



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

**DESARROLLO DE LOS MODELOS DEL CONSUMO DE MELADURA, MIEL A Y MIEL B EN
LOS TACHOS *BATCH* PARA LAS TEMPLAS DE UN SISTEMA DE 2 MAGMAS EN LA
ELABORACIÓN DE AZÚCAR CRUDO Y BLANCO**

Sergio Daniel Velasquez Sincuir

Asesorado por el Ing. Byron de Jesús López Maldonado

Guatemala, junio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE LOS MODELOS DEL CONSUMO DE MELADURA, MIEL A Y MIEL B EN
LOS TACHOS *BATCH* PARA LAS TEMPLAS DE UN SISTEMA DE 2 MAGMAS EN LA
ELABORACIÓN DE AZÚCAR CRUDO Y BLANCO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SERGIO DANIEL VELASQUEZ SINCUIR

ASESORADO POR EL ING. BYRON DE JESÚS LOPÉZ MALDONADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gomez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**DESARROLLO DE LOS MODELOS DEL CONSUMO DE MELADURA, MIEL A Y MIEL B EN
LOS TACHOS *BATCH* PARA LAS TEMPLAS DE UN SISTEMA DE 2 MAGMAS EN LA
ELABORACIÓN DE AZÚCAR CRUDO Y BLANCO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha Julio 2019

Sergio Daniel Velasquez Sincuir

Guatemala, noviembre de 2019

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente **hago constar** que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: **"DESARROLLO DE LOS MODELOS DEL CONSUMO DE MELADURA, MIEL A Y MIEL B EN LOS TACHOS BATCH PARA LAS TEMPLAS DE UN SISTEMA DE 2 MAGMAS EN LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR CRUDO Y BLANCO"**, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Sergio Daniel Velasquez Sincuir, quien se identifica con el registro académico 201404001 y con el CUI 2986 53818 0101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,

Byron de Jesús López Maldonado
Ingeniero Químico
Colegiado 1066



Byron de Jesús López Maldonado
ASESOR
Ingeniero químico
Colegiado activo no. 1066



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica
FIQD-REG-TG-001

Guatemala, 13 de febrero de 2020.
Ref. EI.Q.TG-IF.007.2020.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **016-2019**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Sergio Daniel Velasquez Sincuir**.
Identificado con número de carné: **2986538180101**.
Identificado con registro académico: **201404001**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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:

DESARROLLO DE LOS MODELOS DEL CONSUMO DE MELADURA, MIEL A Y MIEL B EN LOS TACHOS BATCH PARA LAS TEMPLAS DE UN SISTEMA DE 2 MAGMAS EN LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR CRUDO Y BLANCO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Byron De Jesús López Maldonado, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido 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"

Estuardo Edmundo Montroy Benitez
Profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Formando Ingenieros Quimicos en Guatemala desde 1939



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica
EIQD-REG-SG-007

Guatemala, 8 de julio de 2020.

Ref. EIQ.166.2020

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN DENOMINADO **DESARROLLO DE LOS MODELOS DEL CONSUMO DE MELADURA, MIEL A Y MIEL B EN LOS TACHOS BATCH PARA LAS TEMPLAS DE UN SISTEMA DE 2 MAGMAS EN LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR CRUDO Y BLANCO**, del(la) estudiante Sergio Daniel Velasquez Sincuir, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Williams G. Alvarez Mejía, M.I.Q., M.U.I.E.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/wgam



Formando Ingenieros Quimicos en Guatemala desde 1939

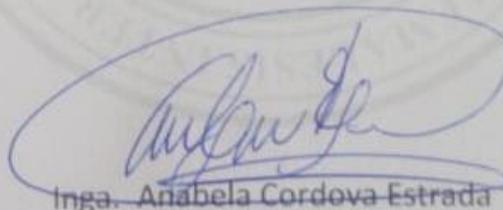


**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**

DTG. 150.2020.

La Decana 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: **DESARROLLO DE LOS MODELOS DEL CONSUMO DE MELADURA, MIEL A Y MIEL B EN LOS TACHOS BATCH PARA LAS TEMPLAS DE UN SISTEMA DE 2 MAGMAS EN LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR CRUDO Y BLANCO**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Daniel Velasquez Sincuir**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, julio de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Quien ha manifestado su amor a lo largo de mi vida. Su mano me sostiene y me lleva siempre en victoria.
Mis padres	Yo soy fruto de su esfuerzo, y trabajo. Un ejemplo de amor sincero y abnegación para mi crecimiento personal.
Mis hermanos	Por ser un apoyo incondicional y ser un ejemplo del esfuerzo personal y voluntad.
Mis abuelos	Por todos los buenos consejos y la ternura con la que siempre me han amado.
Mi familia	Nunca olvidaré su apoyo incondicional y los momentos de alegría que me llenaron siempre de ánimo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi casa de estudios y segundo hogar durante mi formación académica.
Facultad de Ingeniería	Donde aprendí muchas lecciones académicas para mi carrera profesional. En especial a la escuela de Ingeniería Química donde inicie mi camino.
Ingenio Santa Ana	Por ser una gran escuela de aprendizaje para mi carrera académica y profesional. Por abrirme las puertas y formar parte de su equipo de trabajo en la labor diaria.
Ing. Byron Maldonado	Por asesorarme en mi vida académica y profesional. Por compartir siempre su conocimiento, experiencia y darme la oportunidad de aprender de su persona.
Mi familia y amigos	Por estar siempre en los buenos momento de mi vida profesional y académico.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Obtención de azúcar en Guatemala	3
2.2. Materia prima.....	3
2.2.1. Caña de azúcar	3
2.2.2. Transporte de la caña.....	3
2.2.3. Ingreso al patio de caña	4
2.2.4. Cortado y desfibrado de caña.....	4
2.3. Extracción de caña	5
2.3.1. Conductores de caña.....	6
2.4. Extracción de jugo	7
2.4.1. Sulfitación de jugo	7
2.4.2. Alcalización del jugo	8
2.4.3. Calentamiento de jugo.....	8
2.4.4. Filtración de lodos en clarificador	9

2.5.	Evaporadores.....	10
2.6.	Clarificación de meladura.....	12
2.7.	Agotamiento y cristalización.....	13
2.7.1.	Sistemas de masas y magmas en cristalización	14
2.7.2.	Templa	15
2.7.3.	Sobresaturación en el desarrollo de templeas	16
2.8.	Centrifugación	17
2.9.	Secado.....	18
2.10.	Almacenamiento	18
2.11.	Análisis para masas de primera, segunda y tercera.....	19
2.11.1.	Luz polarizada	19
2.11.2.	Principio de medición de sacarosa.....	20
2.11.3.	Medición de la sacarosa por polarimetría.....	20
2.11.4.	Medición Brix soluciones azucaradas	20
2.11.5.	Pureza en soluciones azucaradas.....	21
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Variables	23
3.2.	Delimitación de campo de estudio	24
3.3.	Recursos humanos disponibles	25
3.3.1.	Recursos materiales disponibles.....	25
3.3.2.	Materia prima	25
3.3.3.	Instrumentos de medición	25
3.3.4.	Equipo auxiliar.....	25
3.3.5.	Cristalería	26
3.3.6.	Reactivos.....	26
3.4.	Técnica cuantitativa.....	26
3.4.1.	Desarrollo de templa de masa tercera	27
3.4.2.	Desarrollo de templa de masa segunda	27

3.4.3.	Desarrollo de templa de masa primera	28
3.4.4.	Obtención de muestra	28
3.4.5.	Separación de fases	28
3.4.6.	Análisis de Brix y pol de fase líquida y masa	29
3.5.	Recolección y ordenamiento de la información	29
3.6.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	37
3.7.	Análisis estadístico	42
3.7.1.	Numero de repeticiones	42
3.7.2.	Diseño experimental	43
3.7.3.	Medidas de tendencia central	44
1.8.1.1	Media aritmética	44
3.7.3.1.	Desviación estándar	45
3.7.4.	Método Anova.....	45
3.7.5.	Error cuadrático medio	48
4.	RESULTADOS	49
4.1.	Brix de masas durante su desarrollo	49
4.2.	Índice de sobresaturación masa primera.....	54
4.3.	Modelos consumo de alimentación	57
4.4.	Análisis comparativo cristalizador-evaporador <i>batch</i> y continuo	63
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	68
	CONCLUSIONES	76
	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA.....	80
	APÉNDICES	85

ANEXOS.....87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de patio y molinos.....	5
2.	Agua de imbibición de molinos.....	6
3.	Diseño torre de sulfatación con quemador de azufre.....	7
4.	Intercambiador de calor de coraza y tubos	8
5.	Clarificador Dorr Oliver.....	9
6.	Evaporador tipo Robert	10
7.	Sistema de evaporación de múltiple efecto.....	11
8.	Sistema de clarificación de meladura.....	13
9.	Sistema de cristalización de 2 magmas y 3 masas.....	15
10.	Sobresaturación en el proceso de cristalización	17
11.	Secador rotativo	18
12.	Brix de masa primera en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura	49
13.	Brix de masa primera en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura	50
14.	Brix de masa segunda en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel A	51
15.	Brix de masa segunda en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel A	52
16.	Brix de masa tercera en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel b	53
17.	Brix de masa tercera en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel b	54

18.	Sobresaturación fase líquida de masa primera en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura.....	54
19.	Sobresaturación fase líquida de masa primera en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura.....	55
20.	Sobresaturación fase líquida de masa primera en función del Brix de la templa	56
21.	Consumo de meladura (m ³ /h) en función del Brix en masas primeras, con una presión de vapor de 3 psig.....	58
22.	Consumo de meladura (m ³ /h) en función del Brix en masas primeras, con una presión de vapor de 4,5 psig.....	58
23.	Consumo de miel A (m ³ /h) en función del Brix en masas segundas, con una presión de vapor de 3 psig.....	59
24.	Consumo de miel A (m ³ /h) en función del Brix en masas segundas, con una presión de vapor de 4,5 psig.....	60
25.	Consumo de miel b (m ³ /h) en función del Brix en masas terceras, con una presión de vapor de 3 psig.....	61
26.	Consumo de miel b (m ³ /h) en función del Brix en masas terceras, con una presión de vapor de 4,5 psig.....	62
27.	Comparativa de consumo de meladura (m ³ /h) promedio tacho continuo y tachos <i>batch</i> por templa	63
28.	Consumo de meladura (m ³ /h) tacho continuo y tacho <i>batch</i>	64
29.	Brix promedio de templemas masa segunda controlados manualmente y con dispositivos electrónico	65
30.	Consumo de miel a (m ³ /h) tachos controlados manualmente y con dispositivos electrónicos	66

