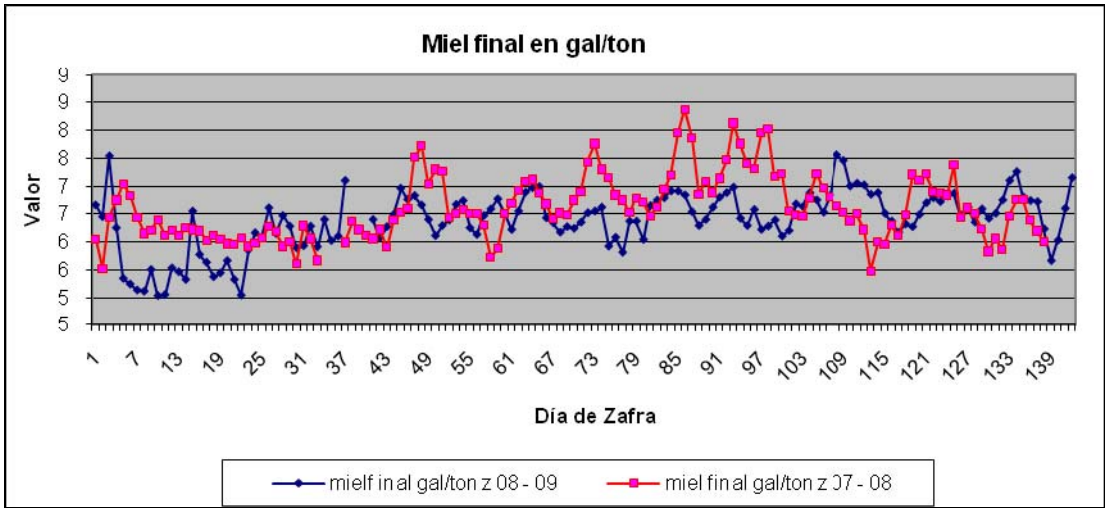
4.4. Color de azúcar estándar

Figura 16. Color de azúcar estándar, zafras 2007-2008 y 2008-2009



4.5. Producción de miel final

Figura 17. Galonaje de miel final por tonelada de caña, zafras 2007-2008 y 2008-2009



5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El estudio de la remoción de la turbidez de la meladura, al pasar por un sistema de clarificación de meladura antes y después de hacer mejoras, es evaluado para ver el impacto en el color de azúcar estándar respecto a la calidad, por medio del color de la meladura clarificada y galonaje de miel final por tonelada de caña molida. Dicho tema constituye el objetivo fundamental de este estudio.

Para este estudio, se realizaron mejoras en el departamento de clarificación de meladura, se colocó medidores de flujo de aire para control de la cantidad de aire aplicada a la meladura, este proceso maneja aproximadamente 700 gpm, para lo cual se debe utilizar 2,3 pie^3/min de aire por cada una de las dos líneas existentes.

También cuenta con un sistema de dos tanques con agitación, un sistema de aireación de eje con plato de arguto y un mezclador estático para dosificación de 250 ppm de ácido fosfórico y lechada de cal, hasta que se alcance un pH de 6,2; todo esto con la intención de mejorar la remoción de turbidez de la meladura y su impacto en todos los aspectos que lleva adelante del proceso de fabricación de azúcar estándar para tener valores aceptables, según requerimiento de los clientes, así como también se evaluó el impacto en el color de meladura clarificada y se analizó valores del galonaje de miel final para minimizar las pérdidas.

Se tienen los datos, antes de la modificación que son correspondientes a la zafra 2007 - 2008 y posterior a dicha modificación en la zafra 2008-2009 en el departamento de clarificación de meladura.

Los análisis de laboratorio permiten conocer la remoción de turbidez entre la meladura clarificada y la meladura no clarificada.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los cuales se presentan en la figura 13, se observa que la turbidez de la meladura no clarificada después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura, es menor que el obtenido antes de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

La turbidez promedio en los días que se llevo a cabo el análisis fue de 4 743 para después de la modificación y 6 011 para antes de la modificación, es decir, que la diferencia entre ambos procesos fue de 1 268, lo cual significa un 21% menos en la turbidez de la meladura no clarificada, después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En el caso de la desviación estándar, es todo lo contrario, antes de la modificación, dio un valor promedio de 1 296 y después de la modificación 1 660, o sea, la diferencia entre ambos procesos fue de 364, con un 22% más después de la modificación, esto evidencia que al proceso de clarificación de meladura le ingresó material con mas variabilidad después de la modificación.

