



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

**ANÁLISIS PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS EN EL ÁREA
DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO PALO GORDO, S.A.**

Alex Josué López Mazariegos
Asesorado por el Ing. Sergio Alejandro Recinos

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS EN EL ÁREA
DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO PALO GORDO, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALEX JOSUÉ LÓPEZ MAZARIEGOS

ASESORADO POR EL ING. SERGIO ALEJANDRO RECINOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera Lopez

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 PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS EN EL ÁREA DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO PALO GORDO, S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 13 de septiembre de 2016.



Alex Josué López Mazariegos



Guatemala, 28 de abril de 2017.
Ref.EPS.D.115.04.17.

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

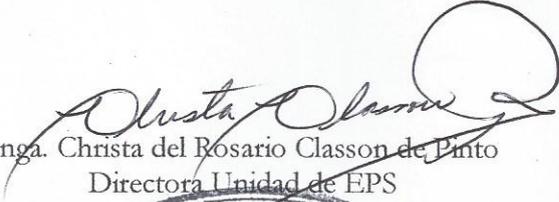
Estimado Ingeniero Wong Davi.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"ANÁLISIS PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS EN EL ÁREA DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO PALO GORDO, S.A."** que fue desarrollado por el estudiante universitario Alex Josué López Mazariegos, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

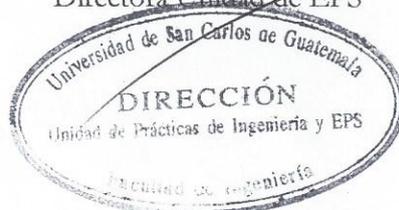
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CdRCdP/ra



Guatemala 24 de octubre de 2017

Ing. Carlos Salvador Wong
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong.

Por este medio atentamente le comunico que apruebo el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "ÁNÁLISIS PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS EN EL ÁREA DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO PALO GORDO, S.A." que fue desarrollado por el estudiante de ingeniería química Alex Josué López Mazariegos con carnet 201122775 y DPI 2376 084801209, quien fue asesorado por mi persona.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos del informe mencionado, en mi calidad de asesor apruebo su contenido solicitándole darle tramite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Ing. Quim. Sergio Alejandro Recinos
Colegiado No. 742



Ing. Sergio Recinos

Asesor



Guatemala, 03 de noviembre de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.047.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **047-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Ejercicio Profesional Supervisado-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Alex Josué López Mazariegos**.
Identificado con número de carné: **2011-22775**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**ANÁLISIS PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS
EN EL ÁREA DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO
PALO GORDO, S.A.**

El Trabajo de Graduación es asesorado por el Ingeniero Químico: **Sergio Alejandro Recinos**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.007.2018

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 Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la **carrera de Ingeniería Química** del estudiante **ALEX JOSUÉ LÓPEZ MAZARIEGOS** titulado: **“ANÁLISIS PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS EN EL ÁREA DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO PALO GORDO, S.A.”** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
 DIRECTOR

Guatemala, marzo de 2018

Cc: Archivo
 CSWD/ale



Universidad de San Carlos
De Guatemala

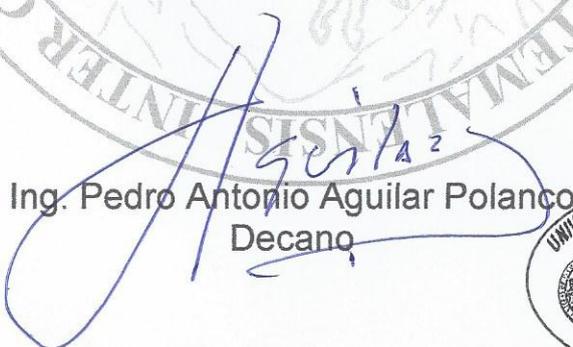


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.110.2018

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 PARA MEJORAR EL AGOTAMIENTO DE SACAROSA EN MASAS EN EL ÁREA DE TACHOS Y EFICACIA EN LA OPERACIÓN EN INGENIO PALO GORDO, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Alex Josué López Mazariegos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el guía en la etapa de estudiante y darme las oportunidades que me permitieron llegar a este día.
- Mis padres** Fernando López y Teresa Mazariegos, por su apoyo y su amor será siempre mi inspiración.
- Mis hermanos** Luis López y Angélica López, por estar incondicionalmente al pendiente de mí.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una fuente de aprendizaje y formación para toda persona que lo busca.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos sobre mi carrera y permitirme conocer a mis amigos.
Mis amigas	Paola Méndez, Stefanie Montenegro, Andrea Velásquez, María Rivas, Mónica Carrillo, Cesia de León, Ligia Fletes, Marybeth Rodríguez, María Morales. Por el apoyo de brindado en cada ocasión.
Mis amigos	Ronald Echeverría, Cristian Méndez, Manuel Ruano, José Reyes, David García, Daniel Mellado, Byron Yat, Harry Pérez, Sergio Mancilla, Rafael Castillo, Daniel Grande. Por el apoyo y compañerismo durante la carrera universitaria.
Ingenio Palo Gordo	Por darme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado.
Lic. Ileana Lima Ricci	Por el apoyo brindado y confiar en mí en el inicio una nueva etapa en mi vida profesional.

Ing. Marino Mendoza

Por ser una importante influencia y por el apoyo en mi desempeño como profesional.

Ing. Sergio Recinos

Por ser mi asesor y apoyarme en distintas tomas de decisiones.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Cristalización	3
2.1.1. Solubilidad y sobresaturación	3
2.1.2. Nucleación y crecimiento de cristales.....	3
2.1.3. El proceso de cristalización	4
2.2. Objetivos de la casa de cocimientos	5
2.3. Efecto del agotamiento de la masa cocida y el rendimiento de cristales	5
2.4. Factores que afectan la cantidad de masa cocida C	6
2.5. Control de evapo-cristalizadores discontinuos	7
2.6. Equipos auxiliares en las estaciones de cocimientos	8
2.6.1. Acondicionamiento de mieles	8
2.6.2. Tanques de alimentación.....	8
2.6.3. Tanques de almacenamiento.....	9
2.6.4. Sistemas de transferencia	9

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	11
3.1.	Variables	11
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	11
3.3.	Recursos humanos disponibles	11
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	12
3.4.1.	Equipo de oficina.....	12
3.4.2.	Equipo de laboratorio y medición	13
3.4.3.	Equipo del área de producción.....	13
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	13
3.5.1.	Obtención de Brix en masas y mieles	14
3.5.1.1.	Materiales y equipo	14
3.5.1.2.	Desarrollo	14
3.5.1.3.	Cálculo de brix de la muestra	15
3.5.2.	Obtención de pol en masas y mieles.....	15
3.5.2.1.	Materiales y equipo	15
3.5.2.2.	Desarrollo	15
3.5.2.3.	Calculo de pol de la muestra	16
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	17
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	20
3.8.	Análisis estadístico.....	21
4.	RESULTADOS.....	23
4.1.	Diagrama de flujo de cristalización.....	23
4.2.	Agotamientos promedio de masas de primera.....	24
4.3.	Agotamiento promedio de masas de segunda	25
4.4.	Agotamiento promedio de masas de tercera.....	26
4.5.	Tiempos promedio de cocimiento de masa de segunda	27
4.6.	Turnos de trabajo a tomar en cuenta en documentación	28

4.7.	Documentación del proceso de cristalización.....	28
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	49
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	51
	CONCLUSIONES.....	53
	RECOMENDACIONES.....	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57
	APÉNDICES.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de flujo de cristalización que se opera en el ingenio.....	23
2.	Gráfica comparativa de agotamiento promedio de masa de primera por turno de trabajo	24
3.	Gráfica comparativa de agotamiento promedio de masa de segunda por turno de trabajo	25
4.	Gráfica comparativa de agotamiento promedio de masa de tercera por turno de trabajo	26
5.	Gráfica comparativa de tiempo de cocimiento promedio de masa de segunda por turno de trabajo	27

TABLAS

I.	Variables relacionadas al proyecto	11
II.	Registro de datos para muestreo de masa de primera	17
III.	Registro de datos para muestreo de masa de segunda.....	18
IV.	Registro de datos para muestreo de masa de tercera	18
V.	Registro de resultados obtenidos en laboratorio de masas y mieles de primera	19
VI.	Registro de resultados obtenidos en laboratorio de masas y mieles de segunda	19
VII.	Registro de resultados obtenidos en laboratorio de masas y mieles de tercera	20
VIII.	Agotamiento promedio por turno de masa A.....	24

IX. Agotamiento promedio por turno de masa B25

X. Agotamiento promedio por turno de masa C26

XI. Tiempo promedio de cocimiento de masas de segunda en área de
tachos27

XII. Turno de trabajo que se utilizaran como referencia para
documentar según el tipo de masa28

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Gramo
h	Hora
Kg	Kilogramo
m	Metro
m³	Metro cúbico
mg	Miligramo

GLOSARIO

Azúcar	Se denomina así al cristal producto de la caña de azúcar que ya pasó por un proceso de fabricación que cumple con características establecidas para el comercio.
Agotamiento	Diferencia entre purezas de masa cocida y su respectiva miel centrifugada.
Brix	Contenido de sólidos solubles en determinada muestra.
Centrífuga	Son máquinas dotadas de una canasta cilíndrica giratoria forrada internamente por una delgada tela de cobre o acero inoxidable perforada con infinidad de agujeros de pequeño diámetro que permiten el paso de la miel a la vez que retienen los cristales de azúcar. La separación se da a partir de la fuerza centrífuga que se genera en la máquina por el giro de la canasta a gran velocidad.
Cristalización	La cristalización consiste básicamente en la formación de los cristales de azúcar a partir de diferentes mieles. El proceso se efectúa en evaporadores al vacío de efecto sencillo comúnmente llamados tachos.

Meladura	Solución de concentrada de sacarosa, es el producto de la etapa de evaporación.
Pol	Termino utilizado en la industria azucarera para expresar el porcentaje aparente de sacarosa presente en determinada muestra.
Pureza	Relación de sacarosa y sólidos solubles, indica en la cantidad de sacarosa presente en el total de sólidos solubles.
Tacho	Vaso de cocción en vacío, en el cual se cristaliza la sacarosa contenida la solución azucarada.

RESUMEN

La medición de agotamiento de masas en el área de cristalización de azúcar es una manera de dar seguimiento al buen manejo de recursos de la materia prima y del equipo de producción; de igual manera ayuda a saber los momentos o los turnos cuando hay una deficiencia en el aprovechamiento de los recursos.

Se realizaron mediciones de agotamientos para los tres tipos de masas en una empresa de producción de azúcar para determinar el turno de trabajo en el que se encuentra el mayor aprovechamiento de recursos y la medición del tiempo de cocimiento de las masas en los procesos batch para saber el turno en que se da el menor tiempo de cocimiento ya que el tiempo cuenta como un recurso valioso en la mayoría de industrias.

La toma de datos se realizó en el periodo de marzo a abril de la zafra 2015/2016; en esa etapa de la época de zafra las condiciones de la materia prima que ingresaba a la empresa se mantenían estables ya que no se contaba con presencia de lluvia que puede modificar las condiciones de la caña y otros aspectos.

Las mediciones se realizaron por medio del muestreo de las masas recién terminado el cocimiento y el muestreo de su miel recién centrifugada; luego, en el laboratorio, con ayuda de los equipos de laboratorio, refractómetro y polarímetro, se pudo determinar la pureza de cada muestra. Se elaboró el diagrama de flujo del proceso de cristalización y se señaló el recorrido para la

elaboración de los cristales de azúcar. Las mediciones de agotamiento partículas fueron realizadas para los tres tipos de masas: A, B y C.

Los turnos donde se da el mejor manejo de recursos para las masas son: masa A, turno A; masa B turno A y masa C, turno B. Sabiendo en que turnos se opera de mejor manera, se realizó la documentación de trabajo del turno que maneja de mejor manera cada masa; diseño, esta documentación será el nuevo manual de procedimiento para el área de cristalización. Al evaluar los resultados de agotamientos al finalizar la época de zafra, se realizaron propuestas de cambios de algunos equipos para mejorar el agotamiento en masa de tercera.

OBJETIVOS

General

Mejorar el agotamiento de sacarosa de las masas en la cristalización y aumentar la eficacia de la operación y encontrar el mejor procedimiento de manejo de los equipos de producción por parte de los operadores.

Específicos

1. Hacer un diagrama de flujo del proceso de cristalización que se da en Ingenio Palo Gordo, S.A., para facilitar el entendimiento del proceso.
2. Medir el agotamiento de masas y tiempo de cocimiento en cada etapa de cristalización.
3. Encontrar en que turnos de trabajo se da el mayor agotamiento de masas de cada etapa de cristalización.
4. Encontrar en que turnos de trabajo se obtiene menor tiempo de cocimiento de masas de cada etapa de cristalización.
5. Crear una metodología de trabajo a partir de la integración de las mejores metodologías de trabajo y criterios usados por los operadores.

Hipótesis

Es posible determinar cuál es el turno de trabajo que obtiene el mayor agotamiento de sacarosa en el cocimiento de masas en el área de cristalización. Esta información es el punto de partida para establecer un procedimiento de trabajo.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera es una amplia industria encargada desde la extracción de jugo de la caña de azúcar hasta la producción de azúcar y otros productos como etanol y electricidad, los cuales se comercializan en el mercado nacional e internacional con el fin de satisfacer distintas necesidades diarias de la población. En el proceso de producción de azúcar se tiene una amplia cantidad de etapas que son necesarias llevar a cabo de la mejor manera para cumplir con los requerimientos de calidad del producto, mejor aprovechamiento de la materia prima y darles mejor uso a los recursos en la fabricación. El proceso de fabricación de azúcar varía según el tipo de azúcar que se esté produciendo, en Ingenio Palo Gordo se produce azúcar blanco, azúcar crudo, azúcar morena, las principales variaciones pueden ser la etapa de clarificación de meladura y el tamaño de cristal de azúcar final. Una etapa fundamental en la producción de azúcar es la de cristalización en tachos (cristalizadores), el agotamiento de sacarosa en las masas debe ser lo mayor posible porque se traduce en un mejor aprovechamiento de la materia prima y en gran parte este proceso depende del criterio y experiencia de los operadores, ya que son tres turnos distintos al día, pueden ser criterios diferentes y por lo tanto según varía el manejo del equipo puede variar el agotamiento.

Se pretende unificar criterios y procedimientos que incluye tomar en cuenta condiciones de trabajo como presión, temperatura y vacío para ver el comportamiento del tacho si varía al cambiar las condiciones mencionadas. El muestreo se realizará en los tres turnos de trabajo en un periodo de tiempo en que los recursos y condiciones de trabajo sean uniformes. Con base en el

procedimiento que muestre un mayor agotamiento en las masas se le dará prioridad, se le complementará y se utilizará como método de trabajo.

1. ANTECEDENTES

En Ingenio Palo Gordo, S.A., año con año se plantean metas con el fin de aumentar la productividad para en darle el mejor uso a todos los recursos e implementar nuevos equipos y procedimientos.

En años anteriores se estableció un uso específico para cada tacho, es decir, a todos los tachos, aun con la capacidad de realizar las mismas tareas se les asignó usos específicos en el proceso de cristalización con el fin de que materiales residuales de menor pureza no afecten la pureza del siguiente lote a cocer; por lo tanto, requiere mayor tiempo para concentrar y obtener un agotamiento en masas óptimo.

En el año 2013 se instaló un tacho continuo de tercera y cristizador vertical con el fin de disminuir los tiempos de cocimiento y tener un mayor agotamiento de masas. La instalación fue realizada por organizaciones externas y personal del ingenio.