TABLAS

I.	Descripción de las variables cuantificables	23
II.	Variables de control.....	24
III.	Recolección de muestras para masa primera	30
IV.	Recolección de muestras para masa segunda	31
V.	Recolección de muestras para masa tercera	33
VI.	Recolección de muestras para masa segunda controlada manualmente	35
VII.	Recolección de muestras para masa tacho continuo	36
VIII.	Promedio del Brix durante la templa de masa primera.....	38
IX.	Índice de sobresaturación templa de masa primera.....	38
X.	Flujo de meladura a tachos de masa primera	39
XI.	Flujo de miel A hacia tachos de masa segunda	39
XII.	Flujo de miel B hacia tachos masa tercera controlado mediante dispositivos electrónicos.....	40
XIII.	Flujo de miel A hacia tachos masa segunda controlado manualmente	41
XIV.	Flujo promedio tacho continuo	42
XV.	Diseño experimental.....	44
XVI.	Organización de datos para método ANOVA.....	46
XVII.	Análisis de varianza generalizada.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Btu	British thermal unit
pol	Cantidad de sacarosa en la solución
cm²	Centímetro cuadrado
R²	Correlación
Fc	Crítico de Fisher
S	Desviación estándar
Rmse	Error cuadrático medio
E	Error estimado
F	Estadístico de Fisher
°	Grados
°C	Grados Celsius
g	Gramo
H_A	Hipótesis alterna
H₀	Hipótesis nula
h	Hora
Q	Intervalo de error
kgf	Kilogramo fuerza
Kg	Kilogramo masa
lb	Libras masas
psi	Libras por pulgada cuadrada
psia	Libras por pulgada cuadrada absoluta
M³	Metro cúbico
min	Minutos

N	Número de corridas
p	Probabilidad de éxito
Pi	Punto determinado por el experimento
O	Punto estimado por el modelo matemático
Brix	Solidos solubles

GLOSARIO

Azúcar	Término para la sacarosa disacárida y productos de la industria azucarera, compuesta esencialmente por sacarosa.
Batch	Proceso por lotes o discontinuo.
Cristalización	El proceso de cristalización consiste en iniciar el desarrollo de los cristales de sacarosa. El método más usado es por semillamiento, en este procedimiento la solución azucarada de pureza definida se concentra en el tacho operado a un vacío de alrededor de 24" Hg.
Masa cocida	Material en el que se encuentran mezclados la miel agotada a una pureza determinada y los cristales desarrollados a un tamaño establecido, en su proceso final de cocción.
Nutsche	Equipo diseñado para lograr una separación de mezclas sólido-liquido mediante presión.
Pol	Contenido de sacarosa aparente, medido a partir de la rotación óptica de luz polarizada al pasar por una solución azucarada.

Pureza	La pureza real representa el contenido de sacarosa expresado como porcentaje de la sustancia seca o el contenido de sólidos disueltos. Los sólidos comprenden el azúcar y no sacarosas como azúcares invertidos o cenizas. La pureza aparente se calcula como la cantidad de sacarosa dividido la cantidad de sólidos solubles presentes multiplicada por 100.
Sacarosa	El compuesto químico puro $C_{12}H_{22}O_{11}$ que es conocido como azúcar blanco, molécula disacárida a partir de la unión de la glucosa y fructosa.
Saturación	La saturación es el punto en el que el soluto de una solución no puede disolver más de esa cantidad y las cantidades adicionales aparecerán como una fase separada.
Semilla	Suspensión formada por la molienda y dispersión de granos de azúcar en alcohol iso-propílico.
Sobresaturación	Solución que ha pasado el límite de soluto que el solvente puede disolver a ciertas condiciones de temperatura, por lo que este exceso de soluto aparece como un precipitado.
Sólidos disueltos	Todo material soluto que está en solución, incluyendo la sacarosa, monosacáridos, cenizas y ácidos grasos entre otras impurezas orgánicas.

Solubilidad	Capacidad de una sustancia para poder disolverse en otra; la sustancia que se disuelve se conoce como soluto, mientras que aquella en la cual este se disuelve recibe el nombre de solvente.
Tacho	Equipo diseñado para desarrollar el tamaño del cristal de sacarosa, por la eliminación de agua mediante la ebullición del material que contiene a presión reducida.
Templa	Masa cocida que fue llevada a su punto final de cocimiento y fue descargada de un tacho discontinuo o de <i>batch</i> .
Vacío	Solución que ha Se llama vacío a la ausencia total o parcial de aire, también, podría decirse presión inferior a la atmosférica.

RESUMEN

Con el objetivo de establecer ecuaciones que permitan determinar el consumo de meladura y mieles en los cristalizadores evaporador de un ingenio de azúcar con mayor precisión y exactitud, se evaluó el proceso de cristalización por evaporación en el tercer tercio de zafra en un ingenio azucarero realizando la estimación durante el desarrollo de las templas de las masas. Al desarrollar este proyecto en un Ingenio de Guatemala, se obtuvo ecuaciones ajustadas a las condiciones locales que permitirá estimar un valor del consumo de meladura y mieles. Además, se calculó la sobresaturación de la fase líquida en los cristalizadores evaporadores de masa primera.

Este estudio servirá como modelo para poder estimar los consumos de meladura de acuerdo a las condiciones de vapor de segundo efecto, presión de vacío y Brix de la meladura.

Se analizó 54 templas, entre ellas 18 de cada tipo de masa. Se tomó muestra al inicio, a media y al final de cada templa analizando su Brix y pol y en el caso de la masa primera se separó ambas fases utilizando equipo nutsche haciendo especial análisis a la fase líquida. Se tomó un promedio de las condiciones de presión de vapor y Brix de alimentación, a estas se les desarrolló la templa. La comparación estadística de los resultados permitió conocer el tipo de modelo y su correlación.

Se pudo observar estadísticamente que el Brix de las templas de masa segunda y tercera aumentó durante su desarrollo al igual que para las masas primera, sin embargo, para las masas segundas y terceras no existe diferencia

significativa durante su desarrollo. El índice de sobresaturación de las templeas de masa primera Se realizó una comparación estadística de cristalizadores controlados con dispositivos electrónicos y manuales por medio de análisis de varianza y error cuadrático medio, se determinó que los equipos manuales presentan un modelo cúbico que se ve afectado por interacciones cualitativas de los operadores, a diferencia de los dispositivos electrónicos que son modelos cuadráticos dependiendo únicamente de las condiciones de operación de presión de vapor, presión de vacío y Brix de alimentación.

OBJETIVOS

General

Desarrollar de los modelos de consumo de meladura, miel A y miel B en los tachos *batch* para las templeas de un sistema de 2 magmas en la fabricación de azúcar cruda y blanca.

Específicos

1. Graficar el Brix de las templeas de masa primera, segunda y tercera en función de su volumen en un rango de Brix de alimentación entre [60 - 82 °bx] y una presión de vapor entre [3 - 4,5 psig].
2. Calcular y graficar el índice de sobresaturación de la fase líquida de la templa de masa primera en función del volumen y Brix de la templa en un rango de Brix de alimentación entre [60-82 °bx] y una presión de vapor entre [3 – 4,5 psig].
3. Ilustrar y modelar el consumo de alimentación de las templeas en función de su volumen en un rango de Brix de alimentación entre [60-82 °bx] y una presión de vapor entre [3 – 4,5 psig].
4. Realizar un análisis comparativo del modelo de consumo de alimentación entre templeas de primera y el tacho continuo y entre las templeas de segunda con instrumentación y sin instrumentación.

Hipótesis

Es posible desarrollar los modelos de consumo de meladura, miel A, miel B en los tachos *batch* para un sistema de 2 magmas y 3 masas en la producción de azúcar blanca y cruda utilizando balances de masa y energía.

- Hipótesis estadística

Hipótesis nula:

H_{0,1}: no existe diferencia significativa en el Brix de las templeas y el volumen de desarrollo de las templeas.

H_{0,2}: no existe diferencia significativa en el consumo de alimentación de las templeas y el volumen de desarrollo de las templeas.

H_{0,3}: no existe diferencia significativa en el índice de sobresaturación de la fase líquida de la masa primera y el Brix de la masa primera durante el desarrollo de la templea.

Hipótesis alterna:

H_{0,1}: existe diferencia significativa en el Brix de las templeas y el volumen de desarrollo de las templeas.

H_{a,2}: existe diferencia significativa en el consumo de alimentación de las templeas y el volumen de desarrollo de las templeas.

H_{a,3}: existe diferencia significativa en el índice de sobresaturación de la fase líquida de la masa primera y el Brix de la masa primera durante el desarrollo de la templa.

INTRODUCCIÓN

En la producción de azúcar en los ingenios en Guatemala el área de cristalización y agotamiento es de mucha importancia, porque define la producción de cristales de sacarosa y la pérdida de sacarosa en la miel final. Este proceso de cristalización da lugar en los tachos *batch* de los ingenios, y muchas veces su manipulación es controlada manualmente por un operador cuyos criterios de control son empíricos y cualitativos.

Actualmente se desconocen las cualidades internas de la templa dentro de los tachos *batch*, es decir el índice de sobresaturación de la fase líquida de la templa, Brix de la templa y el consumo de meladura y mieles de los tachos. Estas variables son críticas durante el desarrollo de la misma porque permiten asegurar la transferencia de sacarosa de la fase líquida a la fase sólida, en otras palabras, la cristalización de sacarosa y agotamiento de las mieles.