En la figura 14, se observa que la turbidez de la meladura clarificada después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura, es menor que el obtenido antes de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

La turbidez promedio en los días que se llevo a cabo el análisis fue de 2 265 para después de la modificación y 3 400 para antes de la modificación, es decir, que la diferencia entre ambos procesos fue de 1 135, lo cual significa un 33% menos en la turbidez de la meladura clarificada después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En el caso de la desviación estándar, presenta la misma tendencia, antes de la modificación, dio un valor promedio de 1 325 y después de la modificación 1 063, o sea, la diferencia entre ambos procesos fue de 262, lo cual significa un 20% menos después de la modificación.

Los datos de porcentaje de remoción de turbidez evalúan que tan buena esta la clarificación de meladura respecto a remoción de sólidos, en la figura 15, se observa que el porcentaje de remoción de turbidez de la meladura, después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura, es mayor que el obtenido antes de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

El porcentaje de remoción de turbidez de la meladura promedio en los días que se llevo a cabo el análisis fue de 52, para después de la modificación y 43 para antes de la modificación, es decir, que la diferencia entre ambos procesos fue de 9, lo cual significa un 17% más en el porcentaje de remoción de turbidez de la meladura, después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En el caso de la desviación estándar, es todo lo contrario, antes de la modificación, dio un valor promedio de 16 y después de la modificación 10, o sea, la diferencia entre ambos procesos fue de 6, lo cual significa un 37% menos después de la modificación.

Una forma de observar una buena clarificación de meladura, es en la obtención de azúcar estándar al final del proceso, la figura 16, se observa que el color Icumsa del azúcar estándar, después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura, es menor que el obtenido antes de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

El color Icumsa del azúcar estándar promedio, en los días que se llevo a cabo el análisis fue de 234 UI para antes de la modificación y 229 UI para después de la modificación, es decir, que la diferencia entre ambos procesos fue de 5 UI, lo cual significa un 2% menos en el color Icumsa del azúcar estándar, después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En el caso de la desviación estándar, presenta la misma tendencia, antes de la modificación dio un valor promedio de 23 UI y después de la modificación 16 UI, o sea, la diferencia entre ambos procesos fue de 7 UI, lo cual significa un 30% menos después de la modificación.

La miel final juega un papel importante en las pérdidas dentro del proceso de elaboración de azúcar, mientras más alto sea el valor de galones por tonelada de caña significa que hay más azúcar que no se pudo cristalizar y salió de la fábrica en forma de miel final; hay que recordar que la miel final se vende a un precio más bajo que el azúcar.

En la figura 17, se observa que la miel final en galones por tonelada de caña molida después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura, es menor que el obtenido antes de la modificación; la miel final en galones por tonelada de caña molida promedio en los días que se llevo a cabo el análisis fue de 6,68 para antes de la modificación y 6,61 para después de la modificación, es decir, que la diferencia entre ambos procesos fue de 0,07, lo cual significa un 1% menos en la miel final en galones por tonelada de caña molida, después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En el caso de la desviación estándar, presenta la misma tendencia, antes de la modificación, dio un valor promedio de 0,57 y después de la modificación 0,52, o sea, la diferencia entre ambos procesos fue de 0,05, lo cual significa un 9% menos después de la modificación.

En la figura 9, se observa que el Color Icumsa del azúcar estándar, es directamente proporcional al porciento de remoción de turbidez, y el coeficiente de correlación que describe de mejor manera dicha relación entre color y turbidez es 1,00 (véase Tabla IX) y corresponde a un modelo matemático del tipo lineal, el cual esta expresado por la ecuación y = 1,36x + 193,04, donde x es el porciento de remoción de turbidez de la meladura y es el color icumsa del azúcar estándar antes de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En la figura 10, se observa que el Color Icumsa del azúcar estándar, es directamente proporcional al porciento de remoción de turbidez, y el coeficiente de correlación que describe de mejor manera dicha relación entre color y turbidez es 1,00 (véase Tabla X) y corresponde a un modelo matemático del tipo lineal, el cual esta expresado por la ecuación y = 1,11x + 180,82, donde x es el porciento de remoción de turbidez de la meladura y y es el color Icumsa del azúcar estándar después en la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En la figura 11, se observa que color Icumsa del azúcar estándar, es directamente proporcional a Color de la meladura clarificada, y el coeficiente de correlación que describe de mejor manera dicha relación entre color y turbidez es 1,00 (véase Tabla XI) y corresponde a un modelo matemático del tipo lineal, el cual esta expresado por la ecuación y = 1,0053x + 136,72, donde x es el Color de la meladura clarificada y es el color Icumsa del azúcar estándar antes de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

En la figura 12, se observa que color Icumsa del azúcar estándar es directamente proporcional a color de la meladura clarificada, y el coeficiente de correlación que describe de mejor manera dicha relación entre color y turbidez es 1,00 (véase Tabla XII) y corresponde a un modelo matemático del tipo lineal, el cual esta expresado por la ecuación y = 1,009x + 96,279, donde x es el color de la meladura clarificada y es el color Icumsa del azúcar estándar después de la modificación en el departamento de clarificación de meladura.