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se definirá que es cristalización y su proceso de formación. Se conceptualizará también sobre factores que influyen en su formación como las condiciones de trabajo y los equipos.

2.1. Cristalización

2.1.1. Solubilidad y sobresaturación

La sacarosa tiene una elevada solubilidad en agua. Una solución saturada de sacarosa se encuentra en equilibrio termodinámico con la fase sólida de sacarosa y contiene alrededor de dos partes de sacarosa por cada parte de agua a temperatura ambiente y casi cinco partes de sacarosa por cada parte de agua a 100 °C. Para cristalizar la sacarosa se requiere elevar su concentración por encima de aquella correspondiente a una solución saturada y llevarla en forma regulada y con precisión a la concentración requerida para lograr la cristalización deseada. Por lo tanto, es importante establecer la concentración de sacarosa en solución saturada bajo las condiciones de operación.

2.1.2. Nucleación y crecimiento de cristales

Es un proceso cinético de reacción, donde la fuerza impulsora es el grado de sobresaturación. Las moléculas de sacarosa en solución tienen que esparcirse o difundirse hasta el cristal y luego ser incorporadas en la estructura

reticular del cristal; por lo tanto, la proporción de cristalización depende de estos dos procesos.

2.1.3. El proceso de cristalización

La cristalización en las fábricas se produce bajo vacío e involucra procesos simultáneos de transferencia de masa y evaporación. El vacío es necesario para mantener la temperatura a un nivel suficientemente bajo que permita minimizar la formación de color y la inversión o degradación de sacarosa en el proceso.

Al iniciar un cocimiento discontinuo o *batch*, el licor se concentra hasta alcanzar la zona metaestable. La cristalización se inicia adicionando semillas muy finas en forma de suspensión las cuales proporcionan sitios de nucleación para comenzar la cristalización. A partir de entonces, la concentración de licor madre se descontrola de manera que la cristalización ocurra sin disolver ningún cristal y sin formación de nuevos núcleos (falso grano). Para esto se requiere establecer suficiente área superficial de cristales y regular la alimentación del tacho para controlar la concentración del licor madre.

Tradicionalmente, este proceso se ha efectuado empleando tachos discontinuos, pero recientemente se han introducido sistemas continuos. Sin embargo, la etapa inicial de cristalización se realiza aún de manera discontinua. En algunas ocasiones el proceso comienza partiendo de un magma o pie de templa, es decir, una mezcla de licor y cristales de un cocimiento previo evitando así el proceso de semillamiento.

2.2. Objetivos de la casa de cocimientos

El proceso de cristalización en una fábrica de azúcar crudo debe cristalizar tanto azúcar como sea posible de la meladura proveniente de los evaporadores. El azúcar tiene que ser producido con la calidad requerida y el contenido de azúcar en miel final de ser tan bajo como sea posible, dado que cualquier azúcar remanente en estas mieles es una pérdida operacional. La cristalización se debe realizar en varias etapas para lograr reducir aceptablemente el contenido de sacarosa en miel final.

Las operaciones necesitan también ser conducidas de manera que se cumplan las metas de producción. Esto requiere alcanzar ciertas metas de eficiencia de cristalización, de manera que los equipos instalados no constituyan cuellos de botella. Al mismo tiempo, se debe tener cuidado para asegurar que la cantidad de vapor utilizada en el proceso no resulte excesiva. Generalmente una cristalización eficiente minimiza el consumo de vapor.

La calidad del azúcar es afectada por la calidad de la meladura a procesar, específicamente, por su pureza, color y turbiedad. Obtener una eficiencia de cristalización elevada implica la producción de la máxima cantidad de cristales de azúcar en cada etapa de cristalización. Un agotamiento elevado en cada etapa minimiza la cantidad de masa cocida a ser procesada, lo cual a su vez minimiza el uso de vapor y la capacidad requerida en tachos y centrifugas.

2.3. Efecto del agotamiento de la masa cocida y el rendimiento de cristales

El agotamiento que se logra en los cocimientos de alta pureza, particularmente de masa A, tiene un efecto sustancial sobre la cantidad total de

masas cocidas. Es importante obtener el máximo agotamiento, que se logra al tener el máximo contenido posible de cristales en el primer cocimiento.

El efecto de agotamiento de la masa cocida B es mucho menor que el efecto del agotamiento A, pero es aún importante. Un elevado agotamiento no solo lleva a menores cantidades de masa cocida y por consiguiente, menores requerimientos de capacidad en los tachos; también, conduce a menor recirculación, por lo tanto, menor degradación y pérdidas de sacarosa durante los cocimientos.

2.4. Factores que afectan la cantidad de masa cocida C

Existen únicamente tres factores que influyen la cantidad de masa cocida C a ser procesada:

- El más significativo es la pureza de la meladura suministrada a la estación de evapo-cristalizadores; la cantidad de masa cocida C es directamente proporcional a la carga de impurezas.
- El segundo factor más significativo es la pureza de la misma masa cocida C; una menor pureza de la masa C conduce a menor cantidad de la misma.
- La cantidad de masa cocida C es afectada en menor grado por la pureza del azúcar C que se recicla a los cocimientos de alta pureza.

2.5. Control de evapo-cristalizadores discontinuos

La automatización del proceso en tachos conduce a resultados consistentes; cuando la configuración es óptima permite lograr buenos agotamientos, buena calidad del azúcar y máxima capacidad de los equipos. Dado que cualquiera de los tachos discontinuos puede desempeñar una o todas las diferentes etapas del ciclo de cocimiento (formación de grano, desarrollo de templa, evaporación final o apriete) con diferentes grados de masa cocida (A, B, C); las recetas necesarias para cada tipo de cocimiento deben estar disponibles para cada tacho.

La presión absoluta se controla mediante regulación del flujo de agua de inyección al condensador. El valor objetivo (*setpoint*) normalmente se mantiene constante a lo largo de la templa; también, puede variar durante el ciclo de cocimiento, particularmente en los tachos de refinería. El control de nivel se opera durante el llenado, al mismo tiempo que controla el nivel durante el período de concentración previo a la formación de grano, mediante regulación de la válvula de alimentación.

Una vez que se alcanza la concentración correcta para la formación del grano, el tacho se mantiene a esta concentración durante cierto tiempo para permitir que se establezcan las condiciones. Posteriormente, el sistema de control puede abrir la válvula de suspensión o slurry de semillamiento de forma automática, admitiendo la carga de slurry que el operador ha puesto en el embudo de alimentación. Algunos operadores prefieren que esto se pueda hacer de forma manual por el tachero, que es alertado por una alarma de 'listo'.

2.6. Equipos auxiliares en las estaciones de cocimientos

2.6.1. Acondicionamiento de mieles

Una práctica común es acondicionar las mieles A y B antes de ser alimentadas a los tachos. Esto involucra una reducción de la concentración de sólidos disueltos y el calentamiento de la miel hasta una temperatura constante. Frecuentemente, se utiliza una combinación de 70 °C y 70 Brix; los valores estables de estos parámetros facilitan el control de las condiciones en el tacho, debe ser calentado para minimizar la inversión de sacarosa. La dilución de las mieles de esta manera conduce a una mayor demanda de vapor en el tacho, la cual puede reducirse en casos donde la economía de vapor tiene alta prioridad.

Los tanques de acondicionamiento están diseñados para alcanzar la temperatura y concentración requeridas, además de proporcionar el tiempo de residencia suficiente para que se disuelvan los cristales pequeños que puedan estar presentes en la miel. La mejor forma de lograrlo es si el recipiente donde la miel es calentada y diluida cuenta con buena agitación. Posteriormente, se dispone de una sección de flujo tipo pistón que lleva hasta la descarga hacia los tachos, proporcionando el tiempo de residencia requerido.

2.6.2. Tanques de alimentación

La meladura y mieles A y B se suelen almacenar en tanques localizados en la planta baja, mientras que se cuenta con pequeños tanques de alimentación ubicados al nivel de la estación de cocimientos desde los cuales se envía el material de alimentación a los tachos. El mantener una altura constante en los tanques de alimentación ayuda a facilitar el control de los

tachos. Esto se puede lograr desbordando continuamente una pequeña proporción del material a la planta baja.

Para almacenar magma B o C usando como pie de templa para los tachos se necesitan tanques. Estos son usualmente recipientes abiertos con sección en forma de U, provistos con un elemento agitador que gira aproximadamente a 1 min^{-1} . Los tanques se dimensionan poder acumular el volumen de la carga de cristales para los tachos discontinuos.

2.6.3. Tanques de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento necesaria para meladura y mieles A y B depende en gran medida de lo requerido para facilitar el arranque y la liquidación. Para una fábrica que muele caña continuamente, la capacidad de almacenamiento necesaria solo debe ser suficiente para lidiar con menores problemas de fábrica sin tener que detener las operaciones en los tachos. Las fábricas con tachos continuos pueden normalmente disponer de menor capacidad de almacenamiento. En principio se debe tratar de tener mínima capacidad de almacenamiento; la retención y almacenamiento innecesarios de estos productos dan lugar a pérdidas de sacarosa.

2.6.4. Sistemas de transferencia

Los tachos se conectan a un sistema de tuberías de transferencia que permite la interconexión de tachos entre sí y con los tanques y recibidores. La tubería es por lo general de 200 a 300 mm en diámetro y se limpia con vapor después de su uso. Este sistema permite que la masa cocida y / o magma se pueda transferir de un tacho al otro o desde un tanque de magma o un recibidor de semilla a los tachos. Las válvulas de mariposa son ideales para este

sistema. Después de soplar con vapor, los residuos se deben enviar a un fundidor o un tanque de miel, dependiendo de su pureza.

Es muy importante que el sistema de tuberías esté siempre abierto a la atmósfera cuando no se utiliza para evitar un aumento de temperatura en caso de pequeñas fugas de vapor a las tuberías de transferencia. Vapor de escape o incluso a mayor presión se utiliza a menudo en las tuberías de transferencia; se sabe que fugas de vapor dentro de sistemas cerrados han sido causa de graves explosiones en sistemas de transferencia, causando graves daños y pérdida de vidas en muchos casos.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Se demostrará cual fue la metodología para obtener los resultados y variables analizadas.

3.1. Variables

Tabla I. Variables relacionadas al proyecto

Parámetros	Controlable/ no controlable	Dependiente / independiente
Grados Brix (g sólidos solubles/g de muestra)	No controlable	Independiente
Pol (g sacarosa/g de muestra)	No controlable	Independiente
Pureza (g de sacarosa/g de sólidos disueltos)	Controlable	Independiente
Tiempo (s)	Controlable	Independiente
Peso (g)	No controlable	Independiente
Agotamiento (g de sacarosa/g de sólidos solubles)	No controlable	Dependiente

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

Se medirá la pureza en masas y en sus mieles centrifugadas, durante la fabricación de azúcar en los tres diferentes tipos de masas que se manejan en el área de cristalización del Ingenio Palo Gordo.

3.3. Recursos humanos disponibles

Para la realización del proyecto se contará con el siguiente apoyo de personal:

- Investigador: encargado de realizar el proyecto: hacer las mediciones, calcular agotamiento, realizar diagramas de flujo, etc.
- Asesor docente: asesor docente Ing. Sergio Recinos designado por el departamento EPS para guiar la parte práctica del proyecto y enfocarlo hacia la industria y los objetivos del EPS.
- Asesor técnico: Ing. José Adolfo Orozco Bautista, asesor responsable en la empresa encargado de guiar el proyecto a las necesidades de la empresa y de programar con el estudiante los pasos del proyecto.
- Operadores del área de cristalización: apoyar al investigador en el muestreo de las masas.
- Analistas de laboratorio: apoyar al investigador en la preparación de muestras de las masas y mieles para ser analizadas.

3.4. Recursos materiales disponibles

Para el proyecto se contará con los siguientes recursos materiales:

3.4.1. Equipo de oficina

- Computadora
- Impresora
- Hojas
- Insumos de oficina (lápices, lapiceros, etc.)

3.4.2. Equipo de laboratorio y medición

- Balanza analítica
- Cápsula de acero inoxidable para pesar
- Pipeta de pasteur
- Papel filtro
- Embudo de vidrio
- Vaso de acero inoxidable
- Matraz kohlrusch pyrex
- Beacker de doscientos cincuenta mililitros
- Refractómetro SCHMIDT+ HAENSCH ATR -ST
- Polarímetro SCHMIDT+ HAENSCH Saccharomat nir w2

3.4.3. Equipo del área de producción

- Tachos batch
- Tachos Continuos
- Tanques de miel centrifugada

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Se utilizará la metodología ICUMSA (International Commission For Uniform Methods of Sugar Analysis) y la metodología de trabajo impuesta por el laboratorio del Ingenio Palo Gordo; en ambas metodologías las copias están controladas, por lo tanto, se pudo tomar una breve descripción de las metodologías de trabajo que se muestran a continuación:

3.5.1. Obtención de Brix en masas y mieles

3.5.1.1. Materiales y equipo

- Pipeta Pasteur de tres mililitros
- Refractómetro
- Vaso de acero inoxidable
- Balanza
- Mezclador

3.5.1.2. Desarrollo

- Pesar partes iguales de muestra y de agua desmineralizada en un vaso de acero inoxidable.
- Colocar el vaso de acero inoxidable con la muestra y el agua en el mezclador y mezclar durante diez minutos.
- Dejar reposar la muestra hasta que la espuma desaparezca.
- Tomar dos mililitros de muestra y ubicarlo en el lente del refractómetro.
- Presionar el botón de lectura del refractómetro y anotar el resultado.
- Para obtener el dato del brix el resultado que indicará el refractómetro se multiplica por dos ya que a la muestra se le hizo una dilución en partes iguales de peso con agua desmineralizada.

3.5.1.3. Cálculo de brix de la muestra

$$\text{Brix de la muestra} = \text{lectura de refractometro} * 2 \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde

- Brix de la muestra en (g sólidos disueltos/g de muestra)
- Lectura de refractómetro en (g sólidos disueltos/g de muestra)

3.5.2. Obtención de pol en masas y mieles

3.5.2.1. Materiales y equipo

- Pipeta Pasteur de tres mililitros
- Polarímetro
- Cápsula de acero inoxidable
- Vaso de acero inoxidable
- Balanza
- Mezclador
- Octapol
- Beaker de doscientos cincuenta mililitros

3.5.2.2. Desarrollo

- Pesar partes iguales de muestra y de agua desmineralizada en un vaso de acero inoxidable.
- Colocar el vaso de acero inoxidable con la muestra y el agua en el mezclador, disolver durante 10 minutos.

- Dejar reposar la muestra hasta que la espuma desaparezca.
- Pesar en una cápsula de acero inoxidable 26 gramos de la muestra anterior y transferir a un balón de doscientos mililitros.
- Aforar con agua desmineralizada.
- Agregar octapol y mezclar.
- Filtrar la muestra utilizando papel filtro Alhostrom 602, descartar los primeros cinco mililitros para lavar el beaker.
- Recuperar aproximadamente cien mililitros.
- Verter la solución filtrada en el tubo del polarímetro para su lectura y anotar el dato desplegado en la pantalla del polarímetro.