Conocer un modelo matemático de estas variables durante el desarrollo de las templeas en función de las variables de proceso como Brix, pureza o Brix de alimentación, presión de vapor en la calandria, presión y temperatura de vacío ayudaría a tener un mejor control del desarrollo y manipulación de los tachos *batch* en el área de cristalización.

A pesar de que existen dispositivos electrónicos para tener un mejor control durante el desarrollo de las templeas, el costo elevado hace complicado la obtención del mismo, aunque actualmente en los ingenios de Guatemala son pocos los tachos *batch* que tienen estos dispositivos no se ha hecho una

comparación de los procesos *batch* controlados manualmente y con este tipo de dispositivos.

Es por ello que con este estudio se busca dar un carácter matemático al proceso de cristalización y agotamiento de mieles en los tachos *batch* en función de las variables críticas de proceso, así como también la comparación de equipos *batch* con dispositivos electrónicos y manuales para su control.

1. ANTECEDENTES

En los últimos años la exportación de azúcar en Guatemala ha aumentado considerablemente, la importancia del tiempo de producción en la industria azucarera es muy importante, se sabe que se cuenta con tiempo limitado de producción debido la temporada de caña, como consecuencia de este tiempo limitado la ineficiencia de la producción de cristalización y pérdida de sacarosa en la miel final en el agotamiento de mieles ocasiona pérdidas monetarias en la producción. Debido a esto se han realizado múltiples estudios tanto a nivel internacional como nacional. Algunos de estos estudios se enlistan a continuación ya que son de especial interés y se utilizaron como referencia para el desarrollo del presente trabajo de graduación:

En la universidad de San Carlos de Guatemala se llevó a cabo la investigación Optimización del proceso de fabricación de azúcar blanca para mejorar la calidad, en el ingenio Santa Teresa S.A., donde el objetivo general fue la determinación de la optimización del proceso de azúcar blanca donde se concluyó que Los tipos de control a aplicar en el área de general del ingenio son basados en la prevención de defectos, básicamente se aplica el control por atributos basados en criterios de aceptación, con excepción de las áreas de molinos y tachos en las cuales se aplica un análisis químico, al final del sistema de producción es necesario un muestreo de aceptación para lotes terminados para asegurar los niveles de calidad aceptables por la AZASGUA. Por lo que es necesario tomar muestras y análisis al final de las templas para el buen control y baja variabilidad en las templas.¹

En la revista mexicana de ingeniería química se realizó una investigación con título: *Estudio preliminar del efecto de la presión de vacío y del vapor en un cristalizador por lotes a nivel planta piloto* en el cual se deseaba conocer el comportamiento de la cristalización bajo efecto de la presión de vapor en la calandria del tacho, se observó que al llevar la cristalización de la masa en la zona meta estable la cristalización aumento, también que observó que cuando el tiempo de la templa aumenta y una evaporación disminuye favorece a la cristalización en la templa, por lo que mientras más tiempo están en contacto ambas fases mayor es la cristalización de la sacarosa.²

En la Universidad Autónoma Metropolitana de México se llevó a cabo la investigación titulada: *Simulación y control del proceso de cristalización de azúcar de caña por lotes a vacío con un enfoque de diseño directo* en el cual el objetivo del estudio fue Simular y controlar el proceso de cristalización de azúcar de caña

¹ FUENTES NAVARRO, Sherly Elizabeth. *Optimización del proceso de fabricación de azúcar blanca para mejorar la calidad, en el ingenio Santa Teresa S.A.* p. 1.

² LÓPEZ-ZAMORA, Lourdes. *Estudio preliminar del efecto de la presión de vacío y del vapor en un cristalizador por lotes a nivel planta piloto.*
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382008000100008.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382008000100008)

refinada por lotes a vacío donde se determinó que en la zona donde la sobresaturación esta entre 1,10 y 1,40 se tiene una mayor velocidad de crecimiento del cristal alcanzando hasta los $2,5 \cdot 10^{-4}$ cm/min ente los 64 °C y 66 °C de las masas.³

En la universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, se realizó el estudio titulado: *Estudio del sistema de cocción y cristalización de masas cocidas para la obtención de azúcar en la empresa azucarera san buenaventura – easba*. El objetivo del estudio fue realizar una investigación del comportamiento del Brix y del índice sobresaturación en las templeas de masa primera y segunda en un sistema de 2 magmas, así como también realizar un análisis comparativo en tacho batch y tacho continuo, en donde se concluyó que en los tachos batch es posible desarrollar la templea sin necesidad de que disminuya el Brix de la templea ya que eso ocasionaría una disminución en el índice de sobresaturación.⁴

En la Universidad Privada Antenor Orrego facultad de ciencias agrarias, Trujillo Perú, se llevó a cabo la investigación: *Efecto de la pureza de la miel diluida “B” y tiempo de proceso de cristalización, en el rendimiento y tamaño de cristales en la masa cocida “C”, durante la elaboración de azúcar rubia* donde se concluye que mientras mayor es la pureza de alimentación y el tiempo de desarrollo en las templeas de masa segunda y tercera mayor es el rendimiento de cristalización y por consiguiente se da el mismo caso para las templeas de masa primera, garantizando una mayor velocidad de cristalización para las masas primeras.⁵

³ VELAZQUEZ, Oscar *Simulación y control del proceso de cristalización de azúcar de caña por lotes a vacío con un enfoque de diseño directo*. p. 31.

⁴ VALENZUELA, Osvaldo. *Estudio del sistema de cocción y cristalización de masas cocidas para la obtención de azúcar en la empresa azucarera san buenaventura – easba*. p. 58.

⁵ LINARES, Ronald. *Efecto de la pureza de la miel diluida “B” y tiempo de proceso de cristalización, en el rendimiento y tamaño de cristales en la masa cocida “C”, durante la elaboración de azúcar rubia*. p. 12.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Obtención de azúcar en Guatemala

El proceso de elaboración de azúcar de caña, consiste en varias etapas, las cuales se resumen en: preparación de caña, extracción de jugo en molinos, clarificación del jugo, evaporación, clarificación de meladura, agotamiento en tachos y centrifugación.

2.2. Materia prima

La caña de azúcar proveniente de las siembras de campo, es transportada en camiones a los ingenios, donde pasa a las diferentes etapas de preparación.

2.2.1. Caña de azúcar

Es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz. Tiene un tallo macizo de dos a cinco metros de altura con 5 o 6 cm de diámetro. El tallo acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en un ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis, con hojas que llegan a alcanzar de dos a cuatro metros de longitud.

2.2.2. Transporte de la caña

Luego de alcanzar su período de cultivo, la caña es quemada para eliminar las hojas y dejar solamente los tallos, ricos en sacarosa. Luego la caña es cortada

de forma manual o mecanizada y por último cargada a jaulas que posteriormente serán transportadas por camiones. En Guatemala, los camiones pueden transportar hasta seis jaulas con varias toneladas de caña por jaula.

2.2.3. Ingreso al patio de caña

Al momento en que ingresa la caña al ingenio azucarero, es muestreada por el laboratorio de caña, el cual determina la cantidad de sacarosa, fibra y otras variables de interés que trae la caña de las diferentes fincas. Esto se hace con el fin de obtener una referencia para la evaluación del rendimiento y eficiencia del proceso de obtención de azúcar.

La caña luego es volteada por viradores en las mesas alimentadoras para comenzar el proceso de obtención, con la primera etapa que consiste en la preparación.

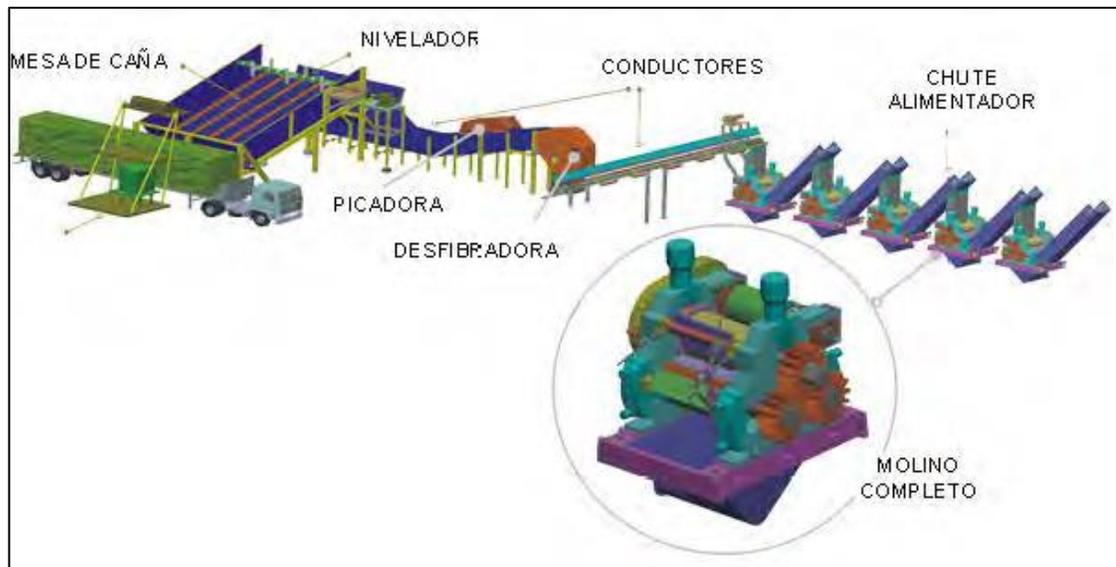
2.2.4. Cortado y desfibrado de caña

Para asegurar una extracción efectiva, la caña pasa por una etapa de preparación, en la cual se remueve cierta cantidad de polvo y tierra, se nivela el colchón de caña, se parte en trozos, se pica, desfibra y acolchona, entregando a los molinos.

Las jaulas transportadas, son volteadas en la mesa de caña, la cual consiste en una gran bandeja inclinada con cadenas motrices y un nivelador o eje con dientes, que nivela los tallos para emparejar la alimentación y luego pasa a una troceadora, otro eje con machetes que trocea la caña en pedazos que caen luego al conductor de caña.