La capacidad del proceso da una herramienta estadística que sirve para medir la capacidad que tiene un proceso para producir un resultado dentro de los límites predefinidos (véase análisis estadístico sección 3.8.2) para antes de la modificación se tiene el dato menor 0,070 y después de la modificación aumenta a 0,251, esto significa que se tiene una mejoría en el proceso, después de la modificación pero aún se puede mejorar ya que un número aceptable de capacidad de proceso para un proceso existente con dos límites es 1,33.

CONCLUSIONES

1. El porciento de remoción de turbidez después de la modificación, es mayor que el porciento de remoción antes de la modificación en el departamento de clarificación de meladura en un 17%.

2. Las modificaciones realizadas en el departamento de clarificación de meladura, dan como resultado disminución de la turbidez de la meladura clarificada en un 33%, la turbidez de la meladura no clarificada un 21%, el color de azúcar Icumsa en un 2% y los galones de miel final por tonelada de caña molida en un 1%.

3. El color Icumsa del azúcar, estándar es directamente proporcional al porciento de remoción de turbidez y al color de la meladura clarificada antes y después de los cambios en el departamento de clarificación de meladura. Y su comportamiento esta dado por el modelo de correlación siguiente:

   Zafra 2007 - 2008
   Color Icumsa = 1,3631 * % de remoción de turbidez + 193,04
   Con un coeficiente de correlación r = 1

   Zafra 2008 - 2009
   Color Icumsa = 1,1139 * % de remoción de turbidez + 180,82
   Con un coeficiente de correlación r = 1

4. El proceso después de la modificación mejoró, ya que dio una capacidad del proceso antes de los cambios de 0,070 y después de 0,25, el cual puede mejorar, ya que para procesos existentes con dos límites, un valor recomendado es de 1,33.

RECOMENDACIONES

1. No es recomendable generalizar los resultados obtenidos en otros lugares que no sean donde se realizaron las pruebas, debido a que las características de clarificación de meladura y los materiales varían de un lugar a otro, por las diferentes variedades de la caña y condiciones locales; pero si demuestra que al controlar el flujo de aire que se aplica a la clarificación de meladura y tener agitación después de la dosificación de químicos se obtienen resultados favorables respecto a la calidad del azúcar.

2. Analizar otras variables que afecten el color Icumsa del azúcar estándar en el proceso de clarificación de meladura.

3. Hacer una correlación entre temperatura de meladura clarificada, cantidad de ácido fosfórico o cantidad de sacarato contra color de azúcar estandar en el departamento de clarificación de meladura para mejorar la calidad del azúcar estándar, ya que la capacidad de proceso calculada aún está debajo de 1,33, esto sugiere que hay potencial donde poder mejorar.

BIBLIOGRAFÍA

1. AYRES, Gilbert. *Análisis químico cuantitativo*. 2da ed. México: Harla, 1974, p. 150.

2. CHEN, James. *Cane sugar handbook*. 11va. ed. USA: Wiley IInterscience, 1985, p. 650.

3. CHEN, James C. P. *Manual del azúcar de caña*, México: Noriega, 1991, p. 180-186.

4. HONIG, Pieter. *Principios de tecnología azucarera*. México: Continental, 1969, p. 250.

5. HONIG, Pieter. *Principios de tecnología azucarera*, tomo I, primera edición en español; México: Compañía Editorial Continental, 1969, p. 205.