3.5.2.3. Cálculo de pol de la muestra

$$Pol\ de\ la\ muestra = lectura\ de\ polarímetro * 4 \quad [Ec. 2]$$

Donde:

- Pol de la muestra (g sacarosa/g de muestra)
- Lectura de polarímetro (g sacarosa/g de muestra)

Tabla V. **Registro de resultados obtenidos en laboratorio de masas y mieles de primera**

Masa A					Miel A				
Hora de muestreo de masa	Tacho #	Brix	Pol	Pureza	Hora de muestreo miel	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Registro de resultados obtenidos en laboratorio de masas y mieles de segunda**

Masa B					Miel B				
Hora de muestreo	Numero de temple	Brix	Pol	Pureza	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

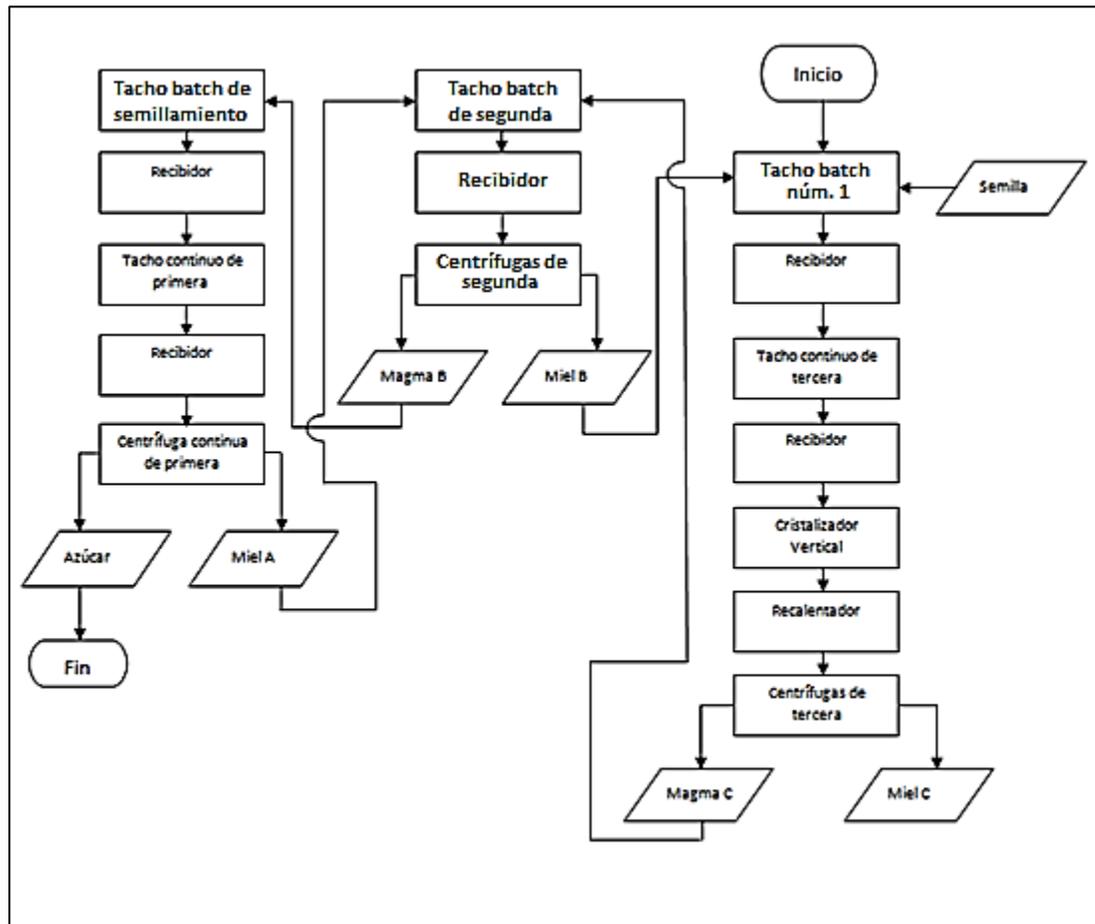
Los resultados de agotamiento de cada masa se miden durante un periodo de tiempo donde los recursos y las condiciones de trabajo sean uniformes, por lo tanto, se medirá el promedio del agotamiento de cada tipo de masa y por cada uno de los tres turnos con la siguiente ecuación:

$$a_{prom} = \sum_i^n \frac{a_i}{n} \quad [\text{Ec. 3}]$$

4. RESULTADOS

4.1. Diagrama de flujo de cristalización

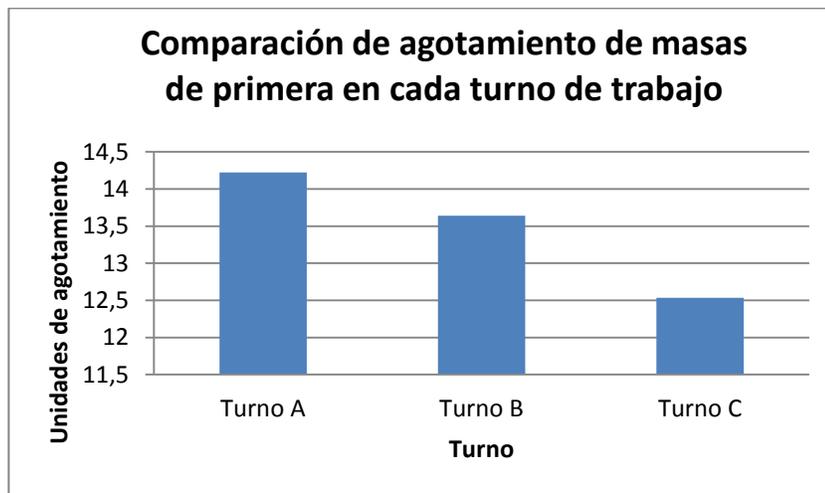
Figura 1. Diagrama de flujo de cristalización que se opera en el ingenio



Fuente: elaboración propia.

4.2. Agotamientos promedio de masas de primera

Figura 2. **Gráfica comparativa de agotamiento promedio de masa de primera por turno de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

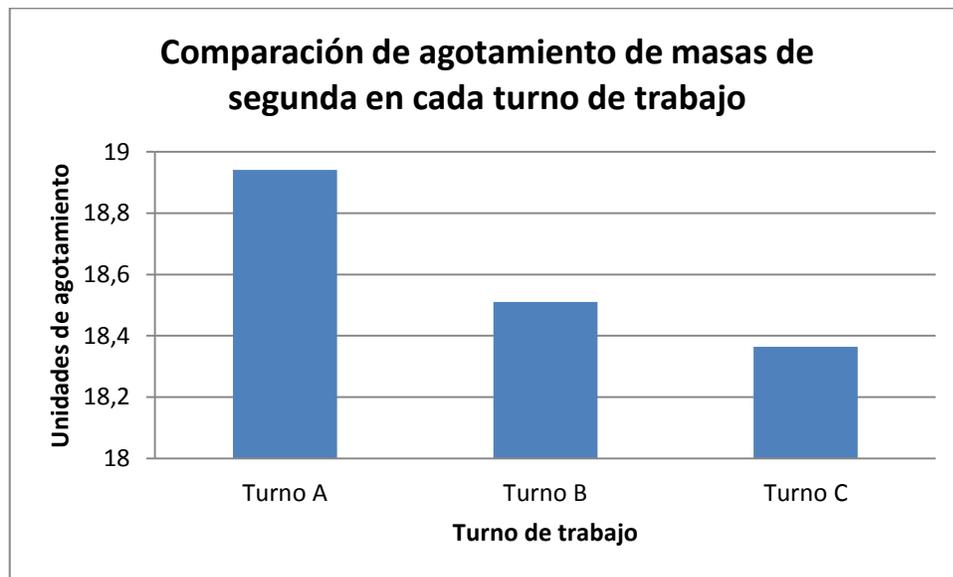
Tabla VIII. **Agotamiento promedio por turno de masa A**

Turno A	Turno B	Turno C
14,2229393	13,640941	12,5367223

Fuente: elaboración propia.

4.3. Agotamiento promedio de masas de segunda

Figura 3. **Gráfica comparativa de agotamiento promedio de masa de segunda por turno de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

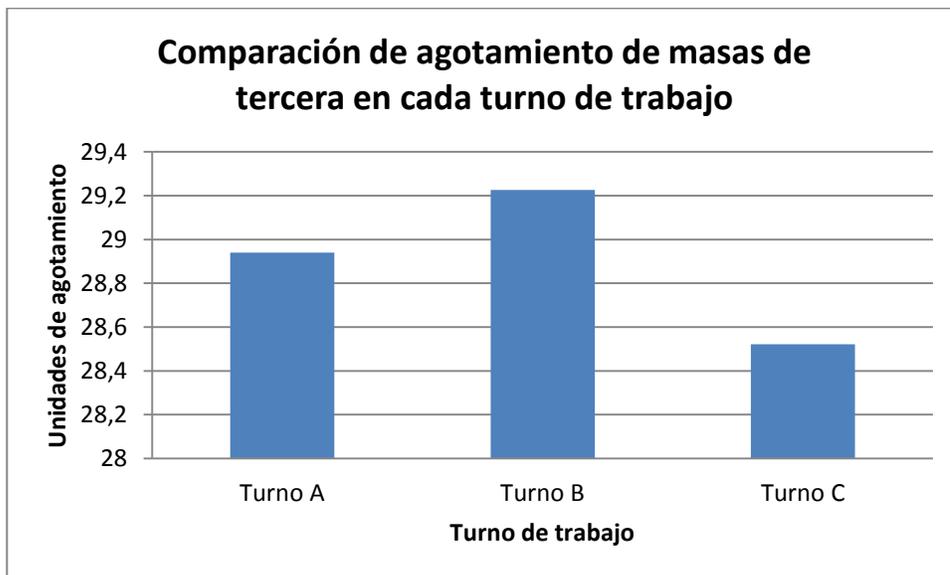
Tabla IX. **Agotamiento promedio por turno de masa B**

Turno A	Turno B	Turno C
18.94136556	18,51040557	18,3641915

Fuente: elaboración propia

4.4. Agotamiento promedio de masas de tercera

Figura 4. **Gráfica comparativa de agotamiento promedio de masa de tercera por turno de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

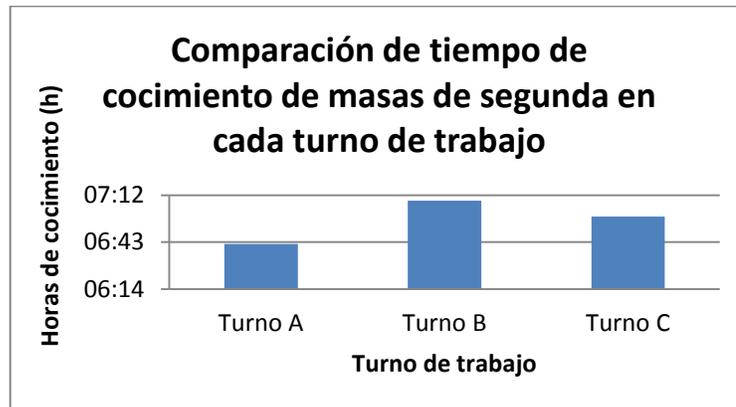
Tabla X. **Agotamiento promedio por turno de masa C**

Turno A	Turno B	Turno C
28,9400546	29,2264434	28,5208114

Fuente: elaboración propia.

4.5. Tiempos promedio de cocimiento de masa de segunda

Figura 5. **Gráfica comparativa de tiempo de cocimiento promedio de masa de segunda por turno de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Tiempo promedio de cocimiento de masas de segunda en área de tachos**

Turno A	Turno B	Turno C
6:41	7:08	6:58

Fuente: elaboración propia.

4.6. Turnos de trabajo a tomar en cuenta en documentación

Tabla XII. Turno de trabajo que se utilizaran como referencia para documentar según el tipo de masa

Tipo de masa	Turno
Primera	A
Segunda	A
Tercera	B

Fuente: elaboración propia.

4.7. Documentación del proceso de cristalización

- Documentación de trabajo del turno A para masas de primera
 - Inicio.
 - En tacho 4 se abre válvula de vapor escoba al 100 % de su capacidad por de 15 a 20 minutos para un lavado.
 - Se cierra la válvula de vapor escoba.
 - Se enciende la bomba de vacío.
 - Se abre la válvula de succión al 100 % de su capacidad.
 - Se abre la válvula de la bomba auxiliar dándole 6 vueltas.
 - Se abre la válvula de agua en el condensador barométrico.

- Se espera que el vacío llegue a 25 pulgadas de mercurio.
- Se abre la válvula de paso de magma B hacia el tacho 4 con el fin de pasar 500 pie³, la referencia es que el nivel de magma sea visible en la cuarta luceta en orden de abajo hacia arriba, tarda aproximadamente 5 minutos.
- Se cierra la válvula de paso de magma B.
- Se abre la válvula de agua caliente para hacer el lavado de magma, por un tiempo de 8 a 10 minutos.
- Se cierra la llave de agua caliente.
- Se abren las 2 válvulas de vapor en la calandria al 100% de su capacidad.
- Se abre la válvula de meladura a 3 vueltas.
- Conforme se alcanza el nivel marcado en el tacho con una flecha roja, es decir que al ir alcanzando 1 000 pie³ y se observe la salpicadura en la octava luceta en orden de abajo hacia arriba se va cerrando la alimentación de meladura gradualmente.
- El llenado a este
- ritmo lleva aproximadamente 2:00 a 3:00 horas.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia esperada se procede a hacer el primer corte hacia el tacho 3.

- Para el primer corte al tacho 3 se cierran las válvulas de vapor que ingresa a la calandria del tacho.
- Se cierra la válvula de agua del condensador barométrico.
- Se cierra la válvula auxiliar.
- Se apaga la bomba de vacío y se cierra la válvula de succión.
- Se abre la válvula para liberar el vacío.
- Cuando el vacío este a cero pulgadas de mercurio se procede a hacer el corte hacía el tacho 3.
- Se abre la válvula de paso al 100 % de su capacidad.
- El traslado lleva un tiempo de 5 minutos aproximadamente.
- Se pretende pasar 500 pie³ de masa, la referencia es que el nivel de la masa sea visible arriba de la mitad de la segunda luceta del tacho 3 en orden de abajo hacia arriba.
- Se cierra la válvula de paso de la masa.
- Se restablecen las condiciones de llenado en tacho 4.
- Se enciende la bomba de vacío.
- Se abre la válvula de succión al 100 % de su capacidad.

- Se abre la válvula de la bomba auxiliar dándole 6 vueltas.
- Se abre la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se espera que el vacío llegue a 25 pulgadas de mercurio.
- Se abren las 2 válvulas de vapor en la calandria al 100 % de su capacidad.
- Se abre la válvula de meladura a 2 vueltas.
- Conforme se alcanza el nivel marcado en el tachó con una flecha roja, es decir, que al ir alcanzando 1 000 pie³ y se observe la salpicadura en la octava luceta en orden de abajo hacia arriba se va cerrando la alimentación de meladura gradualmente.
- El llenado a este ritmo lleva aproximadamente 2:00 a 3:00 horas.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia esperada se procede a hacer el segundo corte hacía el tachó 8.
- Para el segundo corte al tachó 8 se cierran las válvulas de vapor que ingresa a la calandria del tachó.
- Se cierra la válvula de agua del condensador barométrico.
- Se cierra la válvula auxiliar.
- Se apaga la bomba de vacío y se cierra la válvula de succión.

- Se abre la válvula para liberar el vacío.
- Cuando el vacío este a cero pulgadas de mercurio se procede a hacer el corte hacía el tacho 8.
- Se abre la válvula de paso al 100 % de su capacidad.
- El traslado lleva un tiempo de 5 minutos aproximadamente.
- Se pretende pasar 500 pie³ de masa, la referencia es que el nivel de la masa sea visible que se está aproximando a la primer luceta del tacho 8 en orden de abajo hacia arriba.
- Se cierra la válvula de paso de la masa.
- Se restablecen las condiciones de llenado en tacho 4.
- Se enciende la bomba de vacío.
- Se abre la válvula de succión al 100 % de su capacidad.
- Se abre la válvula de la bomba auxiliar dándole 6 vueltas.
- Se abre la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se espera que el vacío llegue a 25 pulgadas de mercurio.
- Se abren las 2 válvulas de vapor en la calandria al 100 % de su capacidad.