Los trozos de caña troceada caen de la mesa a un conductor de caña, donde son transportados hacia un nivelador que apelmaza el colchón y éste luego pasa a través de una picadora y después una desfibradora, las cuales terminan de preparar la caña desmenuzándola, completando la preparación y asegurando una mejor extracción en el área de molinos.

Figura 1. **Diagrama de patio y molinos**

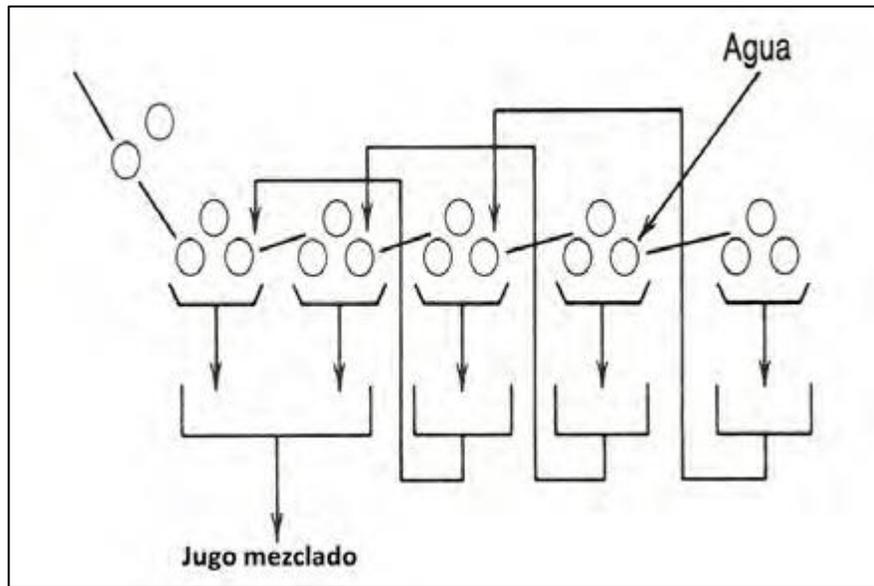


Fuente: Cengicaña. *Manual de producción de azúcar en Guatemala*. p. 316.

2.3. **Extracción de caña**

El bagazo preparado pasa por un tándem de molinos, el cual consiste en cinco molinos que extraen el jugo del bagazo ingresado con ayuda de agua de imbibición, completado por una maceración compuesta.

Figura 2. **Agua de imbibición de molinos**



Fuente: Cengicaña. *Manual de producción de azúcar en Guatemala*. p. 321.

2.3.1. **Conductores de caña**

La caña preparada ingresa al tándem de molinos donde baja por un conductor vertical directamente a la masa cañera del primer molino. Cada molino consiste en cuatro masas por las cuales pasa la caña preparada y se aplica presión para extraer el jugo y luego dejar bagazo residual que sirve para la alimentación del siguiente.

El objetivo de colocar los molinos en un tándem, es extraer la mayor cantidad de jugo posible de la caña preparada y sacar luego un bagazo bajo en concentración de sacarosa, transportado por conductores que lo llevan a la caldera para servir como combustible de las mismas.

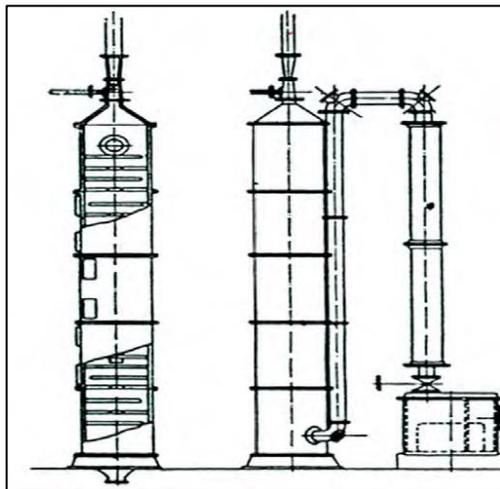
2.4. Extracción de jugo

El jugo extraído pasa luego a la estación de clarificación, que consiste en varias etapas que tienen como objetivo la remoción de lodos e impurezas provenientes de campo y caña para asegurar un jugo clarificado con un pH que minimice la inversión en la subsecuente operación de evaporación.

2.4.1. Sulfitación de jugo

En esta etapa, el jugo se pone en contacto con dióxido de azufre, obtenido de la quema de azufre en un horno, con el objetivo de disminuir el color del jugo, aumentar el brillo, eliminar microorganismos y disminuir la viscosidad.

Figura 3. **Diseño torre de sulfatación con quemador de azufre**



Fuente: ÉMILE HUGOT, Charles Paul. *Manual para ingenieros azucareros*. p. 315.

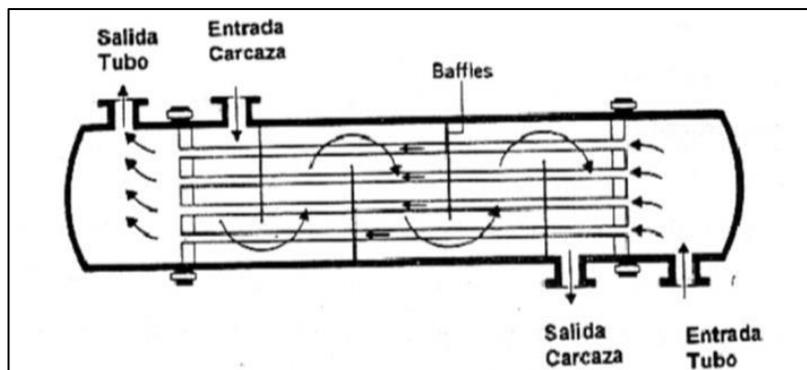
2.4.2. Alcalización del jugo

Al jugo sulfitado luego se le agrega lechada de cal que consiste en una suspensión de cal con agua o con jugo/meladura (sacarato de calcio), en ella se neutraliza la acidez del jugo. Esta etapa se conoce normalmente como defecación. La formación de *flocs* de fosfato cálcico para la subsecuente etapa de calentamiento y floculación es vital para la clarificación del jugo.

2.4.3. Calentamiento de jugo

El jugo alcalizado es luego calentado por etapas hasta llevarlo a su temperatura de ebullición, con el fin de acelerar las reacciones químicas entre la cal agregada, los fosfatos y desnaturalizar las proteínas contenidas en el jugo para la formación de *flocs* de base $Ca_3(PO_4)_2$. También se calienta con el fin de proteger el jugo de microorganismos y posteriormente a su paso por un tanque flash, el jugo es despresurizado y expulsa rápidamente el aire atrapado o disuelto en el jugo.

Figura 4. Intercambiador de calor de coraza y tubos

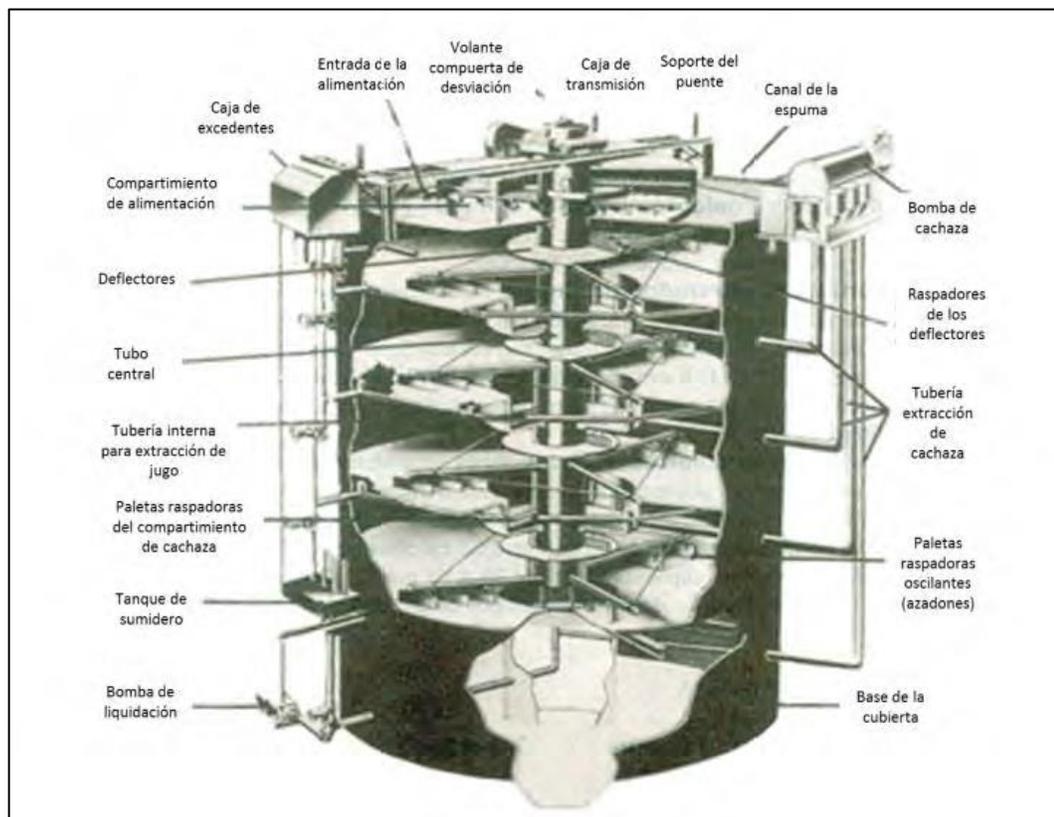


Fuente: ÉMILE HUGOT, Charles Paul. *Manual para ingenieros azucareros*. p. 320.

2.4.4. Filtración de lodos en clarificador

El jugo pasa dentro del clarificador luego de ser puesto en contacto a la salida del *flash*, con floculante, este permite atrapar los flóculos formados en las etapas de alcalizado y calentamiento. Luego, se obtiene el jugo clarificado listo para la entrada a la evaporación y el subproducto o contenido de impurezas conocido como cachaza, y va a la estación de filtración para recuperar una parte del jugo que lleva en sí.