6. HUGOT, E. *Handbook of cane sugar engineering*. 2da. ed. Holanda: Elsevier, 1979, p. 115.

APÉNDICE

Tabla de requisitos académicos

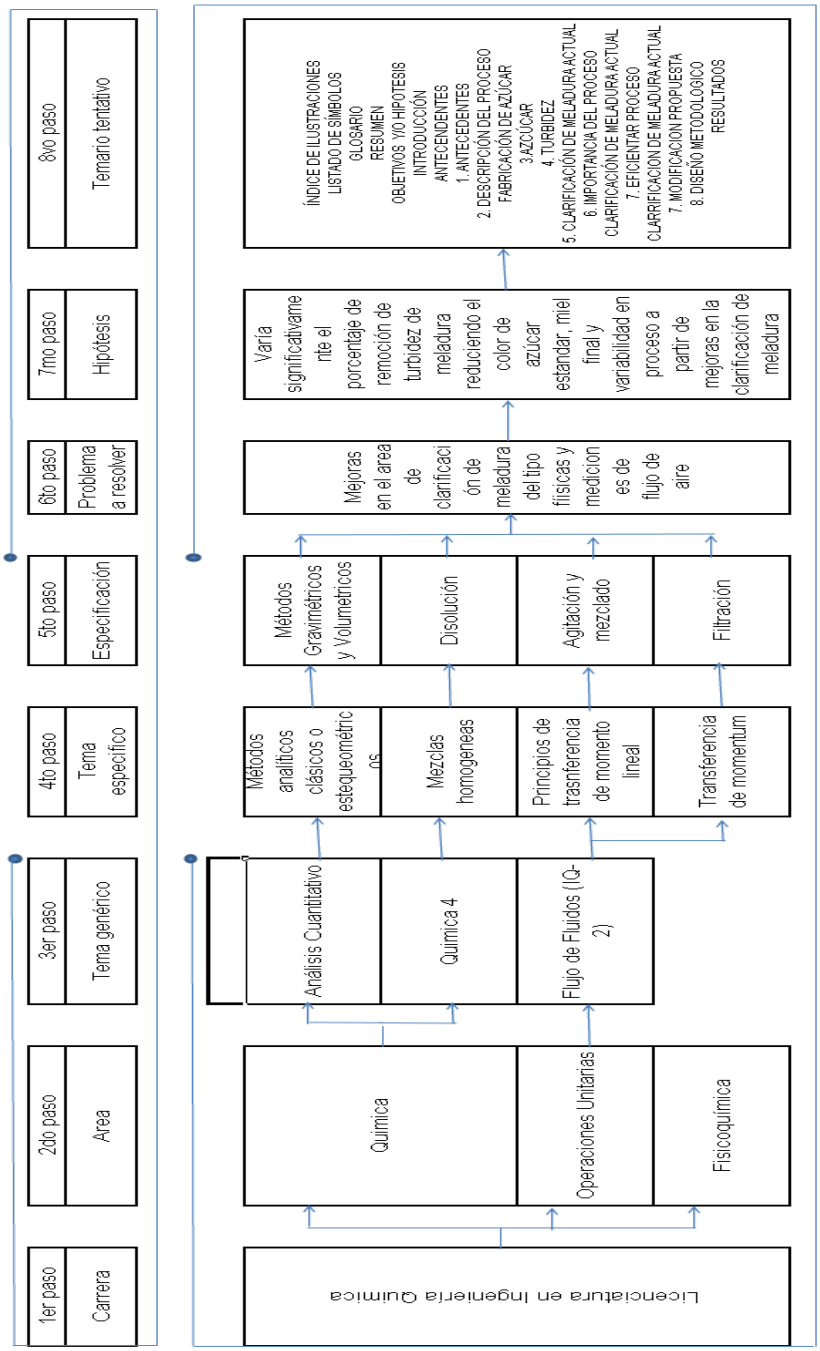
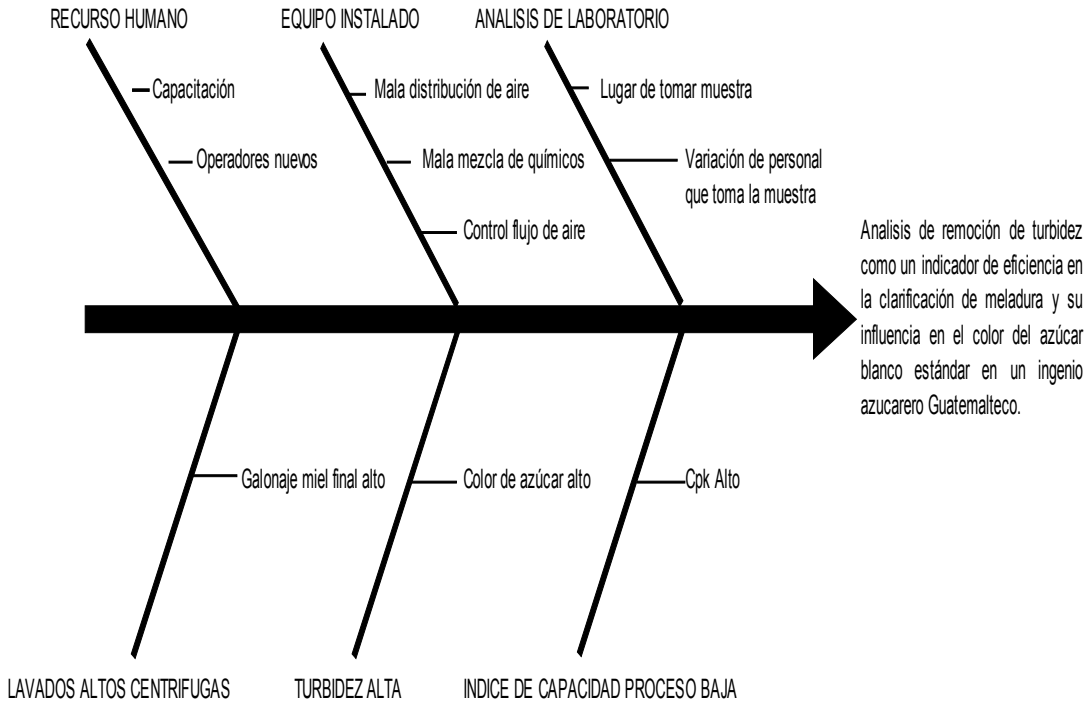


Diagrama de Ishikawa



ANÁLISIS DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO O ISHIKAWA

Como se observa en el diagrama de Ishikawa, existen varios problemas para llegar a concluir el trabajo de tesis planteado.