- Se abre la válvula de meladura a 2 vueltas.
- Conforme se alcanza el nivel marcado en el tacho con una flecha roja, es decir, que al ir alcanzando 1 000 pie³ y se observe la salpicadura en la octava luceta en orden de abajo hacia arriba se va cerrando la alimentación de meladura gradualmente.
- El llenado a este ritmo lleva aproximadamente 2:00 a 3:00 horas.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia esperada se procede a hacer la descarga de la masa.
- Se cierran las válvulas de vapor que ingresa a la calandria del tacho.
- Se cierra la válvula de agua del condensador barométrico.
- Se cierra la válvula auxiliar.
- Se apaga la bomba de vacío y se cierra la válvula de succión.
- Se abre la válvula para liberar el vacío.
- Cuando el vacío este a cero pulgadas de mercurio se procede a hacer la descarga.
- Se abre la válvula de descarga al 100 % de su capacidad.
- Preparación tacho 3.

- Se deja pasar el vapor escoba en el tacho en un tiempo de 15 a 20 minutos, abriendo la válvula de vapor escoba al 100 % de su capacidad.
- Se cierra la válvula de vapor escoba.
- Se arranca la bomba de vacío y se abre al 100 % la válvula de succión.
- Se abre la válvula de auxiliar al 100 % de su capacidad.
- Se abre la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Cuando el vacío este en 25 pulgadas de mercurio se abre la válvula para realizar el corte del tacho 4 hacía el tacho 3.
- Cuando ya esté completo el paso de los 500 pie³ se cierra la válvula de paso.
- Se abre el ingreso de meladura dando 3 vueltas a la válvula conforme sube el nivel de llenado se va cerrando la válvula gradualmente.
- Se sabe que el llenado llego a 900 pie³ cuando la quinta luceta en orden de abajo hacia arriba está completamente cubierta con el nivel de la masa.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia deseada se procede a la descarga.

- Se cierra la válvula de vapor que ingresa a la calandria del tachó.
- Se cierra la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se apaga la bomba de vacío.
- Se cierra la válvula del auxiliar.
- Se abre la válvula para liberar el vacío.
- Cuando el vacío este en cero pulgadas de mercurio se abre la válvula de descarga al 100 % de su capacidad.
- Preparación tachó 8
 - Se deja pasar el vapor escoba en el tachó en un tiempo de 15 a 20 minutos, abriendo la válvula de vapor escoba al 100 % de su capacidad.
 - Se cierra la válvula de vapor escoba.
 - Se arranca la bomba de vacío y se abre al 100 % la válvula de succión.
 - Se abre la válvula de auxiliar al 100 % de su capacidad.
 - Se abre la válvula de agua en el condensador barométrico.
 - Cuando el vacío este en 25 pulgadas de mercurio se abre la válvula para realizar el corte del tachó 4 hacía el tachó 8.

- Cuando ya esté completo el paso de los 500 pie³ se cierra la válvula de paso.
- Se abre el ingreso de meladura dando 3 vueltas a la válvula conforme sube el nivel de llenado se va cerrando la válvula gradualmente.
- Se sabe que el llenado llegó a 1 900 pie³ cuando se observa que se salpica la sexta luceta en orden de abajo hacia arriba.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia deseada se procede a la descarga.
- Se cierra la válvula de vapor que ingresa a la calandria del tacho.
- Se cierra la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se apaga la bomba de vacío.
- Se cierra la válvula del auxiliar.
- Se abre la válvula para liberar el vacío.
- Cuando el vacío este en cero pulgadas de mercurio se abre la válvula de descarga al 100 % de su capacidad.
- Continuos de primera
 - Se conecta bomba de vacío, se espera a que el vacío llegue 24 pulgadas de mercurio.

- El tacho 8 debe enviar semilla directa a los tachos continuos.
- Se evalúa si la masa cuenta con la consistencia deseada.
- En el tacho 8 el cristal se desarrolla más de lo habitual.
- Se detiene el tacho 8, se abre llave de paso directo a celda 4 y a la vez llenar hasta la celda 6.
- Con la semilla de primera ya preparada previamente en los tachos 3, 4 y 8 se llena las celdas de 1 a 3 del tacho continuo de primera.
- En las lucetas de la parte de arriba del tacho continuo se observa que el nivel de llenado de la masa este de 2 a 3 pulgadas arriba de la calandria para que se ponga a trabajar.
- Se pasa vapor en la tubería para hacerle limpieza.
- En el monitor de la computadora que controla el tacho continuo se escoge la opción 'Arranque', así se activa automáticamente el paso de vapor en la calandria del tacho.
- Se abre manualmente las entradas de meladura hacía las celdas.
- Se abre la válvula de descarga del tacho manualmente.
- Documentación de trabajo del turno A para masas de segunda
- En tacho 5 se deja pasar vapor escoba en un tiempo de 15 a 20 minutos, abriendo la válvula de vapor escoba al 100 % de su capacidad.

- Se arranca la bomba de vacío y se abre al 100 % la válvula de succión.
- Se abre la válvula del auxiliar al 100 % de su capacidad.
- Se abre el agua en el condensador barométrico.
- Cuando el vacío este en 25 pulgadas de mercurio se abre la válvula de magma C hasta que el nivel de magma alcance la segunda luceta en orden de abajo hacia arriba, esto indica que se pasó 500 pie³ de magma C.
- Se cierra la válvula de magma C.
- Se hace el lavado de magma con agua caliente, se abre la válvula de 10 a 15 minutos.
- Se abre el ingreso de miel A dando de 4 a 5 vueltas a la válvula.
- Cuando el nivel de llenado va acercándose a la flecha roja de límite de llenado que indica 1 500 pie³ se va cerrando gradualmente el ingreso de miel A.
- Cuando se observe la salpicadura en la sexta luceta en orden de abajo hacia arriba, este es el indicador que la masa ya llevo al nivel deseado, el llenado a este ritmo lleva de 2:00 a 3:00 horas.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia deseada se procede a hacer el primer paso de 500 pies³ de masa hacia el tacho 6.

- Se cierra la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se apaga la bomba de vacío.
- Se cierra la válvula del auxiliar.
- Se libera el vacío.
- Cuando el vacío este en cero pulgadas de mercurio se abre la válvula de paso hacia el tacho 6, la válvula se abre al 100 % de su capacidad y tarda aproximadamente 5 minutos el paso de la masa.
- Cuando el nivel del corte llegue a ser visible en la primer luceta del tacho 6 en orden de abajo hacia arriba, esto indica que ya se pasaron los 500 pie³ de masa y se procede a cerrar la válvula de paso de la masa.
- Se restablecen condiciones de llenado.
- Se arranca la bomba de vacío y se abre al 100 % la válvula de succión.
- Se abre la válvula del auxiliar al 100 % de su capacidad.
- Se abre el agua en el condensador barométrico.
- Cuando el vacío este en 25 pulgadas de mercurio se abre la válvula de ingreso de miel A, dando de 2 vueltas a la válvula.

- Cuando el nivel de llenado va acercándose a la flecha roja de límite de llenado que indica 1 500 pie³, se va cerrando gradualmente el ingreso de miel A.
- Cuando se observe la salpicadura en la sexta luceta en orden de abajo hacia arriba, este es el indicador que la masa ya llegó al nivel deseado, el llenado a este ritmo lleva de 4:00 a 5:00 horas.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia deseada, se procede a hacer el segundo paso de 500 pies³ de masa hacia el tacho 7.
- Se cierra la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se apaga la bomba de vacío.
- Se cierra la válvula del auxiliar.
- Se libera el vacío.
- Cuando el vacío este en cero pulgadas de mercurio se abre la válvula de paso hacia el tacho 7, la válvula se abre al 100 % de su capacidad y tarda aproximadamente 5 minutos el paso de la masa.
- Cuando la salpicadura llegue a ser visible en la primer luceta del tacho 7 en orden de abajo hacia arriba, esto indica que ya se pasaron los 500 pie³ de masa y se procede a cerrar la válvula de paso de la masa.

- Se restablecen las condiciones de llenado.
- Se arranca la bomba de vacío y se abre al 100 % la válvula de succión.
- Se abre la válvula del auxiliar al 100 % de su capacidad.
- Se abre el agua en el condensador barométrico.
- Cuando el vacío este en 25 pulgadas de mercurio se abre la válvula de ingreso de miel A, dando de 2 vueltas a la válvula.
- Cuando el nivel de llenado va acercándose a la flecha roja de límite de llenado que indica 1 500 pie³, se va cerrando gradualmente el ingreso de miel A.
- Cuando se observe la salpicadura en la sexta luceta en orden de abajo hacia arriba, este es el indicador que la masa ya llevo al nivel deseado, el llenado a este ritmo lleva de 4:00 a 5:00 horas.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia deseada se procede a hacer la descarga de la masa.
- Se cierra la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se apaga la bomba de vacío.
- Se cierra la válvula del auxiliar.
- Se libera el vacío.

- Cuando el vacío este en cero pulgadas de mercurio se abre la válvula de descarga al 100 % de su capacidad.
- Preparación tacho 6
 - Se deja pasar el vapor escoba en el tacho en un tiempo de 15 a 20 minutos, abriendo la válvula de vapor escoba al 100 % de su capacidad.
 - Se cierra la válvula de vapor escoba.
 - Se arranca la bomba de vacío y se abre al 100 % la válvula de succión.
 - Se abre la válvula de auxiliar al 100 % de su capacidad.
 - Se abre la válvula de agua en el condensador barométrico.
 - Cuando el vacío este en 25 pulgadas de mercurio, se abre la válvula de paso para hacer el corte del tacho 5 al tacho 6.
 - Cuando ya esté completo el paso de los 500 pie³, se cierra la válvula de paso.
 - Se abre el ingreso de miel A dando 2 vueltas a la válvula.
 - Se sabe que el llenado llegó a 1 500 pie³ cuando la salpicadura será visible en la sexta luceta en orden de abajo hacia arriba.

- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia deseada se procede a la descarga.
- Se cierra la válvula de vapor que ingresa a la calandria del tacho.
- Se cierra la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se apaga la bomba de vacío.
- Se cierra la válvula del auxiliar.
- Se libera el vacío.
- Cuando el vacío este en cero pulgadas de mercurio, se abre la válvula de descarga al 100 % de su capacidad.
- Preparación tacho 7
 - Se deja pasar el vapor escoba en el tacho en un tiempo de 15 a 20 minutos, abriendo la válvula de vapor escoba al 100 % de su capacidad.
 - Se cierra la válvula de vapor escoba.
 - Se arranca la bomba de vacío y se abre al 100 % la válvula de succión.
 - Se abre la válvula de auxiliar al 100 % de su capacidad.
 - Se abre la válvula de agua en el condensador barométrico.

- Cuando el vacío este en 25 pulgadas de mercurio, se abre la válvula de paso para hacer el corte del tacho 5 al tacho 7.
- Cuando ya esté completo el paso de los 500 pie³ se cierra la válvula de paso.
- Se abre el ingreso de miel A dando 2 vueltas a la válvula.
- Se sabe que el llenado llegó a 1 700 pie³ cuando la salpicadura será visible en la primer luceta en orden de abajo hacia arriba.
- Cuando la masa ya cumpla con la consistencia deseada se procede a la descarga.
- Se cierra la válvula del vapor que ingresa a la calandria del tacho.
- Se cierra la válvula de agua en el condensador barométrico.
- Se apaga la bomba de vacío.
- Se cierra la válvula del auxiliar.
- Se libera el vacío.
- Cuando el vacío este en cero pulgadas de mercurio, se abre la válvula de descarga al 100 % de su capacidad.

- Documentación de trabajo del turno B para masas de tercera
- Preparación de semilla
 - En tacho 1, en el monitor de la computadora que controla el tacho 1 se ingresan datos de purezas de miel A, miel B, meladura, pureza deseada, Brix de aviso de preparación de semilla, brix final y nivel final de llenado dentro del tacho.
 - Manualmente se arranca la bomba de vacío.
 - Se presiona la opción 'inicio' en el monitor de la computadora que controla el tacho 1 para iniciar automáticamente la preparación del mismo tacho lo cual es el sopleteado con vapor al tacho, apertura de agua en el condensador barométrico.
 - Manualmente se enciende el agitador.
 - Al llegar a 24 pulgadas de vacío se deja pasar la alimentación puede ser meladura, miel A, miel B o alguna mezcla de ellas, según se establezcan condiciones en la computadora que controla el tacho. Aproximadamente tarda 20 minutos.
 - Se abre válvula de agua caliente para hacer el lavado y disolver granos no deseados, por 10 minutos.
 - Se cierra la válvula de agua caliente.
 - Se deja concentrar hasta el brix de aviso de preparación de semilla según indiquen los sensores.

- Al alcanzar dicho brix en el monitor de la computadora pedirá que se prepare la semilla para ser ingresada en el tacho.
- Se vierte la cubeta con la semilla molida en el recipiente que une al tacho para el ingreso de semilla.
- El ingreso de semilla al tacho lleva aproximadamente 5 segundos.
- Se deja concentrar el contenido del tacho por 3 minutos, es decir, sin flujos de alimentación.
- Se abre la válvula de agua caliente para lavar la semilla por 12 minutos, luego se cierra automáticamente.
- Al alcanzar la mezcla brix de 87 unidades se abre la válvula de alimentación de miel B.
- Cuando se alcance brix de 89 unidades y con un volumen de 1 500 pie³ inicia la descarga automáticamente.
- Manualmente se apaga el agitador y la bomba de vacío.
- La descarga se hace manual, se le dan de 10 a 15 vueltas a la válvula de descarga.
- Se descarga al tanque receptor de semilla también llamado semillero del tacho continuo de tercera.

- Continúo de tercera.
 - Con un cristal más desarrollado en el tacho 1 se traslada hacia la celda 5 hasta la 8.
 - La semilla anteriormente descargada en el semillero es impulsada por una bomba hacía el tacho continuo a las celdas 1 hasta la 4.
 - Se observa en las lucetas de la parte de arriba del tacho cuando el nivel de llenado ya este al mismo nivel que la calandria, en ese momento se detiene el llenado del tacho continuo.
 - Se abre la válvula que ingresa vapor en la calandria del tacho.
 - Se abren las válvulas de ingreso de miel B hacia cada celta del tacho continuo.
 - Se abre la válvula de descarga de forma manual.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El proyecto inició con recorridos diarios en el área de producción para familiarizarse con cada etapa del proceso y los equipos con los que se cuenta, también para conocer al personal que se encarga de apoyar en cada etapa del proceso.

En la figura 1 se observa el diagrama de flujo del proceso cristalización en el área de tachos, donde se señala el recorrido de la materia prima del área y el orden en que pasa por los equipos; también, se observan la salida de subproductos como la miel C que también se le conoce como 'melaza'.

En la figura 2 se observa la comparación entre agotamientos promedio de masas de primera de los turnos trabajo. El valor más alto de agotamiento promedio es obtenido en el turno A; por lo tanto, se sabe que en promedio el turno A aprovecha de mejor manera los recursos en la elaboración del tipo de masas mencionadas.