Figura 5. Clarificador Dorr Oliver



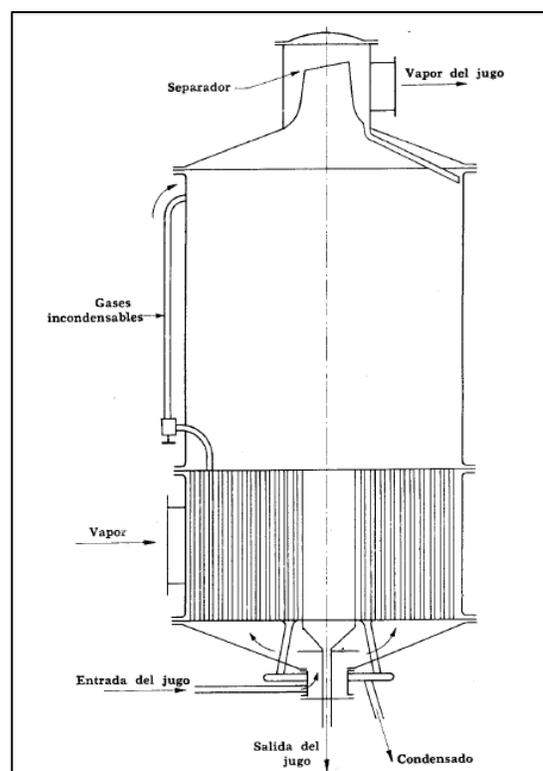
Fuente: CHEN, James. *Manual del azúcar de caña*. p. 132.

2.5. Evaporadores

El jugo clarificado, siendo sacarosa disuelta en agua con ciertas impurezas, pasa a los evaporadores. Estos tienen como objetivo la remoción de la mayor cantidad de agua, concentrando la solución de 15 °Brix a 65 °Brix.

Hay distintos tipos de evaporadores de los cuales se nombrará solamente el tipo Robert, que consiste en un cuerpo cilíndrico con una calandria en la parte inferior, en la cual entra vapor de lado de la carcasa y dentro de los tubos pasa el jugo al cual se le remueve el agua.

Figura 6. **Evaporador tipo Robert**

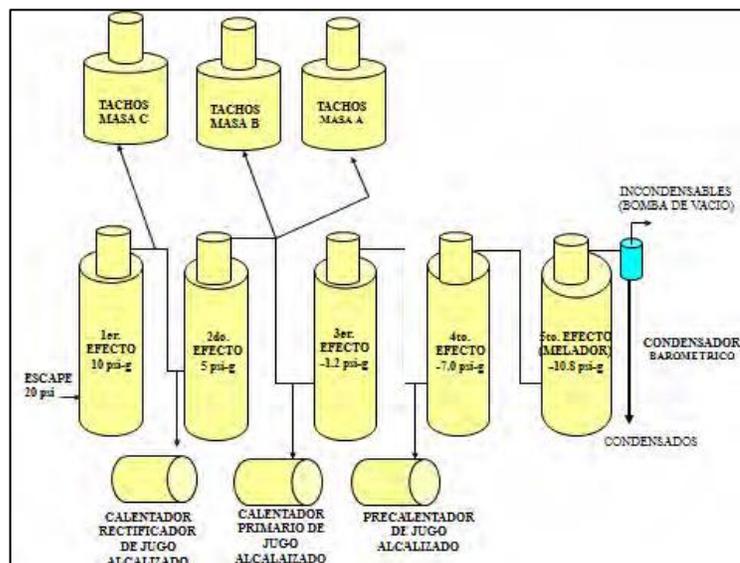


Fuente: ÉMILE HUGOT, Charles Paul. *Manual para ingenieros azucareros*. p. 349.

La configuración de los evaporadores mencionada arriba usualmente está dispuesta en múltiple efecto, que consiste en alimentar vapor de una fuente viva, conocido como vapor de escape, proveniente de los turbogeneradores y subsecuentemente el vapor que se genera pasa a alimentar a los siguientes vasos hasta llegar al último evaporador.

En la estación de evaporación, el jugo se mantiene expuesto a altas temperaturas en particular en el primer efecto, durante el tiempo de residencia que tiene dentro de los evaporadores, lo cual tiene una influencia sobre la inversión de la sacarosa a su paso por esta etapa. De hecho, la mayor temperatura a la que se somete el material en todo el proceso, se encuentra en el primer efecto.

Figura 7. Sistema de evaporación de múltiple efecto



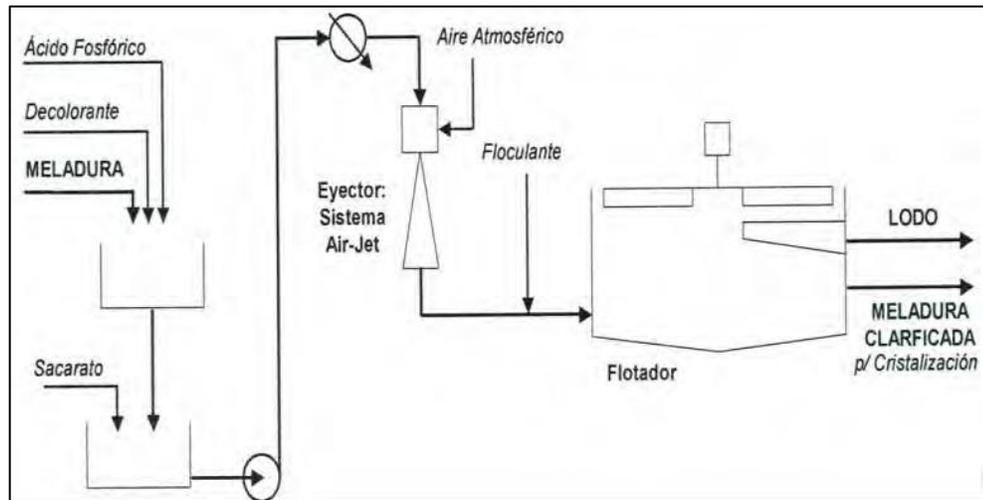
Fuente: CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 342.

2.6. Clarificación de meladura

Las impurezas presentes en el jugo claro (color y sólidos suspendidos), se concentran e incrementan durante la evaporación, por lo que, si se está produciendo azúcar blanca sulfitada, estas impurezas deben removerse tanto como sea posible, para lo cual interviene el proceso de clarificación de la meladura no clarificada.

La clarificación de la meladura puede realizarse por la combinación de varios sub procesos. En general hay que hacer primero un tratamiento fisicoquímico para acondicionar las impurezas y hacer posible su separación posterior. El tratamiento fisicoquímico consiste en formar conglomerados de partículas sólidas y remover sustancias colorantes. Para formar los conglomerados de partículas sólidas se dosifica ácido fosfórico, floculante y cal (como lechada o como sacarato de calcio). Para remover sustancias colorantes se puede dosificar agua sulfitada o productos químicos comerciales para esta función (decolorantes). Posteriormente a la dosificación de los químicos y la homogenización, se calienta la meladura de 145°-150 °F (temperatura a la que sale del vaso melador) hasta 175°-180 °F.

Figura 8. Sistema de clarificación de meladura



Fuente: Engenovo. *Flotación de meladura*. www.engenovo.com.br/es/artigostecnicos/fxc.pdf.

Consulta: 3 de mayo de 2019.

2.7. Agotamiento y cristalización

El proceso de cristalización consiste en iniciar el desarrollo de los cristales de sacarosa. El método más usado es por semillamiento, en este procedimiento la solución azucarada de pureza definida se concentra en el tacho operado a un vacío de alrededor de 24" Hg, llevando la concentración de la misma hasta alcanzar un coeficiente de sobresaturación (SS) de entre 1,00 y 1,25. A la región comprendida en este rango de sobresaturación se le conoce como zona metaestable, correspondiente a unos 80 ° - 81 ° Brix, su característica principal es que en esta zona los cristales crecen de tamaño, pero no aparecen espontáneamente nuevos núcleos de cristalización o cristales nuevos. En este punto se agrega una cantidad determinada de semilla y se mantiene el régimen de evaporación agregando agua caliente, lo que permite apartar la viscosidad

alrededor de los cristales y permite que se definan las caras del cristal (aclaramiento o seba).

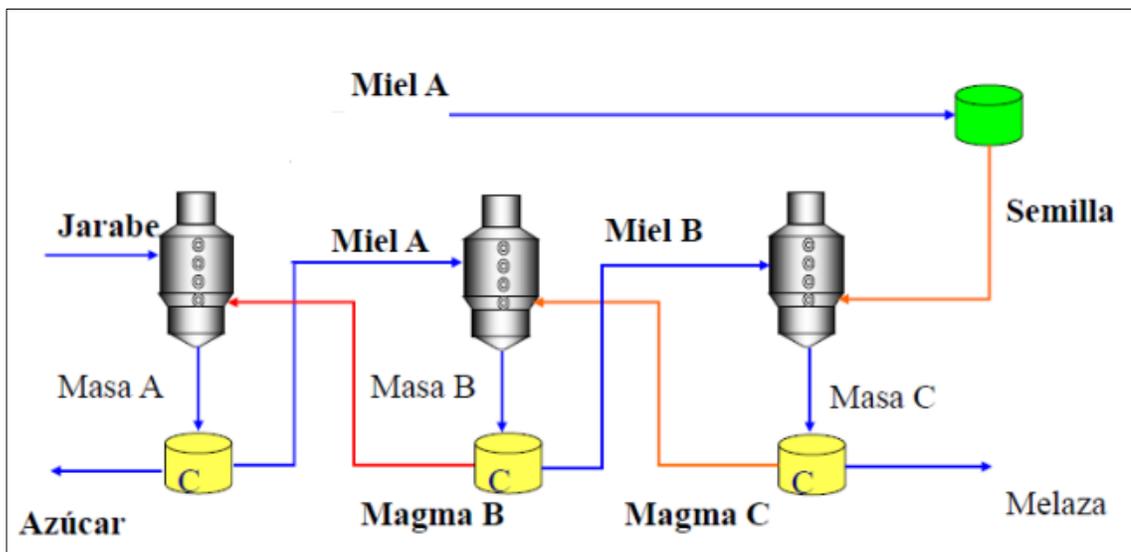
Cuando el grano está adecuadamente definido, se fija el vacío del tacho a 25" Hg y se inicia la alimentación con solución de material azucarado, es decir, meladura o miel.