El primero, de ellos, es el análisis de laboratorio, que se basa en el lugar donde se toma la muestra, puede incidir, para ello están establecidos los lugares donde se toman las muestras antes de hacer las modificaciones y después.

El segundo, es el equipo instalado actual, se cuenta con equipo obsoleto de mezcla de químicos con la meladura, data del año 1971 cuando se monto el ingenio, se va a sustituir con un mezclador estático de última generación, dos tanques de agitación con aspas, ingreso de aire con unos discos girando a 1 760 rpm, todo este equipo se menciona más adelante. Aquí se determina que este es el principal problema, si se logra realizar una mejor mezcla se obtendrán buenos resultados.

El tercero, es el recurso humano, respecto a si hay personal nuevo y personal antiguo, se necesita capacitación, la cual está programada todos los años y esta forma se garantiza el minimizar errores (ver anexo No. 5).

El cuarto, es la turbidez de meladura alta, provoca un aumento en el color de azúcar estándar, se ha comprobado con datos de análisis del laboratorio que al subir la turbidez de meladura en rangos arriba de dos mil, el color Icumsa 4 del azúcar sube y se re-clasifica a crudo lo cual no es conveniente. Esto se elimina si se trabaja en el paso segundo.

El quinto, es los lavados de centrifugas *batch*, cuando los lavados suben hasta 18 segundos que es el máximo probado, estamos recirculando mieles al proceso, lo cual no conviene por la dextrana que tiene la miel, la inversión de azúcar y por saturar la capacidad instalada del ingenio. Esto se elimina si se trata convenientemente la clarificación de meladura y así bajan los lavados. En otras palabras el paso segundo.

Paralelo a estos problemas, está el denominado índice de capacidad del proceso, el cual es un cálculo estadístico sobre la capacidad del proceso para producir un resultado dentro de límites predefinidos, este necesita estar en valores cercanos a 1,33 teóricamente y así indicar que el proceso se encuentra óptimamente funcionando y no necesita hacer cambios para mejorarlo.

Existen otros como lo son el presupuesto, parte importante que hay que tomar en cuenta por los costos, la satisfacción de los consumidores que es la razón por la que se mejora el proceso, se toma en cuenta también la capacidad instalada de aumentar la producción por lo que se realiza la mejora.

Cpk antes de la modificación 0,070 y después de la modificación 0,0251

Turbidez de la meladura no clarificada y clarificada, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009

	Zafra 2007 – 2008		Zafra 2007 - 2008	
Días de zafra	No clarificada	Clarificada	No clarificada	Clarificada
1	7 899,00	7 594,56	8 077,50	7 084,40
2	7 582,00	7 333,25	9 400,00	7 881,00
3	7 123,00	6 502,30	7 988,00	5 363,25
4	8 120,00	7 480,64	5 211,00	3 909,67
5	8 977,00	8 239,23	7 456,00	4 933,40
6	8 735,00	7 894,49	8 361,00	5 975,83
7	8 905,00	7 996,00	6 376,80	5 037,17
8	8 825,00	8 045,67	6 530,00	2 827,50
9	6 578,00	6 045,21	6 170,33	3 916,00
10	5 605,00	2 777,34	6 083,50	2 238,67
11	4 988,00	3 290,97	5 681,00	2 542,67
12	4 388,00	1 540,88	6 071,00	2 647,00
13	5 671,00	4 125,33	7 677,00	2 588,80
14	8 120,00	4 166,00	7 607,83	2 264,83
15	5 716,00	4 945,11	7 345,17	2 120,67
16	8 386,00	4 500,00	7 643,33	2 473,83
17	7 200,00	4 211,19	7 544,00	3 985,33
18	7 470,00	3 840,55	5 52417	3 262,00
19	5 882,00	2 555,60	5 600,17	3 279,00
20	8 111,00	3 857,77	5 152,67	3 033,33
21	7 759,00	3 950,00	4 860,83	2 878,17
22	6 281,00	3 100,10	6 741,00	3 258,67
23	7 533,00	3 995,51	7 122,00	2 886,33
24	5 903,00	4 544,33	7 452,00	2 889,50
25	6 696,00	3 211,66	5 188,17	2 249,00
26	8 544,00	4 320,50	6 147,00	2 648,83
27	6 751,00	3 499,00	3 951,83	2 203,55
28	5 651,00	3 004,29	4 024,00	2 150,56
29	4 988,00	3 999,54	3 988,00	1 415,20
30	8 422,00	4 511,00	3 753,00	1 318,67
31	7 136,00	4 890,33	5 349,17	2 412,00
32	6 164,00	2 541,44	4 732,83	2 195,00
35	5,215,00	2 889,90	5 678,00	2 698,00
36	8,944,00	4 528,00	5 988,00	2 913,00
37	7,998,00	3 993,00	4 910,57	2 343,00
38				
39				