En la figura 3 se puede observar la comparación entre agotamientos promedio de masas de segunda de los turnos de trabajo. El valor más alto se obtiene en el turno A; por lo tanto, se sabe que en promedio el turno A aprovecha de mejor manera los recursos en la elaboración del tipo de masas mencionadas.

En la figura 4 se observa la comparación entre agotamientos promedio de masas de tercera de los turnos de trabajo. El valor más alto se obtiene en el turno B; por lo tanto, se sabe que en promedio el turno B aprovecha de mejor manera los recursos en la elaboración del tipo de masas mencionadas.

En la figura 5 se observa la comparación entre tiempos de cocimientos de masas de segunda de los turnos de trabajo. El valor de interés es el de menor cantidad ya que se traduce en eficacia. El menor tiempo promedio de cocimiento se obtiene en el turno A.

En la tabla 12 se observa los turnos que se utilizarán como referencia para ser documentados con base en el mayor agotamiento de masas y menor tiempo de cocimiento que se traduce en mejor aprovechamiento de recursos. En masa de primera el turno A es el que obtiene mayor agotamiento. En masa de segunda de igual manera el turno A es el que obtiene mayor agotamiento y adicional; también, es el que tiene menor tiempo promedio de cocimiento de las masas; por lo tanto, cumple con ambos parámetros para ser el indicado a documentar. En masa de tercera el turno C es el que tiene mayor agotamiento; por lo tanto, es el indicado a tomar en cuenta para ser documentado. Se observa que para las masas A y C se toma únicamente en cuenta para la elección del mejor turno el agotamiento ya que el cocimiento final de estas masas se da a través de tachos continuos y no como en el caso de las masas de segunda que se utilizan únicamente tachos *batch* donde se puede tomar el tiempo de inicio y final del cocimiento.

En la sección de resultados se observa la documentación de trabajo de los tres tipos de masas, cada uno corresponde al turno seleccionado anteriormente. En cada procedimiento se indica desde la preparación de los equipos y la operación de los equipos hasta la descarga de las masas. En la preparación y operación se mencionan el manejo de cada accesorio, por ejemplo, el orden de apertura de válvulas los porcentajes cuando se deben abrir, las referencias de llenado de los tachos, entre otros.

6. LOGROS OBTENIDOS

- Medición de agotamientos promedios de cada tipo de masa en cada turno de trabajo.
- Propuestas de cambio entregadas a producción para evaluar su realización o no realización en las áreas.
- Realización de manuales de operación en el área de tachos.

CONCLUSIONES

1. Se realizó el diagrama de flujo del proceso de cristalización donde se indicó el recorrido de la obtención de azúcar.
2. Se realizaron las mediciones de agotamiento promedio de la masa A para los tres turnos de trabajo, donde el turno A obtuvo el mayor agotamiento con un resultado de 14,22 unidades. Para la masa B el mayor agotamiento promedio se dio en el turno A con un valor de 18,94 unidades. Para la masa C el mayor agotamiento se dio en el turno B con un valor de 28,52 unidades.
3. Se realizaron las mediciones de tiempo promedio de cocimiento de la masa B para los tres turnos de trabajo, donde el turno A obtuvo el menor tiempo con un valor de 6 horas con 41 minutos.
4. Los mejores turnos de trabajo para el cocimiento de masas son: masa A, el turno A; masa B, turno A y masa C, turno B.
5. Se documentó el procedimiento de trabajo de cada turno que dio mejor resultado en el proceso de cristalización para cada masa. La documentación se utilizará como la nueva metodología de trabajo en el proceso dentro de la empresa.

RECOMENDACIONES

1. El agua de lavado que se utiliza en las centrífugas es agua de condensados provenientes del área de tachos; por ser agua con elevada temperatura tiende a disolver el cristal; por lo tanto, se recomienda que el agua sea enfriada levemente para el lavado del cristal.
2. Medir el agotamiento de sacarosa en los tres tipos de masas, al inicio, a mediados y final de la época de zafra, para tener un seguimiento y saber el comportamiento del agotamiento según las etapas de la época de zafra ya que el agotamiento también depende del estado de la caña que ingresa al ingenio.

BIBLIOGRAFÍA

1. DE LEÓN PAZ, Otto Raúl. *Manejo de sólidos*. [En línea]. <<http://www.centronaval.org.ar/boletin/BCN830/830-PUGLISI.pdf>>. [Consulta: 29 de agosto de 2016].
2. ESTEBAN LÓPEZ, Erwin Rolando. *Metodología de trabajo impuesta por el laboratorio de Ingenio Palo Gordo, S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 113 p.
3. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlin, Alemania: Hardcover, 2012. 461 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Obtención de Brix en masas y mieles**

Calcular el brix de la muestra utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Brix de la muestra} = \text{lectura de refractómetro} * 2$$

Donde:

- Brix de la muestra en (g sólidos disueltos/g de muestra)
- Lectura de refractómetro en (g sólidos disueltos/g de muestra)
- Cálculo de Brix para una lectura en el refractómetro de 48,5

$$\text{Brix de la muestra} = 48,5 * 2 = 97$$

- Obtención de Pol en masas y mieles
 - Calcular la pol de la muestra utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Pol de la muestra} = \text{lectura de polarímetro} * 4$$

Donde:

- Pol de la muestra (g sacarosa/g de muestra)
- Lectura de polarímetro (g sacarosa/g de muestra)

Continuación del apéndice 1.

- Cálculo de pol para una lectura en el polarímetro de 13,91

$$Pol\ de\ la\ muestra = 13,91 * 4 = 55,64$$

- Obtención de la pureza
- Calcular la pureza de la muestra utilizando la siguiente ecuación

$$Pureza = (Pol * 100) / Brix$$

Donde:

- Pol = cantidad de sacarosa presente en la muestra, (g sacarosa/g de muestra).
- Brix = cantidad total de sólidos disueltos presentes en la muestra, (g sólidos disueltos/g de muestra).
- Cálculo de pureza para un brix de 97 y pol de 55,64.

$$Pureza = (55,64 * 100) / 97 = 57,36$$

- Obtención de agotamiento de masas.
- Calcular el agotamiento de masa utilizando la siguiente ecuación:

$$Agotamiento = (P_{masa} - P_{miel})$$

Continuación del apéndice 1.

Donde:

- P_{masa} = pureza de la masa, (g de sacarosa/g sólidos disueltos).
- P_{miel} = pureza de la miel, (g de sacarosa/g sólidos disueltos).
- Cálculo de pureza para una masa con pureza de 57,36 y miel con pureza 29,07.

$$Agotamiento = (57,36 - 29,07) = 28,29$$

- Obtención de agotamiento promedio.
- Calcular el agotamiento promedio de masas utilizando la siguiente ecuación:

$$a_{prom} = \sum_i^n \frac{a_i}{n}$$

Donde:

- a_i = agotamiento i, (g de sacarosa/g sólidos disueltos).
- n = número de datos.
- Cálculo de agotamiento promedio para masas con agotamiento 57,36 y 58,36.

$$a_{prom} = \frac{57,36 + 58,36}{2} = 58,86$$

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Datos de masas de primera en el cocimiento en tachos para el turno A**

Feha	Tacho continuo	Hora de muestreo (horas)	Brix (°Brix)	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	1	8:00	91,8	79,2	86,2745098	11,6379183
	2	8:05	91,3	78,64	86,1336254	11,4970339
	1	12:00	92,8	79,8	85,9913793	13,1072823
	2	12:05	92,8	78,68	84,7844828	11,9003857
15/03/2016	1	6:00	91,2	76,4	83,7719298	12,3286309
	1	10:00	91,8	77,16	84,0522876	10,7024117
16/03/2016	1	8:00	91,7	80,16	87,4154853	12,5230122
	2	8:05	91,3	79,48	87,0536692	12,1611961
17/03/2016	1	12:00	91,5	77,56	84,7650273	10,5150273
	2	12:05	91	78,28	86,021978	11,771978
18/03/2016	1	8:00	91,6	77	84,0611354	11,1023339
	2	8:05	91	77,88	85,5824176	12,6236161
19/03/2016	1	12:00	92	78,76	85,6086957	12,8316097
	2	12:05	91,7	77,92	84,9727372	12,1956513
20/03/2016	1	8:00	91,8	78,28	85,2723312	13,6756925
	2	8:05	91,2	78,48	86,0526316	14,4559929
21/03/2016	1	8:00	91,8	79,04	86,1002179	15,2499185
	2	8:05	91,3	78,72	86,2212486	15,3709492
22/03/2016	1	8:00	91,4	78,48	85,8643326	18,9669284
	2	8:05	91	77,92	85,6263736	18,7289694
	1	12:00	92,1	78,88	85,6460369	16,4621149
	2	12:05	91,6	78,64	85,8515284	16,6676063
23/03/2016	1	8:00	91,9	79,24	86,2241567	18,266597
	2	8:05	91,2	78,68	86,2719298	18,3143701
24/03/2016	1	8:00	91,8	78,24	85,2287582	14,2263132
	2	8:05	91,2	78,44	86,0087719	15,0063269
25/03/2016	1	6:00	91,2	78,36	859 210 526	144 924 812
	1	10:00	91,4	78,72	861 269 147	157 092 242
28/03/2016	1	20:00	91,2	77,56	850 438 596	106 386 309
	2	20:05	90,9	76,68	843 564 356	995 120 689
29/03/2016	1	16:00	91,9	76,76	835 255 713	10 993 602
	2	16:05	91,2	76,16	835 087 719	109 768 026
30/03/2016	1	20:00	91,4	77,56	848 577 681	117 192 674
	2	20:05	91,1	77	845 225 027	113 840 021
31/03/2016	1	16:00	91,8	78,84	858 823 529	134 257 773
	2	16:05	91,5	78,12	853 770 492	845 437 158
	1	20:00	91,2	77,24	846 929 825	118 789 121
	2	20:05	91,4	78	853 391 685	125 250 981
1/04/2016	1	16:00	91,4	76,04	831 947 484	122 435 915
	2	16:05	91,8	76,68	835 294 118	12 578 255
	1	20:00	91	75,16	825 934 066	131 329 298
	2	20:05	91,2	75,88	832 017 544	137 412 776
3/04/2016	1	16:00	91,9	77,12	839 173 014	111 573 528
	2	16:05	92,1	77,64	842 996 743	115 397 256
	1	20:00	92	77,12	83 826 087	110 661 383
	2	20:05	91,3	76,56	838 554 217	11 095 473
4/04/2016	1	19:00	91,3	77,12	844 687 842	107 025 505
	2	19:05	91,1	76,52	839 956 092	102 293 755
5/04/2016	1	20:00	91	78,12	858 461 538	139 269 619
	2	20:05	90,7	77,62	855 788 313	136 596 394
6/04/2016	1	20:00	91,4	76,8	840 262 582	101 022 076
	2	20:05	91,2	76,36	837 280 702	980 401 954
7/04/2016	1	20:00	91,5	77,72	849 398 907	141 898 907

Continuación del apéndice 2.

	2	20:05	91	76,76	843 516 484	136 016 484
8/04/2016	1	16:00	91,8	78,84	858 823 529	144 573 845
	2	16:05	91,3	77	843 373 494	129 123 809
	1	20:00	91,5	76,88	840 218 579	121 634 508
	2	20:05	91	76,4	83 956 044	120 976 369

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Datos de masas de primera en el cocimiento en tachos para el turno B

Fecha	Tacho continuo	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	1	15:00	91,9	77,48	84,3090316	8,14044918
	1	20:00	92,2	79,52	86,2472885	9,30641447
	2	20:05	91,4	79,44	86,9146608	10,7460785
15/03/2016	1	19:00	91,2	77,28	84,7368421	8,72606043
	2	19:05	90,8	77,08	84,8898678	8,87908617
16/03/2016	1	15:00	92,2	79,88	86,637744	12,2736543
	2	15:05	90,9	78,12	85,9405941	11,5765043
	2	19:05	91,2	77,04	84,4736842	9,39130145
	1	20:00	91,6	78,36	85,5458515	10,2635429
17/03/2016	2	20:05	91,1	77,04	84,5664105	9,28410188
	1	15:00	91,7	78,08	85,1472192	14,2448706
18/03/2016	2	15:05	91,1	77,52	85,0933041	14,1909555
	1	19:00	91,3	77,48	84,8630887	14,1289115
	2	19:05	90,9	76,84	84,5324532	13,798276
19/03/2016	1	19:00	91,2	77,76	85,2631579	12,1437741
	2	19:05	91,1	76,96	84,478595	11,3592111
20/03/2016	1	15:00	90,9	77,96	85,7645765	15,7288196
	2	15:05	90,6	78,48	86,6225166	16,5867597
	1	19:00	91	79,16	86,989011	13,060898
	2	19:05	90,9	78,92	86,8206821	12,8925691
21/03/2016	1	15:00	91,9	78,36	85,2665941	13,5135077
	2	15:05	92,2	79,2	85,9002169	14,1471305
	1	19:00	91,1	77,08	84,6103183	6,8235437
	2	19:05	90,5	77,12	85,2154696	7,42869498
22/03/2016	1	20:00	91,8	79,4	86,4923747	13,7832611
	2	20:05	91,5	78,56	85,8579235	13,1488099
23/03/2016	1	16:00	92,4	79,48	86,017316	16,4850783
	2	16:05	92,1	78,88	85,6460369	16,1137992
24/03/2016	1	15:00	92	77,92	84,6956522	14,7826087
	2	15:05	92,1	75,84	82,3452769	12,4322334
25/03/2016	1	15:00	91,9	79,04	86,0065288	15,5888384
	2	15:05	91,4	78,36	85,7330416	18,1992992
28/03/2016	1	4:00	91,4	78,48	85,8643326	17,0471283
	2	4:05	91	78,16	85,8901099	17,0729056
29/03/2016	1	0:00	91	77,09	84,7142857	13,8457994
	2	0:05	91,6	77,48	84,5851528	13,7166665
30/03/2016	1	4:00	90	76	84,4444444	14,2233142
	2	4:05	91	77,52	85,1868132	14,965683
31/03/2016	1	4:00	91,6	77,26	84,3449782	17,0986014
	2	4:05	91,2	78,24	85,7894737	18,5430969
3/03/2016	1	4:00	91,8	78,24	85,2287582	13,8571871
	2	4:05	92,8	77,84	83,8793103	12,5077393

Continuación del apéndice 3.