El producto final de la evaporación es un jugo concentrado que sirve de alimentación en los tachos de masa primera. La cristalización tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto, donde la meladura se lleva a etapa de sobresaturación.

2.7.1. Sistemas de masas y magmas en cristalización

Sistema de tres masas y doble magma para desarrollo del cristal y agotamiento de las mieles: El sistema base y más utilizado para los procesos del desarrollo del cristal y del agotamiento de las mieles, es el de tres masas y doble magma. En la figura 9 se encuentra el diagrama simplificado para ilustrar el sistema de las tres masas (masa A, masa B y masa C) y doble magma (magma B y magma C).

Figura 9. Sistema de cristalización de 2 magmas y 3 masas



Fuente: Avibert. *Sistema de doble magma*. <http://avibert.blogspot.com/2013/11/sistema-de-doble-magma-tecnologia.html>. Consulta: 3 de mayo de 2019.

El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho. Bajo la vigilancia de un tachero experto, los cristales originales crecen sin que se formen cristales adicionales, de manera que, cuando el tacho está totalmente lleno todos los cristales tienen el tamaño deseado. Los cristales y la meladura forman una masa densa conocida como masa cocida; a continuación, la templa se descarga por medio de una válvula de pie a un mezclador.

2.7.2. Templa

Masa cocida que fue llevada a su punto final de cocimiento y fue descargada de un tacho discontinuo o de *batch*. Es propio hablar de “templa” al referirse al material contenido en el tacho o que se encuentra en proceso de descarga. Pero en el momento que se une al total de masa cocida que se encuentra en un

mezclador, a la espera de ser purgada en una centrifuga, no es propio referirse a este material genérico como templa, lo propio y acostumbrado es llamar a este material como masa cocida o masa.

2.7.3. Sobresaturación en el desarrollo de templeas

Sobresaturación se refiere a una solución que ha pasado el límite de soluto que el solvente puede admitir, por lo que este exceso de soluto aparece como un precipitado.

En la industria azucarera el proceso de cristalización se realiza por evaporación. Al remover agua de la solución se garantiza la estabilidad y el crecimiento de los cristales de azúcar.

Para ello, la concentración de sacarosa en la solución debe mantenerse en un punto donde sea viable la transformación de azúcar líquido a estado sólido (cristales).

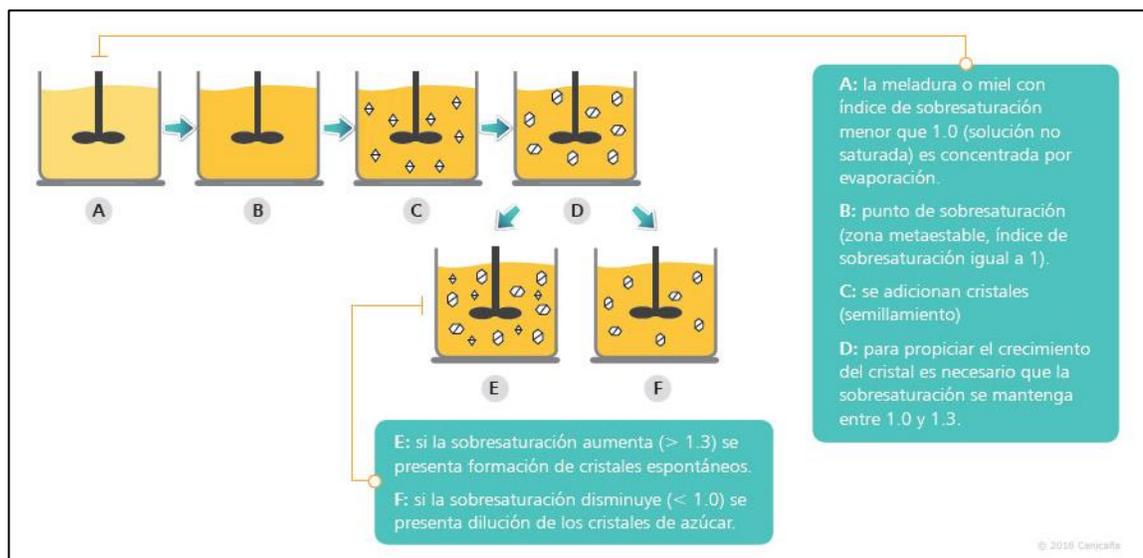
Este punto de concentración es llamado índice de sobresaturación. De tal manera que si el índice es muy bajo (menor que 1,0) se disuelven los cristales y si es muy alto (mayor que 1,3) se presenta la formación de cristales espontáneos, los cuales perjudican la calidad del azúcar final.

Tradicionalmente, el proceso de cristalización de azúcar ha funcionado con una operación manual, lo que significa que cada operador de tachos utiliza sus propios criterios para cristalizar. Por lo tanto, los resultados finales varían de un operador a otro en términos de tiempo de procesamiento, agotamiento, tamaño del cristal, coeficiente de variación (de tamaño), y consumo energético de vapor.

La implementación de estrategias de control automático para el proceso de cristalización no es fácil porque un tacho posee múltiples variables a manipular, como presión, temperatura, nivel y °Brix.

Las impurezas afectan la cristalización y, actualmente, no existe una medición directa de la sobresaturación, no se conoce en línea la razón de crecimiento o la forma de cristales.

Figura 10. **Sobresaturación en el proceso de cristalización**



Fuente: CENGICAÑA. *Automatización de la cristalización*. p. 321.

2.8. Centrifugación

La masa cocida en el mezclador es luego vertida en centrifugas, que la separan en los cristales de azúcar de la miel que los contiene.

Los cristales de la masa cocida, tienen un revestimiento de miel que se elimina mediante el uso de centrifugas. En esta etapa se da la separación del azúcar y las mieles, las cuales sufren un proceso de recristalización logrando con esta el máximo agotamiento y, por consiguiente, la recuperación del azúcar contenido en las mismas.

2.9. Secado

El azúcar, se seca para obtener un producto con características de humedad adecuadas y que son necesarias para su conservación, ya sea en sacos o silos. El azúcar al salir de las centrifugas sale con aproximadamente 1 % de humedad y al pasar por la secadora esta baja a 0,1 %.

Figura 11. **Secador rotativo**



Fuente: Allocco. *Máquinas y equipos para la industria aceitera*. <http://allocco.com.ar/es/home/>.

Consulta: 9 de mayo de 2019.

2.10. Almacenamiento

Para el almacenamiento de la azúcar cruda generalmente se utiliza bodegas de granel y es llevada a esta bodega por medio de un sistema de conductores de

faja o banda. En algunos lugares se utilizan sacos de polipropileno para almacenamiento, aunque este uso es más exclusivo para el caso de la azúcar blanca.

2.11. Análisis para masas de primera, segunda y tercera

A continuación, se describe el análisis para masas de primera, segunda y tercera.

2.11.1. Luz polarizada

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

Muchas sustancias, incluyendo las soluciones de sacarosa y otros azúcares, tienen la propiedad de hacer girar el plano de polarización. El ángulo de rotación del plano de polarización puede ser medido con instrumentos ópticos adecuados, y el análisis de azúcares por métodos ópticos emplea la medición del ángulo de rotación.

Puesto que la sacarosa hace girar el plano de polarización en el sentido de las manecillas del reloj, se le denomina un azúcar dextrorrotatorio o dextrógiro; la dextrosa también desvía el plano de luz a la derecha. La levulosa hace girar el

plano de polarización a la izquierda por lo que se dice que es un azúcar levorrotatorio o levógiro.

2.11.2. Principio de medición de sacarosa

Cuando un rayo de luz polarizada pasa a través de una solución de cualquier azúcar, la rotación varía con la concentración de la solución, la longitud de celda, la longitud de onda de la luz, la temperatura, el peso y el volumen y la fuente de luz son estándar. Al medir la rotación en estas condiciones constantes se determina la concentración del azúcar presente, sujeto a lo previamente dicho sobre las mezclas de varios azúcares. Dicho de otra manera, la rotación es una medida precisa de la concentración de sacarosa en una muestra, siempre y cuando no estén presentes otras sustancias ópticas.

2.11.3. Medición de la sacarosa por polarimetría

Se define Pol al valor determinado por polarización directa o sencilla de la solución de peso normal en un sacarímetro. El término se usa como sustancia verdadera en los cálculos. Debido a su sencillez y conveniencia, se entiende generalmente, que polarización indica la operación o el procedimiento, y Pol el resultado obtenido. Actualmente se utilizan expresiones como libras de Pol, toneladas de Pol.

2.11.4. Medición Brix soluciones azucaradas

El grado brix representa el porcentaje en peso de la sacarosa en una solución de azúcar pura. Se acostumbra considerar el grado Brix como el porcentaje de materia sólida, o sólidos totales, disueltos en un líquido, aunque

esto es solamente cierto en las soluciones de azúcar puro. El grado Brix, se puede determinar mediante un aerómetro o mediante un refractómetro.

Cuando los sólidos totales se determinan mediante un refractómetro, resulta que el índice de refracción de una solución de sacarosa pura es una medida del contenido de sacarosa, y así como el Brix se amplía por conveniencia para que indique los sólidos distintos de la sacarosa pura de las soluciones, así las lecturas de los refractómetros se utilizan como una indicación de los sólidos presentes en las soluciones impuras.