Continúa

	Zafra 2007 – 2008		Zafra 2007 – 2008	
Días de zafra	No clarificada	Clarificada	No clarificada	Clarificada
40				
41	5 617,00	3 233,32	5 868,00	2 353,00
42	7 005,00	2 450,69	4 004,33	2 123,00
43	6 719,00	2 318,14	4 522,17	2 253,00
44	6 254,00	2 237,77	5 299,50	2 053,00
45	5 770,00	3 456,87	4 166,17	2 500,00
46	7 508,00	3 500,28	3 837,00	2 239,00
47	5 971,00	3 482,00	4 363,33	2 554,00
48	5 851,00	2 893,00	6 122,00	2 922,00
49	6 950,00	4 704,00	4 187,67	2 141,00
50	6 116,00	2 750,00	4 711,00	2 395,00
51	6 867,00	4 207,00	7 664,17	2 228,67
52	6 334,00	2 186,54	6 142,17	2 464,00
53	5 276,00	3 631,00	5 539,50	2 288,00
54	6 800,00	3 663,00	3 898,83	2 146,00
55	7 459,00	2 895,00	5 696,17	2 019,00
56	7 204,00	3 225,00	5 149,00	2 514,00
57	5 894,00	2 881,00	5 544,33	2 407,00
58	5 437,00	3 156,00	8 064,83	2 083,50
59	5 261,00	2 095,00	9 519,33	2 183,00
60	5 759,00	4 974,00	6 954,17	2 595,00
61	7 166,00	2 153,00	5 644,50	2 722,00
62	5 435,00	2 479,00	4 245,00	2 333,00
63	5 649,00	4 411,00	4 469,67	2 332,00
64	5 992,00	2 792,00	5 074,17	2 614,00
65	6 639,00	3 251,00	5 038,17	2 606,00
66	5 835,00	2 009,00	5 870,17	2 568,00
67	6 166,00	4 130,00	5 503,00	2 717,00
68	5 626,00	2 592,00	5 002,00	2 444,00
69	5 551,00	3 398,00	4 001,67	2 297,00
70	6 109,00	2 342,00	4 591,00	2 280,00
71	5 632,00	1 982,00	4 239,00	2 040,00
72	7 872,00	4 806,00	5 977,00	2 920,00
73	6 391,00	2 907,00	4 565,17	2 691,00
74	6 968,00	3 524,00	6 007,00	2 943,00
75	7 352,00	2 652,00	5 506,67	2 972,00
76	7 455,00	2 987,00	2 642,67	1 439,50
77	7 275,00	2 633,00	3 833,50	1 600,67
78	6 176,00	4 543,00	3 924,67	1 988,33
79	7 575,00	2 536,00	3 795,33	1 043,67

Continúa

	Zafra 2007 – 2008		Zafra 2007 – 2008	
Días de zafra	No clarificada	Clarificada	No clarificada	Clarificada
80	6 707,00	3 233,00	3 323,50	1 544,50
81	6 989,00	2 719,00	2 566,00	1 025,36
82	7 020,00	3 713,00	5 029,67	2 127,00
83	6 282,00	3 506,00	3 465,83	1 316,50
84	6 001,00	2 831,00	3 655,00	1 511,44
85	6 490,00	2 305,00	3 782,00	2 245,50
86	5 633,00	2 776,00	2 966,00	1 203,33
87	6 091,00	2 038,00	4 630,00	2 238,33
88	5 282,00	2 181,00	6 704,67	2 362,00
89	5 613,00	3 249,00	2 988,00	1 148,50
90	4 794,00	2 054,00	2 478,00	1 137,67
91	6 105,00	3 697,00	2 366,00	1 145,50
92	4 468,00	2 252,00	4 183,00	1 799,60
93	4 164,00	3 281,00	2 971,00	1 363,50
94	5 299,00	3 632,00	2 444,00	1 040,17
95	5 264,00	3 264,00	1 996,00	999,63
96	5 141,00	3 215,00	3 620,00	1 732,00
97	5 484,00	2 873,00	4 723,00	2 258,00
98	4 363,00	3 680,00	6 120,00	2 981,17
99	4 714,00	2 515,00	5 490,00	2 600,67
100	4 300,00	1 921,00	5 927,00	2 728,83
101	4 849,00	2 044,00	5 777,33	2 286,33
102	4 763,00	2 448,00	6 100,00	2 752,83
103	4 359,00	1 928,00	5 560,00	2 128,83
104	3 907,00	2 918,00	4 552,50	1 690,17
105	5 206,00	3 759,00	4 478,67	2 659,67
106	4 581,00	2 393,00	5 694,00	2 823,83
107	5 079,00	2 902,00	3 612,83	1 936,00
108	3 880,00	2 728,00	4 358,67	1 456,58
109	6 277,00	3 039,00	3 577,00	1 622,50
110	5 696,00	2 364,00	3 080,00	1 155,33
111	5 148,00	3 674,00	2 278,83	978,67
112	4 623,00	3 628,00	2 585,83	961,00
113	4 151,00	2 882,00	2 836,00	1 604,33
114	5 666,00	2 286,00	4 272,83	1 333,67
115	5 128,00	2 186,00	3 414,33	1 711,45
116	3 733,00	2 828,00	2 517,83	1 483,50
117	4 806,00	2 887,00	4 357,33	1 733,33
118	5 053,00	3 595,00	3 288,00	1 566,33
119	5 200,00	2 197,00	2 790,50	1 315,83