4/03/2016	1	4:00	91,8	78,36	85,3594771	16,4379085
	2	4:05	91,78	78,88	85,9446503	17,0230816
5/03/2016	1	4:00	91,4	78,72	86,1269147	16,1634555
	2	4:05	90,8	78,85	86,839207	16,8757479
6/03/2016	1	4:00	92	79,36	86,2608696	13,2521305
	2	4:05	91	78,68	86,4615385	13,4527994
7/03/2016	1	0:00	91,8	79,56	86,6666667	18,2608696
	2	0:05	91,2	78,08	85,6140351	15,7014258
	1	4:00	92	77,96	84,7391304	14,8265212
	2	4:05	92,3	78,64	85,2004334	15,2878241

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos de masas de primera en el cocimiento en tachos para el turno C**

Fecha	Tacho continuo	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	1	0:00	90,8	79,44	87,4889868	11,0077449
	2	0:05	90,6	78	86,0927152	9,61147332
15/03/2016	1	4:00	91,6	78,76	85,9825328	10,5743695
	2	4:05	91,9	78,78	85,7236126	10,3154494
16/03/2016	1	0:00	91,8	79,56	86,6666667	11,2249253
	2	0:05	91,6	78,84	86,069869	10,6281276
	1	4:00	91,6	78,92	86,1572052	10,7154639
	2	4:05	91,3	77,4	84,7754655	10,4969845
17/03/2016	1	4:00	90,9	77,92	85,7205721	10,1426826
	2	4:05	91,6	79,08	86,3318777	10,7539883
18/03/2016	1	4:00	91,4	78,36	85,7330416	11,5854589
	2	4:05	91,5	78,48	85,7704918	11,6229091
19/03/2016	1	4:00	91,4	78,68	86,083151	11,471752
	2	4:05	90,9	77,6	85,3685369	10,7571379
20/03/2016	1	4:00	90,7	77,24	85,1598677	12,2754967
	2	4:05	90,8	77,64	85,5066079	12,6222369
21/03/2016	1	4:00	90,6	77,88	85,9602649	15,8467718
	2	4:05	91,3	78,8	86,3088719	16,1953788
22/03/2016	1	0:00	91,5	78,12	85,3770492	12,6679356
	2	0:05	91,3	76,76	84,0744797	11,3653661
	1	4:00	91,7	78,84	85,9760087	17,4696796
	2	4:05	91,4	78,4	85,7768053	17,2704761
23/03/2016	1	0:00	91,8	78,42	85,4248366	13,7668055
	2	0:05	91,7	78	85,0599782	13,4019471
	1	4:00	91,4	77,68	84,9890591	11,8995257
24/03/2016	1	0:00	91,4	77,48	84,7702407	14,7830777
	2	0:05	91	76,8	84,3956044	14,4084414
	1	4:00	91,8	78,4	85,4030501	13,9891684
	2	4:05	91,6	77,8	84,9344978	13,5206161
28/03/2016	1	8:00	92,3	77,64	84,1170098	16,4061664
	1	12:00	91,7	74,88	81,6575791	9,52725325
	2	12:05	90,6	74,08	81,7660044	9,6356786

Continuación del apéndice 4.

29/03/2016	1	8:00	92	76,24	82,8695652	16,3165811
	2	8:05	91,6	75,4	82,3144105	15,7614263
31/03/2016	1	8:00	92,3	77,36	83,8136511	12,5904481
	2	8:05	91,8	76,32	83,1372549	11,9140519
1/04/2016	1	12:00	90,8	76,64	84,4052863	13,3605102
	2	12:05	90,5	75,2	83,0939227	12,0491465
3/04/2016	2	8:00	92,2	77,28	83,8177874	13,4464686
	1	12:00	92	76,56	83,2173913	10,9116588
4/04/2016	2	12:05	91,3	76,56	83,8554217	11,5496892
	1	11:00	91,5	78,04	85,2896175	13,0575872
5/04/2016	2	11:05	91,3	77,52	84,9069003	12,6748701
	1	12:00	90	75,6	84	10,0301508
6/04/2016	2	12:05	90,2	75,84	84,0798226	10,1099734
	1	12:00	92,3	76,92	83,3369447	10,6777687
7/04/2016	2	12:05	91,7	76,72	83,6641221	11,0049461
	1	8:00	92,5	78,04	84,3675676	11,8047535
8/04/2016	2	8:05	92,1	77,48	84,1259501	11,563136
	1	8:00	92,4	79,76	86,3203463	16,2451584
8/04/2016	2	8:05	91,6	79,16	86,419214	16,344026

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Datos de mieles centrifugadas de primera correspondientes para masas de primera de los turnos de trabajo

Fecha	Hora muestreo	Brix	Pol	Pureza
14/03/2016	6:00	77,8	59,2	76,092545
	10:00	78	57,48	73,6923077
	14:00	79,8	59,56	74,6365915
	18:00	74,2	54,08	72,884097
	22:00	78,3	59,64	76,1685824
	2:00	77,8	59,86	76,940874
15/03/2016	6:00	77,3	59,12	76,4812419
	10:00	77,6	55,44	71,443299
	14:00	80,6	59,12	73,3498759
	18:00	80,1	59,72	74,556804
	22:00	74,2	56,4	76,0107817
	2:00	78,3	55,24	70,5491699
16/03/2016	6:00	78,3	59,28	75,7088123
	10:00	78,4	59,12	75,4081633
	14:00	74,4	55,72	74,8924731
	18:00	80,2	59,64	74,3640898
	22:00	78,9	59,24	75,0823828
	2:00	78,6	59,64	75,8778626
17/03/2016	6:00	78,1	58,92	75,4417414
	10:00	79	58,68	74,278481
	14:00	79,8	60,08	75,2882206

Continuación del apéndice 5.

	18:00	80	59,4	74,25
	22:00	77,5	57	73,5483871
	2:00	79,7	60	75,2823087
18/03/2016	8:00	79,6	60,16	75,5778894
	10:00	78,6	57	72,519084
	12:00	80,1	58,44	72,9588015
	19:00	80,9	57,36	70,9023486
	23:00	79	55,88	70,7341772
	2:00	78,3	56,28	71,8773946
19/03/2016	6:00	78,8	56	71,0659898
	8:00	78,6	58,28	74,1475827
	14:00	70,8	52,36	73,9548023
	16:00	80,3	58,44	72,7770859
	23:00	77,9	56,96	73,1193838
	2:00	79,5	57,52	72,3522013
20/03/2016	8:05	77,2	57,6	74,611399
	10:00	78,1	58,4	74,7759283
	12:00	83,3	59,64	71,5966387
	19:00	83,9	58,76	70,0357569
	23:00	77,9	57,59	73,928113
	2:00	78,8	56,84	72,1319797
21/03/2016	8:00	78,7	57,36	72,884371
	10:00	79,6	58,4	73,3668342
	12:00	83,5	59,16	70,8502994
	19:00	81	58,12	71,7530864
	23:00	74,1	57,64	77,7867746
	2:00	77,9	57,04	73,2220796
22/03/2016	6:00	76,5	54,28	70,9542484
	8:00	79,3	55,6	70,1134931
	12:00	80,9	54,12	66,8974042
	16:00	82,1	56,8	69,183922
	0:00	78,4	54,36	69,3367347
	4:00	80,1	58,24	72,7091136
23/03/2016	8:00	79	54,12	68,5063291
	12:00	75,4	51,24	67,9575597
	14:00	80,3	52,92	65,9028643
	18:00	82,1	57,44	69,9634592
	20:00	79,1	55	69,5322377
	2:00	79,5	55,68	70,0377358
24/03/2016	4:00	77,2	55,32	71,6580311
	8:00	79,3	57,96	73,0895334
	12:00	81,8	58,08	71,002445
	19:00	80,5	56,28	69,9130435
	22:00	78,7	55,32	70,292249
	4:00	77,9	54,52	69,987163
25/03/2016	8:00	77,8	55,56	71,4138817
	10:00	78,4	56	71,4285714
	14:00	81,4	57,32	70,4176904
	19:00	81,5	55,04	67,5337423
	22:00	79,4	57,52	72,4433249
	2:00	78,1	55,36	70,8834827
28/03/2016	6:00	79,3	59,12	74,5523329
	12:00	83	56,2	67,7108434
	14:00	77,8	54,68	70,2827763
	16:00	79,8	57,56	72,1303258
	0:00	76,5	56,92	74,4052288

Continuación del apéndice 5.

	2:00	77,6	57,36	73,9175258
29/03/2016	8:00	83,7	57,6	68,8172043
	10:00	81,2	58,64	72,2167488
	12:00	82,1	54,64	66,5529842
	18:00	79,9	56,8	71,0888611
	20:00	78,2	56,72	72,5319693
30/03/2016	2:00	79,7	56,96	71,468005
	4:00	80,6	57,12	70,8684864
	15:00	77,1	53,64	69,5719844
	18:00	78,8	56,12	71,2182741
31/03/2016	22:00	78,7	57,56	73,1385006
	0:00	78,8	57,8	73,3502538
	6:00	80,5	56,96	70,757764
	8:00	81,4	57,16	70,2211302
	12:00	79,3	56,48	71,223203
1/04/2016	18:00	78,8	57,76	73,2994924
	20:00	80,6	58,4	72,4565757
	0:00	79,6	57,96	72,8140704
	8:00	82,8	55,68	67,2463768
	10:00	81,9	54,48	66,5201465
3/04/2016	16:00	80,4	57,12	71,0447761
	20:00	77,8	55,2	70,9511568
	0:00	79,7	55,36	69,4604768
	2:00	79,6	56,2	70,6030151
	6:00	83,3	54,8	65,7863145
4/04/2016	10:00	80,2	55,32	68,9775561
	12:00	78,1	54,96	70,3713188
	16:00	78,5	56,76	72,3057325
	20:00	77,9	56,68	72,7599487
	0:00	79,2	55,16	69,6464646
5/04/2016	6:00	79,6	56,44	70,9045226
	8:00	80,2	57,24	71,3715711
	15:00	79,3	57,28	72,2320303
	18:00	78,7	56,28	71,5120712
	23:00	77	56,8	73,7662338
6/04/2016	2:00	77,2	55,96	72,4870466
	6:00	82	56,24	68,5853659
	8:00	81,6	56,24	68,9215686
	14:00	80	57,6	72
	16:00	79,6	58,88	73,9698492
7/04/2016	20:00	78,6	57,04	72,5699746
	0:00	79,2	56,96	71,9191919
	6:00	79,6	56	70,3517588
	8:00	82,1	57,44	69,9634592
	14:00	79,8	57,72	72,3308271
8/04/2016	16:00	80,1	58,2	72,659176
	22:00	76,6	54,92	71,6971279
	0:00	79	58,4	73,9240506
	6:00	81,7	58,44	71,5299878
	8:00	80,1	58,48	73,0087391
7/04/2016	12:00	79,6	57,76	72,5628141
	18:00	78,9	58,4	74,017744
	22:00	78,5	55,48	70,6751592
	0:00	80	56,6	70,75
8/04/2016	4:00	82,8	56,64	68,4057971
	8:00	80,1	56	69,9126092

Continuación del apéndice 5.

	12:00	79,8	55,92	70,075188
	18:00	78	56,84	72,8717949
	20:00	79,3	56,64	71,4249685
	0:00	79,1	56,84	71,8584071

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Datos de masas de segunda en el cocimiento en tachos para el turno A

Fecha	Hora de muestreo	Núm. templa	Tacho	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	15:50	1229,00	7,00	93,2	70,36	75,4935622	19,1804309
15/03/2016	18:00	1240,00	6,00	93,9	67,76	72,1618743	19,5646347
16/03/2016	11:45	1247,00	7,00	93,7	69,44	74,1088581	17,9147329
17/03/2016	11:45	1257,00	5,00	93,5	68,92	73,7112299	18,5923313
18/03/2016	11:45	1267,00	6,00	93,6	69,52	74,2735043	17,6881384
19/03/2016	11:45	1277,00	7,00	93,4	70,44	75,4175589	22,3174383
20/03/2016	11:45	1287,00	5,00	93,7	68,84	73,4685165	19,5185165
21/03/2016	11:45	1297,00	6,00	93,2	69,16	74,2060086	19,3097937
22/03/2016	11:45	1307,00	7,00	93,4	67,56	72,3340471	18,5760853
23/03/2016	12:00	1317,00	5,00	93,6	69,16	73,89	23,7816968
24/03/2016	11:45	1327,00	6,00	93,6	66,16	70,6837607	19,937492
25/03/2016	11:45	1337,00	7,00	93,5	67,24	71,9144385	19,0231125
28/03/2016	19:35	1370,00	7,00	94	67,44	71,7446809	21,5803319
	23:45	1372,00	6,00	93,2	65,52	70,3004292	17,5957145
29/03/2016	20:35	1381,00	6,00	92,2	69,04	74,08	18,26
	23:45	1382,00	7,00	93,7	66,68	71,1632871	18,031974
30/03/2016	20:40	1389,00	5,00	92,1	66,32	72,0086862	18,6244623
31/03/2016	23:45	1400,00	7,00	92,8	66,76	71,9396552	18,4841578
1/04/2016	19:45	1408,00	6,00	93,1	65,16	69,99	15,6116216
3/04/2016	19:35	1428	5	93,2	67,16	72,0600858	17,8586116
	23:45	1430	7	93,8	70,4	75,0533049	23,5955044
4/04/2016	19:30	1438	6	93,5	67,16	71,828877	18,4432561
	23:45	1440	5	93,6	65,64	70,1282051	17,2912347
5/04/2016	20:40	1449	5	93,3	66,52	71,2968917	17,0890337
6/04/2016	20:45	1460,00	6,00	93,8	66,6	71,0021322	16,2924548
7/04/2016	20:45	1471,00	5,00	93,6	68,4	73,0769231	18,5222157
8/04/2016	22:15	1483	5	93,6	67,88	72,5213675	18,7318938

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Datos de masas de segunda en el cocimiento en tachos para el turno B**

Fecha	Hora de muestreo	Núm. Templa	Tacho	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	23:30	1232,00	7,00	94,1	71,24	75,706695	19,8086058
15/03/2016	20:15	1241,00	7,00	93,7	67,56	72,1024546	15,1251247
16/03/2016	0:30	1252,00	6,00	93,9	70,36	74,9307774	20,2412134
17/03/2016	20:00	1260,00	5,00	93,6	70,88	75,7264957	18,8871175
	0:20	1262,00	6,00	93,9	70,08	74,6325879	21,1203927
18/03/2016	19:45	1270,00	6,00	93,2	69,68	74,7639485	20,57359
	0:40	1272,00	5,00	93,3	66,96	71,7684887	16,3955431
19/03/2016	20:00	1280,00	7,00	94	68,64	73,02	19,3240791
20/03/2016	20:00	1290,00	5,00	93,6	74,02	79,0811966	27,4492947
20/03/2016	20:00	1300,00	6,00	93,4	66,72	71,4346895	19,5197959
22/03/2016	20:10	1310,00	7,00	92,9	67,04	72,1636168	19,3905075
23/03/2016	20:00	1320,00	5,00	93,4	68,48	73,3190578	22,5011159
24/03/2016	20:25	1330,00	6,00	93	67,16	72,22	17,22
25/03/2016	19:45	1340,00	7,00	93,7	68,6	73,43	19,39
28/03/2016	3:50	1374,00	5,00	92,7	64,96	70,0755124	15,4355124
30/03/2016	8:15	1385,00	7,00	93,4	67,08	71,8201285	14,7677533
	3:45	1392,00	5,00	93,3	66,8	71,5969989	16,6808699
31/03/2016	3:45	1402,00	6,00	93,6	67,32	71,9230769	15,6015178
4/04/2016	3:45	1442	7	93,8	67,8	72,2814499	16,8732866
5/04/2016	3:45	1453	5	93,1	64,84	69,6455424	16,4849207
6/04/2016	1:45	1463,00	6,00	93,2	66,48	71,3304721	17,961912
	3:45	1464,00	7,00	93,4	66,6	71,31	18,6973874
7/04/2016	3:45	1475,00	6,00	92,8	64,56	69,57	16,2897875

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Datos de masas de segunda en el cocimiento en tachos para el turno C**

Fecha	Hora de muestreo	Núm. Templa	Tacho	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	9:45	1227,00	5,00	93,2	69,64	74,72103	23,1408129
15/03/2016	9:45	1237,00	6,00	93,4	70,08	75,0321199	21,2789713
	4:35	1245,00	5,00	93,4	71,36	76,4025696	20,5457921
16/03/2016	9:45	1246,00	6,00	93,6	69,76	74,5299145	16,5225345
	4:35	1254,00	5,00	93,5	69,24	74,0534759	18,4437198
17/03/2016	4:40	1264,00	6,00	93,8	69,88	74,4989339	13,3336082
18/03/2016	4:50	1274,00	7,00	93,5	68,68	73,4545455	17,7909449
19/03/2016	4:45	1284,00	5,00	93,3	68,52	73,4405145	18,6276112
20/03/2016	4:35	1294,00	6,00	93,6	69,8	74,5726496	23,3746672
20/03/2016	4:40	1304,00	7,00	93,6	69,56	74,32	19,8584615
22/03/2016	4:46	1314,00	5,00	93,6	68,12	72,7777778	19,117984
23/03/2016	4:30	1324,00	6,00	93,5	68,24	72,9839572	20,0689245
24/03/2016	4:35	1334,00	7,00	93,3	67,16	71,982851	20,0192619
28/03/2016	12:00	1367,00	7,00	93,9	66,44	70,76	16,1851012

Continuación del apéndice 8.