2.11.5. Pureza en soluciones azucaradas

La pureza de un producto de azúcar es el azúcar de caña que contiene, en porcentaje sobre la materia sólida. El azúcar se puede expresar como Pol o como sacarosa, y el contenido de sólido se puede expresar como brix, es por ello que la pureza se puede expresar de distintas formas:

- Pureza aparente: es conocida simplemente como pureza y es la relación de la Pol respecto del Brix. Es utilizada para trabajo en ingenios, refinerías y fábricas de azúcar.
- Pureza al refractómetro –Pol: los sólidos al refractómetro se sustituyen en lugar del Brix.
- Pureza verdadera: pureza que se calcula comparando la sacarosa sobre el porcentaje de sólidos por desecación.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables que influirán en el estudio serán cuantitativas. Estas tendrán efectos directos sobre los resultados finales del objeto de estudio del trabajo de graduación, y se enlistan a continuación:

Tabla I. Descripción de las variables cuantificables

No.	Variable	Unidad	Tipo de variable		
			Independiente	Dependiente	Fija
1	Volumen de templa	pie ³	X		
2	Brix de templa	°Brix		X	
3	Pol de templa	% m/m		X	
4	Presión de vapor	psig	X		
5	Brix alimentación	°Brix	X		
6	Pol alimentación	% m/m		X	
7	Tiempo de templa	h		X	
8	Flujo de alimentación	M ³ /h		X	
9	Índice de sobresaturación	adimensional		X	
10	Presión de vacío	psia			X
11	Tiempo	h		X	
12	Tipo de templa	Adimensional	X		

Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación del desarrollo de los modelos de consumos de la templa, se evaluará la misma a 2 distintas condiciones de presión de vapor y brix de alimentación, como se muestra a continuación:

Tabla II. **Variables de control**

Presión de vapor (PSIG)	Brix de meladura para templa primera (Brix)	Brix de miel A para templa segunda (Brix)	Brix de miel B para templa segunda (Brix)
3	64	78	78
	66	80	80
	69	82	82
4.5	64	78	78
	66	80	80
	69	82	82

Fuente: elaboración propia.

3.2. **Delimitación de campo de estudio**

- Campo de estudio: fabricación de azúcar en Guatemala
- Área de investigación: cristalizadores evaporadores *batch*
- Línea de investigación: consumos de alimentación
- Localización: el estudio se realizó en ingenio de Guatemala, Escuintla
- Objeto de estudio: el desarrollo del estudio se centró en la obtención de los modelos de consumo de alimentación en lo tachos *batch* para la fabricación de azúcar crudo y blanco, a partir de distintas condiciones dentro del mismo.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Sergio Daniel Velasquez Sincuir
- Asesor: Ing. Qco. Byron de Jesús López Maldonado
- Analista de laboratorio
- Instrumentista

3.3.1. Recursos materiales disponibles

De acuerdo con la metodología experimental propuesta, se requerirá de los siguientes recursos materiales:

3.3.2. Materia prima

- Meladura, Miel A y Miel B, Magma b y Magma C

3.3.3. Instrumentos de medición

- Brixómetro
- Refractómetro
- Polarímetro
- Vacuómetro
- Manómetro
- Medidor de flujo

3.3.4. Equipo auxiliar

- Agitadores magnéticos
- Deareador

- Separador de fases Nutsche
- Bomba de vacío 25 hp

3.3.5. Cristalería

- Beakers 500 250 y 100 mililitros, marca Pirex
- Earlenmeyers de 250 mililitros, marca Pirex
- Embudo de vidrio, marca Pirex
- Varilla de agitación
- Pizeta de 500 mililitros
- Papel filtro

3.3.6. Reactivos

- Agua desmineralizada y destilada
- Octapol (Clarificador)
- Alcohol isopropílico

3.4. Técnica cuantitativa

Debido al fenómeno de estudio, las variables que se manipularon en la investigación utilizan parámetros cuantitativos.

El proceso de obtención de los modelos de consumo de alimentación en tachos *batch* consistió en el desarrollo de las plantas primera, segunda y tercera en los tachos *batch*, en la recolección de estas muestras, separar ambas fases por medio de filtros nutsche y medir el Brix y pol de la fase líquida y como una fase homogénea, Calcular el índice de sobresaturación, Calcular el consumo de alimentación como función de las condiciones, y realizar un análisis comparativo.

El procedimiento se realizó como se describe a continuación:

3.4.1. Desarrollo de temple de masa tercera

- Se tendrá un vacío de 25 inhg en el tacho por medio de una bomba de vacío nash de 25 hp.
- Se agregará 600 pie³ de cristalización en el tacho.
- Se abrirá la válvula de vapor teniendo una presión promedio de 3 psig.
- Se abrirá la válvula de miel B con un Brix de 78 hasta obtener un volumen de 1 800 pie³ en el tacho y un Brix de 98.
- Se repetirá el procedimiento para una presión de vapor de 4,5 psig, y Brix de miel B de 80 y 82.
- Se recolectará muestra a los 600, 1 245, 1 800 pies del tacho.

3.4.2. Desarrollo de temple de masa segunda

- Se tendrá un vacío de 25 inhg en el tacho por medio de una bomba de vacío nash de 25 hp.
- Se agregará 600 pie³ de magma C en el tacho.
- Se abrirá la válvula de vapor teniendo una presión promedio de 3 psig.
- Se abrirá la válvula de miel A con un Brix de 78 hasta obtener un volumen de 1 800 pie³ en el tacho y un Brix de 94.
- Se repetirá el procedimiento para una presión de vapor de 4,5 psig, y Brix de miel B de 80 y 82.
- Se recolectará muestra a los 600, 1 245, 1 800 pies del tacho.

3.4.3. Desarrollo de templa de masa primera

- Se tendrá un vacío de 25 inhg en el tacho por medio de una bomba de vacío nash de 25 hp.
- Se agregará 800 pie³ de magma b en el tacho.
- Se abrirá la válvula de vapor teniendo una presión promedio de 3 psig.
- Se abrirá la válvula de meladura con un Brix de 68 hasta obtener un volumen de 2 100 pie³ en el tacho y un Brix de 92.
- Se repetirá el procedimiento para una presión de vapor de 4,5 psig, y Brix de meladura de 68.
- Se recolectará muestra a los 800, 1 645, 2 100 pies del tacho.

3.4.4. Obtención de muestra

- Se tomará el tiempo de inicio de cada una de la templa
- Se Recolectará 0,75 litros de muestra de la masa al inicio y en cada una de las lucetas anotando el tiempo, presión de vacío, Brix de alimentación y volumen de la misma hasta finalizar la templa.
- Se recolectará la muestra final de descarga de masa.

3.4.5. Separación de fases

- Se agregará medio litro de la muestra al filtro nutsch
- Se conectará al aire comprimido
- Se dejará por 10 minutos
- Se recolectará 26 gr de la fase líquida

3.4.6. Análisis de Brix y Pol de fase líquida y masa

- Se pesará 30 gramos de cada una de las muestras en la balanza analítica.
- Se agregará 30 gramos de agua desmineralizada y destilada.
- Se agitará la muestra por 10 minutos hasta disolver toda la masa en el agua.
- Se sumergirá la muestra en el deareador durante 8 minutos hasta desaparecer todas las burbujas de aire en la muestra.
- Se colocará una muestra de 3 gotas en el Brixómetro previamente calibrado y se anotará el Brix de la muestra para cada luceta de cada templa.
- Se pesará 26 gramos de masa diluida.
- Se aforará en un balón de 200 mL con agua desmineralizada y destilada.
- Se agregará 4 gramos de Octapol a un beacker de 500 mL.
- Se mezclará el Octapol con la muestra del balón de 200 mL.
- Se agitará durante 5 minutos.
- Se filtrará la muestra con un papel filtro.
- Se agregará el filtrado en el polarímetro y anotará la lectura del mismo.

3.5. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación, se presenta la recolección y ordenamiento de la información en las siguientes tablas.