Continúa

	Zafra 2007 – 2008		Zafra 2007 - 2008	
Días de zafra	No clarificada	Clarificada	No clarificada	Clarificada
120	5 958,00	3 547,00	3 735,50	1 611,50
121	6 013,00	3 110,00	2 020,83	1 184,33
122	5 364,00	3 377,00	2 850,00	1 331,67
123	6 078,00	2 969,00	2 693,00	1 200,33
124	3 899,00	2 022,00	2 514,67	1 393,00
125	4 246,00	3 307,00	2 087,00	956,50
126	4 973,00	2 090,00	2 977,00	1 477,00
127	3 682,00	2 632,00	5 111,00	2 457,67
128	4 599,00	3 298,00	2 234,17	1 348,33
129	6 231,00	2 876,00	3 098,17	1 395,83
130	4 066,00	3 217,00	2 591,83	1 235,00
131	5 846,00	2 729,00	2 704,60	1 551,20
132	4 639,00	2 072,00	4 379,00	2 015,00
133	5 211,00	3 067,00	3 919,00	1 933,00
134	6 389,00	3 519,00	3 500,00	1 946,67
135	6 066,00	2 266,00	3 128,00	1 525,83
136	3 966,00	1 922,00	4 009,00	1 915,50
137	4 375,00	2 706,00	3 652,50	1 599,00
138	5 237,00	3 386,00	3 120,00	1 501,83
139	4 451,00	2 091,00	2 544,00	1 112,50
140	4 953,00	2 467,00	3 259,00	1 581,67
141	4 135,00	3 092,00	3 488,00	1 624,00
142	4 158,00	2 942,00	2 652,00	996,37

Color del azúcar estándar, zafras 2007-2008 y 2008-2009

	ZAFRA 2007 - 2008	ZAFRA 2008 - 2009
Días de zafra	color	Color
1	275	226
2	264	244
3	271	251
4	255	242
5	263	198
6	269	203
7	281	244
8	277	256
9	271	266
10	271	270
11	251	253
12	205	251
13	244	230
14	230	248
15	225	248
16	241	235
17	233	241
18	229	217
19	218	211
20	236	241
21	211	221
22	207	240
23	204	209
24	213	217
25	218	204
26	206	240
27	211	221
28	224	223
29	219	236
30	205	215
31	225	205
32	240	213
33	243	221
34	241	214
35	201	198
36	228	195
37	255	242
38		
39		

Continúa

	ZAFRA 2007 - 2008	ZAFRA 2008 - 2009
Días de zafra	color	color
40		
41	271	247
42	240	216
43	260	223
44	254	215
45	277	221
46	263	221
47	258	204
48	249	224
49	260	219
50	262	216
51	221	199
52	232	225
53	247	236
54	214	223
55	223	217
56	221	237
57	227	242
58	220	211
59	234	232
60	198	218
61	205	239
62	215	225
63	218	214
64	209	242
65	223	218
66	233	221
67	248	214
68	199	212
69	207	238
70	200	224
71	216	223
72	221	229
73	221	236
74	206	227
75	214	243
76	225	224

Continúa

	ZAFRA 2007 - 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	color	Color
77	207	226
78	221	231
79	244	235
80	204	221
81	219	229
82	216	228
83	228	219
84	210	227
85	226	231
86	235	238
87	234	221
88	226	219
89	210	224
90	213	225
91	219	217
92	199	258
93	218	256
94	212	237
95	203	205
96	200	216
97	219	222
98	230	250
99	216	222
100	255	209
101	246	236
102	267	240
103	253	235
104	241	237
105	255	273
106	226	255
107	270	218
108	279	221
109	279	236
110	221	227
111	219	232
112	249	220
113	289	247