29/03/2016	12:00	1377,00	5,00	93,7	66,68	71,1632871	18,2032871
30/03/2016	17:00	1387,00	6,00	93,7	65,64	70,0533618	18,5713858
31/03/2016	12:00	1395,00	5,00	93,7	66,16	70,6083244	16,6417006
3/04/2016	12:00	1425	5	93,1	64,84	69,6455424	18,6363681
4/04/2016	12:00	1435	6	93,7	65,36	69,75	15,665493
5/04/2016	12:00	1445	7	93,4	65,82	70,4710921	16,7161514
6/04/2016	12:00	1456,00	5,00	93,4	64,72	69,2933619	16,3217857
7/04/2016	12:00	1467,00	7,00	93,1	65,04	69,8603652	14,947647

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Datos de miel de segunda correspondientes a masas de segunda en el cocimiento en tachos para los turnos de trabajo**

Fecha	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza
14/03/2016	6:00	78	43,36	55,5897436
	10:00	78,6	44,56	56,692112
	14:00	82,9	42,76	51,5802171
	18:00	80	45,92	57,4
	22:00	78,5	43,88	55,8980892
	2:00	79,2	44,6	56,3131313
15/03/2016	6:00	78	43,72	56,0512821
	10:00	78,6	43,76	55,6743003
	14:00	79,4	42,68	53,7531486
	18:00	80,5	45,6	56,6459627
	22:00	79,4	45,24	56,97733
	2:00	79,7	41,92	52,5972396
	16/03/2016	6:00	78,8	43,68
10:00		78,2	43,68	55,8567775
14:00		81,3	47,16	58,0073801
18:00		75,7	41,4	54,6895641
22:00		80,7	45,6	56,5055762
2:00		76,7	43,08	56,166884
17/03/2016	6:00	78,3	44	56,1941252
	10:00	77,9	43,32	55,6097561
	14:00	80,8	45	55,6930693
	18:00	77,2	43,88	56,8393782
	22:00	79,2	44,08	55,6565657
	2:00	79,9	44,04	55,1188986
18/03/2016	6:00	77,9	44,08	56,5853659
	10:00	77,6	43,88	56,5463918
	14:00	72,1	42,48	58,9181692
	18:00	82	43,88	53,5121951
	22:00	82,3	44,32	53,8517618
	2:00	82,9	44,02	53,1001206
19/03/2016	6:00	80	43,16	53,95

Continuación del apéndice 9.

	10:00	76,1	42,36	55,6636005
	14:00	77,8	41,8	53,7275064
	18:00	80,9	43,84	54,1903585
	22:00	79,7	41,68	52,2961104
	2:00	81,9	44,96	54,8962149
20/03/2016	6:00	77,6	41,6	53,6082474
	10:00	77,5	42,48	54,8129032
	14:00	80,6	44,24	54,8883375
	18:00	79,1	43,8	55,3729456
	22:00	82,6	46,52	56,3196126
	2:00	78,5	42,2	53,7579618
21/03/2016	6:00	79,6	39,76	49,9497487
	10:00	79,3	40,6	51,1979823
	14:00	72,8	39,84	54,7252747
	18:00	80,9	43,44	53,6959209
	22:00	76,9	40,68	52,89987
	2:00	83,1	41,64	50,1083032
22/03/2016	6:00	77,6	42,28	54,4845361
	10:00	78	42,48	54,4615385
	14:00	82	43,88	53,5121951
	18:00	81,5	42,08	51,6319018
	22:00	80,2	40,28	50,2244389
	2:00	80,4	40,8	50,7462687
23/03/2016	6:00	77,2	43,08	55,8031088
	10:00	77,6	41,64	53,6597938
	14:00	81,2	42,32	52,1182266
	18:00	79,9	41,48	51,9148936
	22:00	80,1	41,72	52,0848939
	2:00	80,24	42,44	52,891326
24/03/2016	6:00	78,6	41,8	53,1806616
	10:00	76,5	40,48	52,9150327
	14:00	82,6	47,2	57,1428571
	18:00	71,4	37,68	52,7731092
	22:00	74,3	39,56	53,243607
	2:00	79,1	39,68	50,1643489
25/03/2016	6:00	70,6	36,96	52,3512748
	10:00	76,9	39,96	51,9635891
	14:00	78,1	40,96	52,4455826
	18:00	75,8	38,52	50,817942
	22:00	81,4	44,04	54,1031941
	2:00	80,6	42,48	52,7047146
28/03/2016	6:00	83,8	43,24	51,5990453
	10:00	77,3	42,4	54,851229
	14:00	77,1	42,32	54,8897536
	18:00	74,1	40,44	54,5748988
	22:00	72,6	39,72	54,7107438
	2:00	76	41,8	55
29/03/2016	6:00	79,5	42,96	54,04
	10:00	77,1	43,04	55,82
	14:00	78	40,76	52,26
	18:00	76,2	41,88	52,96
	22:00	75,9	42,92	56,55
	2:00	77,6	42,4	54,64
30/03/2016	6:00	82,1	46,84	57,0523752
	15:00	79,2	42,08	53,1313131
	18:00	77,4	41,88	54,1085271

Continuación del apéndice 9.

	22:00	74,9	38,56	51,481976
	2:00	77,5	42,56	54,916129
31/03/2016	6:00	77,5	42,32	54,6064516
	10:00	78,6	41,96	53,3842239
	14:00	77,9	41,24	52,9396662
	18:00	77,9	42,04	53,9666239
	22:00	77,8	43,6	56,0411311
	2:00	77,5	43,12	55,6387097
1/04/2016	6:00	82,1	46,24	56,3215591
	11:00	76,4	40,84	53,4554974
	14:00	78,1	42,32	54,1869398
	18:00	82,1	41,72	50,816078
	22:00	77,8	43,56	55,9897172
	2:00	78,4	43,44	55,4081633
3/04/2016	6:00	78,3	42,04	53,6909323
	10:00	82,7	45,08	54,5102781
	14:00	75,4	40,4	53,5809019
	18:00	76,3	38,92	51,0091743
	22:00	74,3	39	52,4899058
	2:00	77,2	41,04	53,1606218
4/04/2016	6:00	75,7	40,4	53,3685601
	10:00	79,9	40,64	50,8635795
	14:00	75,9	41,48	54,6508564
	18:00	78,1	42,24	54,084507
	22:00	77,9	41,6	53,4017972
	2:00	77,7	40,88	52,6126126
5/04/2016	6:00	75,3	40,12	53,2802125
	10:00	74	40,24	54,3783784
	14:00	76,9	42,8	55,656697
	18:00	75,9	40,8	53,7549407
	22:00	79,8	43,32	54,2857143
	2:00	78,9	42,77	54,207858
6/04/2016	6:00	77,6	41,2	53,0927835
	10:00	81,4	44,12	54,2014742
	14:00	77,9	41,64	53,4531451
	18:00	77,4	41	52,9715762
	22:00	80,6	40,84	50,6699752
	2:00	77,5	42,4	54,7096774
7/04/2016	6:00	78,2	40,24	51,4578005
	10:00	76,5	40,84	53,3856209
	14:00	73,8	41,4	56,097561
	18:00	80,2	44,04	54,9127182
	22:00	79,2	43,28	54,6464646
	2:00	78,6	42,88	54,5547074
8/04/2016	6:00	77,6	40,8	52,5773196
	10:00	77,9	41,16	52,8369705
	14:00	79,4	43	54,1561713
	18:00	79	41,08	52
	22:00	78,2	43,56	55,7033248
	2:00	76	40,88	53,7894737

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Datos de tiempo de cocimiento de masas de segunda en el cocimiento en tachos para el turno A

Fecha	Núm. templa	Tacho	Hora inicio	Hora fin	Hora de muestreo	Tiempo total
14/03/2016	1229,00	7,00	8:00	15:50	15:50	7:50
15/03/2016	1240,00	6,00	10:00	18:00	18:00	8:00
16/03/2016	1247,00	7,00	3:35	11:45	11:45	8:10
17/03/2016	1257,00	5,00	4:45	11:45	11:45	7:00
18/03/2016	1267,00	6,00	4:55	11:45	11:45	6:50
19/03/2016	1277,00	7,00	5:00	11:45	11:45	6:45
20/03/2016	1287,00	5,00	4:55	11:45	11:45	6:50
21/03/2016	1297,00	6,00	4:50	11:45	11:45	6:55
22/03/2016	1307,00	7,00	4:50	11:45	11:45	6:55
23/03/2016	1317,00	5,00	5:00	12:00	12:00	7:00
24/03/2016	1327,00	6,00	4:45	11:45	11:45	7:00
25/03/2016	1337,00	7,00	4:50	11:45	11:45	6:55
28/03/2016	1370,00	7,00	12:15	19:35	19:35	7:20
	1372,00	6,00	17:15	23:45	23:45	6:30
29/03/2016	1381,00	6,00	15:20	20:35	20:35	5:15
	1382,00	7,00	17:15	23:45	23:45	6:30
30/03/2016	1389,00	5,00	15:50	20:40	20:40	4:50
31/03/2016	1400,00	7,00	17:15	23:45	23:45	6:30
1/04/2016	1408,00	6,00	12:20	19:45	19:45	7:25
3/04/2016	1428	5	12:12	19:35	19:35	7:23
	1430	7	17:10	23:45	23:45	6:35
4/04/2016	1438	6	12:20	19:30	19:30	7:10
	1440	5	17:15	23:45	23:45	6:30
5/04/2016	1449	5	15:40	20:40	20:40	5:00
6/04/2016	1460,00	6,00	15:30	20:45	20:45	5:15
7/04/2016	1471,00	5,00	15:20	20:45	20:45	5:25
8/04/2016	1483	5	15:10	22:15	22:15	7:05

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Datos de tiempo de cocimiento de masas de segunda en el cocimiento en tachos para el turno B

Fecha	Núm. templa	Tacho	Hora inicio	Hora fin	Hora de muestreo	Tiempo total
14/03/2016	1232,00	7,00	16:00	23:30	23:30	7:30
15/03/2016	1241,00	7,00	12:00	20:15	20:15	8:15
16/03/2016	1252,00	6,00	18:20	0:30	0:30	6:10
17/03/2016	1260,00	5,00	12:00	20:00	20:00	8:00
	1262,00	6,00	18:20	0:20	0:20	6:00
18/03/2016	1270,00	6,00	12:00	19:45	19:45	7:45
	1272,00	5,00	18:20	0:40	0:40	6:20
19/03/2016	1280,00	7,00	12:00	20:00	20:00	8:00
20/03/2016	1290,00	5,00	12:00	20:00	20:00	8:00
20/03/2016	1300,00	6,00	12:00	20:00	20:00	8:00
22/03/2016	1310,00	7,00	12:00	20:00	20:10	8:00

Continuación del apéndice 11.

23/03/2016	1320,00	5,00	12:15	20:00	20:00	7:45
24/03/2016	1330,00	6,00	12:00	20:25	20:25	8:25
25/03/2016	1340,00	7,00	12:00	19:45	19:45	7:45
28/03/2016	1374,00	5,00	20:55	3:50	3:50	6:55
30/03/2016	1385,00	7,00	0:00	8:15	8:15	8:15
	1392,00	5,00	20:50	3:45	3:45	6:55
31/03/2016	1402,00	6,00	20:50	3:45	3:45	6:55
4/04/2016	1442	7	20:55	3:45	3:45	6:50
5/04/2016	1453	5	20:50	3:45	3:45	6:55
6/04/2016	1463,00	6,00	21:00	1:45	1:45	4:45
	1464,00	7,00	22:25	3:45	3:45	5:20
7/04/2016	1475,00	6,00	22:10	3:45	3:45	5:35

Fuente: elaboración propia

Apéndice 12. Datos de tiempo de cocimiento de masas de segunda en el cocimiento en tachos para el turno C

Fecha	Núm. templa	Tacho	Hora inicio	Hora fin	Hora de muestreo	Tiempo total
14/03/2016	1227,00	5,00	2:20	9:45	9:45	7:25
15/03/2016	1237,00	6,00	3:40	9:45	9:45	6:05
	1245,00	5,00	23:45	7:35	4:35	7:50
16/03/2016	1246,00	6,00	0:55	9:45	9:45	8:50
	1254,00	5,00	23:10	4:35	4:35	5:25
17/03/2016	1264,00	6,00	22:55	4:40	4:40	5:45
18/03/2016	1274,00	7,00	23:40	4:50	4:50	5:10
19/03/2016	1284,00	5,00	23:50	4:45	4:45	4:55
20/03/2016	1294,00	6,00	23:40	4:35	4:35	4:55
20/03/2016	1304,00	7,00	23:45	4:40	4:40	4:55
22/03/2016	1314,00	5,00	23:05	4:40	4:46	5:35
23/03/2016	1324,00	6,00	23:00	4:30	4:30	5:30
24/03/2016	1334,00	7,00	23:20	4:35	4:35	5:15
28/03/2016	1367,00	7,00	4:55	12:00	12:00	7:05
29/03/2016	1377,00	5,00	4:05	12:00	12:00	7:55
30/03/2016	1387,00	6,00	4:00	17:00	17:00	13:00
31/03/2016	1395,00	5,00	4:00	12:00	12:00	8:00
3/04/2016	1425	5	4:00	12:00	12:00	8:00
4/04/2016	1435	6	4:00	12:00	12:00	8:00
5/04/2016	1445	7	4:00	12:00	12:00	8:00
6/04/2016	1456,00	5,00	4:00	12:00	12:00	8:00
7/04/2016	1467,00	7,00	4:00	12:00	12:00	8:00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. Datos de masas de tercera en el cocimiento en tachos para el turno A

Fecha	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	6:00	96,4	58,92	61,120332	28,0200988
	10:00	96,2	58,32	60,6237006	29,2786714
15/03/2016	6:00	97,1	57,44	59,1555098	29,0852522
	10:00	96,7	57,56	59,524302	28,4922735
16/03/2016	6:00	96,7	56,96	58,9038263	27,5830715
	10:00	96,9	57,32	59,1537668	28,1054747
17/03/2016	6:00	97,1	56,8	58,4963955	27,2521558
	11:00	96,8	57,32	59,214876	28,3776667
18/03/2016	6:00	96,6	57,04	59,047619	29,5862607
	10:00	96,9	57,16	58,9886481	28,031324
19/03/2016	6:00	96,9	57,24	59,0712074	31,5482717
	10:00	96,5	57,72	59,8134715	30,2180958
20/03/2016	10:00	97,2	56,8	58,436214	28,4130121
21/03/2016	6:00	96,8	56,72	58,5950413	29,5996075
	10:00	96,7	56,84	58,7797311	29,2205664
22/03/2016	6:00	96,7	56,84	58,7797311	29,998666
	10:00	96,8	57,32	59,214876	29,4407976
23/03/2016	6:00	96,7	57	58,9451913	31,9968345
	12:00	97	57,44	59,2164948	31,6141557
28/03/2016	14:00	96,4	55,8	57,8838174	28,9116288
	18:00	96,9	56,36	58,1630547	26,1085712
29/03/2016	14:00	96,6	56,96	58,9648033	30,3341934
	18:00	97,2	58,28	59,9588477	28,9032291
30/03/2016	18:00	96,3	56,68	58,8577362	26,2065735
31/03/2016	14:00	96,9	56,28	58,0804954	27,9383153
3/04/2016	16:00	97,1	57,24	58,9495366	29,2797252
	19:00	97,3	57,8	59,4039054	30,4027304
4/04/2016	15:00	96,7	54,28	56,1323681	27,2303611
	19:00	96,9	55,92	57,7089783	29,0763981
5/04/2016	16:00	97,3	56,04	57,5950668	28,2157565
	20:00	97	55,6	57,3195876	29,0372347
6/04/2016	14:00	97,2	57,44	59,0946502	28,7902006
	18:00	96,9	56,04	57,8328173	29,1747077
7/04/2016	14:00	97,2	55,56	57,1604938	28,4899736

Fuente: elaboración propia

Apéndice 14. Datos de masas de tercera en el cocimiento en tachos para el turno B

Fecha	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	15:00	96	57,08	59,4583333	28,6531991
	19:00	97,2	58,44	60,1234568	28,0951549
15/03/2016	14:00	97,4	58,68	60,2464066	28,8480517
	19:00	97,2	57,24	58,8888889	27,6739356
16/03/2016	15:00	98,7	58,88	59,6555218	27,3929192

Continuación del apéndice 14.