Continúa

	ZAFRA 2007 - 2008	ZAFRA 2008 - 2009
Días de zafra	color	Color
114	284	241
115	225	243
116	239	247
117	255	222
118	240	226
119	228	238
120	258	275
121	254	237
122	248	228
123	275	223
124	271	240
125	266	201
126	254	221
127	247	263
128	250	257
129	244	208
130	237	230
131	239	236
132	224	228
133	250	259
134	234	229
135	232	207
136	228	208
137	219	240
138	205	218
139	210	209
140	219	236
141	225	245
142	235	234

Galones de miel final por tonelada de caña molida, zafras 2007 – 2008 y 2008 – 2009

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	galones/ton caña	galones/ton caña
1	6,7	6,66
2	6,44	6,45
3	7,10	7,54
4	6,33	6,25
5	6,04	5,34
6	5,52	5,24
7	6,44	5,13
8	6,75	5,11
9	7,04	5,50
10	6,83	5,03
11	6,44	5,05
12	6,15	5,53
13	6,21	5,46
14	6,40	5,32
15	6,11	6,55
16	6,21	5,77
17	6,11	5,63
18	6,26	5,37
19	6,22	5,44
20	6,20	5,66
21	6,03	5,32
22	6,11	5,04
23	6,04	5,85
24	5,97	6,16
25	5,96	6,08
26	6,08	6,61
27	5,92	6,15
28	5,98	6,47
29	6,07	6,28
30	6,28	5,89
31	6,18	5,93
32	5,92	6,28
33	6,01	5,91
34	5,61	6,40
35	6,29	6,02
36	6,06	6,10
37	5,60	7,10

Continúa

	ZAFRA 2007 – 2008	AFRA 2008 – 2009
Días de zafra	galones/ton caña	galones/ton caña
38		
39		
40		
41	5,99	6,40
42	6,37	6,07
43	6,22	6,27
44	6,11	6,49
45	6,06	6,96
46	6,22	6,76
47	5,91	6,83
48	6,39	6,66
49	6,53	6,40
50	6,60	6,11
51	7,52	6,29
52	7,72	6,39
53	7,04	6,67
54	7,30	6,74
55	7,26	6,25
56	6,44	6,13
57	6,50	6,47
58	6,57	6,59
59	6,50	6,77
60	6,50	6,50
61	6,31	6,22
62	5,72	6,55
63	5,88	6,89
64	6,50	6,97
65	6,70	6,99
66	6,93	6,43
67	7,08	6,34
68	7,12	6,17
69	6,88	6,27
70	6,68	6,24
71	6,42	6,35
72	6,52	6,52
73	6,48	6,55
74	6,75	6,62
75	6,90	5,92
76	7,43	6,08
77	7,76	5,81

Continúa

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	galones/ton caña	galones/ton caña
78	7,30	6,37
79	7,15	6,37
80	6,84	6,04
81	6,75	6,65
82	6,53	6,75
83	6,79	6,79
84	6,71	6,91
85	6,47	6,91
86	6,62	6,84
87	6,94	6,54
88	7,19	6,29
89	7,96	6,40
90	8,38	6,62
91	7,86	6,80
92	6,86	6,88
93	7,08	6,98
94	6,89	6,42
95	7,14	6,29
96	7,47	6,58
97	8,13	6,22
98	7,76	6,28
99	7,40	6,39
100	7,32	6,10
101	7,95	6,20
102	8,02	6,68
103	7,17	6,63
104	7,22	6,88
105	6,55	6,75
106	6,49	6,53
107	6,46	6,84
108	6,79	7,56
109	7,23	7,46
110	6,96	7,00
111	6,80	7,05
112	6,64	7,02
113	6,53	6,85
114	6,38	6,88
115	6,50	6,51
116	6,22	6,37
117	5,48	6,17

Continúa

	ZAFRA 2007 – 2008	ZAFRA 2008 – 2009
Días de zafra	galones/ton caña	galones/ton caña
118	6,00	6,32
119	596	6,27
120	6,30	6,49
121	6,11	6,70
122	6,48	6,79
123	7,21	6,72
124	7,10	6,82
125	7,22	6,87
126	6,90	6,48
127	6,87	6,62
128	6,84	6,35
129	7,38	6,59
130	6,44	6,42
131	6,61	6,51
132	6,50	6,75
133	6,23	7,10
134	5,83	7,26
135	6,06	6,80
136	5,87	6,74
137	6,47	6,72
138	6,76	6,23
139	6,76	5,66
140	6,39	6,03
141	6,20	6,60
142	6,00	7,15