	19:00	97,5	57,64	59,1179487	27,4632725
17/03/2016	16:00	96	56,12	58,4583333	27,4801975
	19:00	96,7	56,96	58,9038263	28,4186192
18/03/2016	15:00	96,1	56,24	58,5223725	28,7764141
	19:00	97,2	57,52	59,1769547	29,686214
19/03/2016	14:00	96,7	56,96	58,9038263	30,5435491
	19:00	97,3	57,24	58,8283659	28,9222626
20/03/2016	15:10	97,9	59,44	60,7150153	30,7726854
	19:00	97,4	58,44	60	29,4930876
21/03/2016	14:00	96,2	56,32	58,5446985	28,6256234
	19:00	96,7	56,76	58,697001	29,8262211
22/03/2016	15:00	98,1	58,44	59,5718654	30,6881445
	19:00	97,5	57,08	58,5435897	30,2812192
23/03/2016	15:00	96	56,24	58,5833333	31,3721315
29/03/2016	22:00	97	57,36	59,1340206	28,7377502
30/03/2016	22:00	97	57,56	59,3402062	28,6750953
	2:00	96,8	57,32	59,214876	28,4599399
3/04/2016	22:00	97	57,8	59,5876289	31,0297092
	2:00	97,2	58,04	59,7119342	29,207347
4/04/2016	22:00	96,6	57,04	59,047619	29,7967273
	2:00	97,2	56,8	58,436214	28,4710572
5/04/2016	22:00	97,2	56,48	58,1069959	28,3670432
	2:00	96,8	57,68	59,5867769	29,6789428
6/04/2016	22:00	97	57,52	59,2989691	32,0678478
	2:00	96,7	57,12	59,0692865	29,2889396

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Datos de masas de tercera en el cocimiento en tachos para el turno C**

Fecha	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza	Agotamiento
14/03/2016	22:00	97	57,16	58,9278351	27,5193843
	2:00	96,7	56,12	58,0351603	26,5164687
15/03/2016	22:00	96,7	56,08	57,9937952	26,3900217
	2:00	97	56,6	58,3505155	27,6759593
16/03/2016	22:00	96,9	56,36	58,1630547	26,2395183
	2:00	96,3	56,04	58,1931464	27,4889211
17/03/2016	22:00	96,3	55,64	57,7777778	26,5041929
	2:00	97,1	56,68	58,3728115	29,0716067
18/03/2016	22:00	96,7	56,52	58,4488108	28,4721208
	2:00	96,1	56,12	58,3975026	30,8830517
19/03/2016	22:00	96,9	56,36	58,1630547	27,588892
	2:00	96,4	56,64	58,7551867	29,6149152
20/03/2016	22:00	97,1	56,12	57,7960865	28,5472602
	2:00	96,7	56,72	58,655636	30,1967716
21/03/2016	22:00	97	57,08	58,8453608	28,1849835
22/03/2016	22:00	96,4	55,56	57,6348548	28,5943923
	2:00	96,3	55,28	57,403946	28,9362956

Continuación del apéndice 15.

28/03/2016	6:00	97,7	57,64	58,9969294	28,2596022
	10:00	96,7	57,84	59,8138573	29,8728892
29/03/2016	6:00	96,7	56,92	58,8624612	27,8239548
	10:00	97,3	58,44	60,061665	31,5363193
31/03/2016	7:00	96,4	56,24	58,340249	27,2036244
	10:00	96,7	56,68	58,6142709	29,1130833
3/04/2016	6:00	96,8	57,24	59,1322314	29,1322314
	10:00	97,3	57,8	59,4039054	26,4144564
4/04/2016	6:00	97,1	57,24	58,9495366	28,9263347
	10:00	96,7	55,48	57,3733195	27,8946466
5/04/2016	6:00	97	57,24	59,0103093	29,138664
	10:00	97,3	57,68	59,2805755	30,389147
6/04/2016	8:00	97,2	57,52	59,1769547	29,7748445
	12:00	97,8	58,84	60,1635992	30,7710758
7/04/2016	6:00	96,3	56,24	58,4008307	28,2286149
	11:00	96,5	55,2	57,2020725	28,2825323

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Datos de miel de tercera correspondientes a masas de tercera en el cocimiento en tachos para los turnos de trabajo**

Fecha	Hora de muestreo	Brix	Pol	Pureza
14/03/2016	6:00	85,6	26,92	31,4485981
	10:00	86,4	27,4	31,712963
	14:00	83,9	28,24	33,659118
	18:00	86,2	29	33,6426914
	0:00	86,8	29,32	33,7788018
	2:00	85,5	28,36	33,1695906
15/03/2016	6:00	84,7	27,04	31,9244392
	8:00	83,6	27,96	33,4449761
	14:00	84,7	27,28	32,2077922
	18:00	85,8	28,4	33,1002331
	22:00	85,5	26,8	31,3450292
	2:00	85,7	26,4	30,8051342
16/03/2016	6:00	84,8	27,16	32,0283019
	10:00	85,2	26,76	31,4084507
	14:00	85,6	26,98	31,5186916
	18:00	85,4	25,68	30,0702576
	22:00	84,3	26,16	31,0320285
	2:00	85,1	26,72	31,3983549
17/03/2016	6:00	85,6	26,72	31,2149533
	10:00	84,8	26,8	31,6037736
	14:00	84,5	25,92	30,6745562
	18:00	84,8	26,56	31,3207547
	0:00	84,9	26,36	31,0482921
	2:00	85,3	27,52	32,2626026

Continuación del apéndice 16.

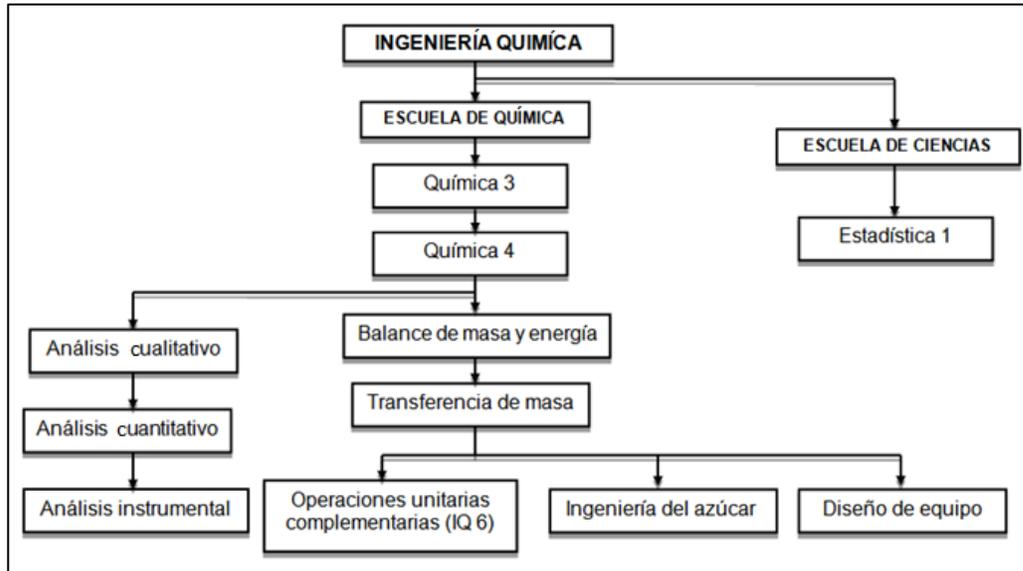
18/03/2016	6:00	83,4	26,4	31,6546763
	10:00	83,7	26,72	31,9235364
	14:00	85,2	26,16	30,7042254
	18:00	86,8	27,12	31,2442396
	22:00	86	26,52	30,8372093
	2:00	86,9	26,92	30,9781358
19/03/2016	6:00	84,5	25,76	30,4852071
	10:00	84,8	26,52	31,2735849
	14:00	83	24,32	29,3012048
	18:00	85,4	25,16	29,4613583
	22:00	86,7	26,84	30,9573241
20/03/2016	2:00	86,6	25,76	29,7459584
	6:00	86,4	25,48	29,4907407
	10:00	85,8	25,72	29,97669
	14:00	86,5	23,8	27,5144509
	19:00	87,2	24	27,5229358
21/03/2016	22:00	86,5	25,6	29,5953757
	6:00	85,2	25,48	29,9061033
	10:00	83,6	25,56	30,5741627
	14:00	88,4	25,76	29,1402715
	18:00	88	26,28	29,8636364
22/03/2016	22:00	86,2	25,88	30,0232019
	6:00	86,8	26,48	30,5069124
	10:00	85,2	24,92	29,2488263
	14:00	86,3	24,56	28,4588644
	18:00	87,6	25,4	28,9954338
23/03/2016	22:00	86,2	25,48	29,5591647
	2:00	86,5	25,88	29,9190751
	6:00	85,9	24,8	28,87078
	10:00	84,8	26	30,6603774
	14:00	83,4	23,28	27,9136691
	6:00	86,9	24,56	28,2623705
	10:00	86,5	25,12	29,0404624
	14:00	88,1	25,08	28,4676504
	18:00	85,2	22,96	26,9483568
	22:00	85,5	23,6	27,6023392
	2:00	85,7	23,32	27,2112019
	6:00	77,8	55,56	71,4138817
	10:00	78,4	56	71,4285714
	14:00	81,4	57,32	70,4176904
	18:00	81,5	55,04	67,5337423
	22:00	79,4	57,52	72,4433249
	2:00	78,1	55,36	70,8834827
	6:00	83,8	23,4	27,9236277
	10:00	86,1	25,12	29,1753775
	14:00	84,5	25,36	30,0118343
28/03/2016	18:00	85,7	25,6	29,8716453
	22:00	83,6	23,8	28,4688995
	2:00	84	23,2	27,6190476
	6:00	84,4	24,92	29,5260664
	10:00	80	22,64	28,3
29/03/2016	14:00	79,9	21,72	27,18398
	18:00	86,8	26,68	30,7373272
	22:00	84,7	25,36	29,9409681
	6:00	88,1	28,24	32,0544835
	18:00	85,7	26,6	31,0385064

Continuación del apéndice 16.

	22:00	86,8	24,76	28,5253456
	2:00	86,9	24,88	28,6306099
31/03/2016	6:00	88,1	27,36	31,0556186
	10:00	85,8	26,08	30,3962704
	14:00	85,2	26,4	30,9859155
	18:00	86,5	26,28	30,3815029
	22:00	87,4	26,72	30,5720824
	2:00	85,1	25,12	29,5182139
	6:00	86	28,08	32,6511628
	9:00	83,9	25,68	30,6078665
	10:00	85,7	26,28	30,6651109
	14:00	86,1	26,48	30,7549361
	18:00	87,1	27,12	31,1366246
	22:00	84,2	24,84	29,5011876
	2:00	84,4	25,44	30,1421801
	3/04/2016	6:00	85,8	25,24
10:00		84,9	24,8	29,2108363
14:00		84,3	25,6	30,3677343
18:00		86,1	25,8	29,9651568
22:00		83,02	24,8	29,8723199
2:00		84,1	25,16	29,9167658
4/04/2016	6:00	86,7	25,16	29,0196078
	10:00	86,7	25,52	29,4348328
	14:00	85	26,04	30,6352941
	18:00	87,2	26,16	30
	22:00	85,3	28,14	32,989449
	2:00	84,8	25,16	29,6698113
04/2016	6:00	85,1	24,68	29,0011751
	10:00	84,6	24,16	28,5579196
	14:00	87,2	26,6	30,5045872
	18:00	86,2	25,88	30,0232019
	22:00	84,4	24,88	29,478673
	2:00	84,7	24,48	28,9020071
6/04/2016	6:00	84,1	24,08	28,6325803
	10:00	84,1	24,6	29,2508918
	14:00	86,1	25,8	29,9651568
	18:00	85,7	25,6	29,8716453
	22:00	87,5	25,28	28,8914286
	2:00	87	25,56	29,3793103
7/04/2016	6:00	85	24,04	28,2823529
	10:00	84,6	25,16	29,7399527
	14:00	86,8	25,96	29,9078341
	18:00	85,3	25,08	29,4021102
	22:00	85,6	25,16	29,3925234
	2:00	85,4	25,88	30,3044496
	6:00	85,7	24,56	28,6581097
	10:00	87,4	23,8	27,2311213
	14:00	86,5	25,76	29,7803468
	18:00	87,1	26,28	30,1722158
	22:00	87	25,16	28,9195402
	2:00	86,5	24,8	28,6705202

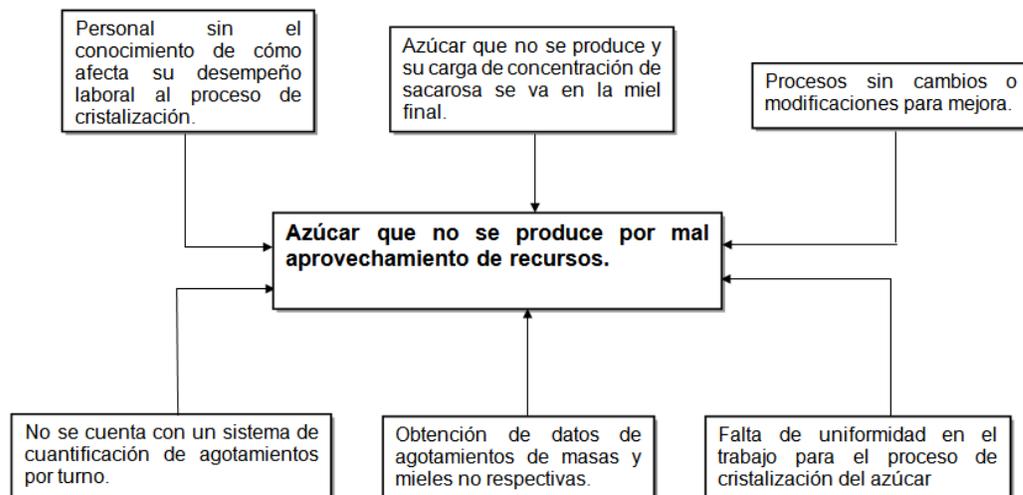
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.