Tabla III. Recolección de muestras para masa primera

Templa	repetición	Corrida	Presión. vapor (psi)	Brixalim.	Brixalim. Templa	Pureza de alimentación	Volumen (Pie3)	Tiempo (h)	Brixmasa	Pol masa	Pureza masa	Brix fase líquida	Pol fase líquida	Pureza fase líquida	p. vacío (psi)
Primera	1	1	3.5	64	63.82	85.75	800.00	0.00	87.20	76.28	87.48	76.62	57.32	74.81	25.00
		1	3.5	64	64.87	85.61	1645.00	0.83	88.30	78.20	88.56	75.56	56.28	74.48	25.00
		1	3.5	64	66.54	85.39	2100.00	2.17	93.48	83.76	89.60	79.60	54.32	68.24	25.00
		2	3.5	66	65.71	84.44	800.00	0.00	85.54	73.44	85.85	71.92	55.32	76.92	25.00
		2	3.5	66	65.28	84.67	1645.00	0.70	89.14	76.04	85.30	72.48	50.32	69.43	25.00
		2	3.5	66	64.91	84.86	2100.00	1.80	90.84	77.16	84.94	78.78	48.28	61.28	25.00
		3	3.5	69	68.00	90.76	800.00	0.00	85.44	73.56	86.09	76.40	55.87	73.12	25.00
		3	3.5	69	68.00	90.76	1645.00	1.20	87.20	75.00	86.01	77.28	55.64	72.00	25.00
		3	3.5	69	66.00	86.18	2100.00	1.67	90.02	77.32	85.89	78.69	55.29	70.26	25.00
		4	4.5	64	64.61	85.06	800.00	0.00	84.36	73.88	87.58	74.14	52.52	70.84	25.00
		4	4.5	64	62.80	85.09	1645.00	1.42	88.04	74.92	85.10	75.92	54.20	71.39	25.00
		4	4.5	64	61.00	85.12	2100.00	2.00	92.86	83.56	89.98	79.80	59.00	73.93	25.00
		5	4.5	66	66.26	85.72	800.00	0.00	84.10	71.52	85.04	73.70	57.96	78.64	25.00
		5	4.5	66	66.44	85.62	1645.00	0.45	84.02	69.24	82.41	70.92	55.36	78.06	25.00
		5	4.5	66	66.88	85.35	2100.00	1.50	93.40	82.96	88.82	79.44	51.64	65.01	25.00
		6	4.5	69	70.10	86.28	800.00	0.00	86.54	73.40	84.82	75.92	57.72	76.03	25.00
		6	4.5	69	69.93	86.16	1645.00	0.50	82.00	72.04	87.85	79.94	57.12	71.45	25.00
		6	4.5	69	69.62	88.75	2100.00	1.60	92.18	82.16	89.13	80.76	55.28	68.45	25.00
	2	1	3.5	64	62.25	85.98	800.00	0.00	83.84	73.04	87.12	76.50	55.26	72.23	25.00
		1	3.5	64	62.98	85.87	1645.00	0.58	88.00	72.60	82.50	77.20	55.52	71.92	25.00
		1	3.5	64	64.45	85.67	2100.00	1.75	90.94	78.20	85.99	81.50	57.14	70.11	25.00
		2	3.5	66	66.08	84.01	800.00	0.00	86.58	74.36	85.89	80.42	57.28	71.23	25.00
		2	3.5	66	66.35	84.25	1645.00	1.33	88.28	76.32	86.45	80.96	58.32	72.04	25.00
		2	3.5	66	66.58	84.45	2100.00	2.50	89.50	77.20	86.26	81.66	60.12	73.62	25.00
		3	3.5	69	68.00	90.76	800.00	0.00	81.94	70.68	86.26	74.66	56.31	75.42	25.00
		3	3.5	69	70.00	83.45	1645.00	1.00	87.90	75.58	85.98	77.63	55.55	71.56	25.00
		3	3.5	69	70.00	83.45	2100.00	2.00	93.18	79.91	85.76	80.26	54.88	68.38	25.00
		4	4.5	64	63.55	86.35	800.00	0.00	85.10	73.08	85.88	75.92	47.44	62.49	25.00
		4	4.5	64	64.15	86.12	1645.00	0.75	82.74	71.36	86.25	75.36	58.32	77.39	25.00
		4	4.5	64	64.96	85.83	2100.00	1.75	90.02	79.44	88.25	80.18	57.72	71.99	25.00
		5	4.5	66	66.23	85.70	800.00	0.00	82.24	71.40	86.82	73.68	57.96	78.66	25.00
		5	4.5	66	66.41	85.53	1645.00	0.50	84.28	69.36	82.30	70.80	55.40	78.25	25.00
		5	4.5	66	66.85	85.54	2100.00	1.50	91.30	80.60	88.28	79.40	51.64	65.04	25.00
		6	4.5	69	69.66	83.86	800.00	0.00	85.14	72.00	84.57	80.68	63.00	78.09	25.00
		6	4.5	69	69.42	83.97	1645.00	0.42	86.34	73.68	85.34	80.20	62.16	77.51	25.00
		6	4.5	69	68.57	84.37	2100.00	1.92	92.18	78.80	85.48	79.94	54.00	67.55	25.00
	3	1	3.5	64	64.84	85.65	800.00	0.00	76.82	70.92	92.32	75.00	54.40	72.53	25.00
		1	3.5	64	63.97	85.61	1645.00	0.83	88.04	72.64	82.51	74.60	59.88	80.27	25.00
		1	3.5	64	62.76	85.54	2100.00	2.00	91.34	80.44	88.07	79.36	53.92	67.94	25.00
		2	3.5	66	65.50	84.29	800.00	0.00	87.40	73.96	84.62	78.80	54.64	69.34	25.00
		2	3.5	66	65.58	84.40	1645.00	0.67	88.00	74.84	85.05	80.12	56.60	70.64	25.00
		2	3.5	66	65.76	84.61	2100.00	2.00	92.40	79.37	85.90	81.12	57.72	71.15	25.00
		3	3.5	69	67.00	85.34	800.00	0.00	88.36	75.95	85.96	77.86	55.50	71.28	25.00
		3	3.5	69	72.00	83.33	1645.00	0.75	86.86	74.72	86.03	77.11	55.69	72.21	25.00
		3	3.5	69	68.00	90.76	2100.00	2.00	91.54	78.56	85.82	79.45	55.09	69.35	25.00
		4	4.5	64	64.73	84.96	800.00	0.00	87.20	72.76	83.44	78.70	58.16	73.90	25.00
		4	4.5	64	64.26	84.73	1645.00	0.75	86.36	66.72	77.26	78.92	50.76	64.32	25.00
		4	4.5	64	63.58	84.41	2100.00	1.83	93.30	80.92	86.73	81.04	55.04	67.92	25.00
		5	4.5	66	66.36	85.32	800.00	0.00	84.32	72.64	86.15	71.60	48.76	68.10	25.00
		5	4.5	66	66.54	85.16	1645.00	1.00	82.32	76.80	93.29	70.64	56.72	80.29	25.00
		5	4.5	66	66.98	85.16	2100.00	1.75	92.36	68.80	74.49	79.20	51.24	64.70	25.00
		6	4.5	69	70.10	85.59	800.00	0.00	86.56	73.20	84.57	75.90	57.76	76.10	25.00
		6	4.5	69	69.00	87.43	1645.00	0.98	82.40	72.08	87.48	79.90	57.16	71.54	25.00
		6	4.5	69	69.20	89.19	2100.00	2.17	92.18	82.00	88.96	80.76	55.28	68.45	25.00

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Recolección de muestras para masa segunda

Repetición	Corrida	Presion vap (psig)	Brix alimentación	Brix miel A	Pol miel A	Volumen (pie3)	Tiempo (h)	Brix masa 2da	Presion vapor tacho de 2da. En psig	Vacio tacho 5 fabrica	
1	1	3	78	78,80	58,24	650,00	0,58	94,66	4,00	0,35	
		3	78	78,80	58,24	950,00	0,92	95,72	3,97	0,39	
		3	78	78,80	58,24	1118,00	1,25	95,97	3,96	0,44	
		3	78	78,88	58,72	1385,00	2,08	96,60	3,92	0,55	
		3	78	78,88	58,72	1710,00	2,25	96,72	3,90	0,57	
		3	78	78,88	58,72	1900,00	3,17	92,13	3,85	0,32	
	2	3	80	79,24	59,04	650,00	0,25	90,72	3,12	0,30	
		3	80	79,24	59,04	950,00	0,50	84,61	3,12	0,32	
		3	80	79,20	56,80	1118,00	1,17	95,00	3,21	0,39	
		3	80	79,20	56,80	1385,00	1,42	95,54	3,24	0,41	
		3	80	79,40	57,36	1710,00	2,08	96,02	3,34	0,48	
		3	80	79,40	57,36	1900,00	2,50	96,18	3,39	0,53	
	3	3	82	84,12	60,88	650,00	0,42	93,03	3,12	0,34	
		3	82	84,12	60,88	950,00	0,58	95,52	3,15	0,37	
		3	82	84,12	60,88	1118,00	0,92	96,01	3,21	0,43	
		3	82	84,12	60,88	1385,00	1,25	96,18	3,25	0,50	
		3	82	80,30	58,56	1710,00	2,00	96,55	3,36	0,64	
		3	82	80,30	58,56	1900,00	2,08	96,59	3,38	0,66	
	4	4,5	78	76,50	58,50	650,00	0,75	95,30	3,79	0,42	
		4,5	78	73,32	52,92	950,00	1,00	95,52	3,89	0,43	
		4,5	78	73,32	52,92	1118,00	1,33	95,82	4,02	0,44	
		4,5	78	73,32	52,92	1385,00	2,08	96,49	4,31	0,46	
		4,5	78	73,32	52,92	1710,00	2,50	96,66	4,49	0,48	
		4,5	78	79,64	56,80	1900,00	3,08	95,62	4,71	0,82	
	5	4,5	80	79,68	59,80	650,00	0,50	92,45	3,90	0,21	
		4,5	80	79,68	59,80	950,00	0,67	94,65	3,93	0,24	
		4,5	80	79,68	59,80	1118,00	0,92	95,48	3,97	0,28	
		4,5	80	79,68	59,80	1385,00	1,17	95,54	4,00	0,31	
		4,5	80	79,12	59,04	1710,00	1,83	96,04	4,10	0,41	
		4,5	80	79,12	59,04	1900,00	2,50	96,35	4,20	0,51	
	6	4,5	82	81,28	57,28	650,00	0,42	93,51	4,77	0,27	
		4,5	82	81,28	57,28	950,00	0,58	95,46	4,77	0,30	
		4,5	82	81,28	57,28	1118,00	0,83	95,83	4,75	0,35	
		4,5	82	81,28	57,28	1385,00	1,17	96,07	4,74	0,42	
		4,5	82	81,28	57,28	1710,00	1,92	96,63	4,73	0,56	
		4,5	82	80,36	57,36	1900,00	2,33	96,93	4,71	0,64	
	2	1	3	78	78,98	57,88	650,00	0,25	89,04	3,73	0,36
			3	78	78,98	57,88	950,00	0,58	95,31	3,69	0,40
			3	78	78,98	57,88	1118,00	0,92	95,56	3,65	0,44
			3	78	78,98	57,88	1385,00	1,17	95,75	3,62	0,46
			3	78	78,24	57,04	1710,00	1,92	96,31	3,52	0,55
			3	78	78,24	57,04	1900,00	2,42	96,69	3,46	0,61
		2	3	80	80,12	58,58	650,00	0,42	93,01	2,85	0,39
			3	80	80,12	58,58	950,00	0,58	95,10	2,77	0,40
			3	80	80,12	58,58	1118,00	0,92	96,10	2,60	0,43
			3	80	80,12	58,58	1385,00	1,25	96,35	2,41	0,46
			3	80	80,12	58,58	1710,00	2,00	96,92	2,03	0,53
			3	80	80,12	58,58	1900,00	2,42	97,24	1,82	0,57
3		3	82	80,50	55,50	650,00	0,42	92,53	3,12	0,44	
		3	82	80,50	55,50	950,00	0,67	95,54	3,15	0,44	
		3	82	81,16	55,92	1118,00	0,92	95,73	3,17	0,44	
		3	82	81,16	55,92	1385,00	1,25	95,99	3,19	0,45	
		3	82	81,16	55,92	1710,00	2,08	96,62	3,26	0,45	
		3	82	81,16	55,92	1900,00	2,42	96,88	3,29	0,46	
4		4,5	78	77,20	56,20	650,00	0,25	95,62	4,71	0,82	
		4,5	78	77,20	56,20	950,00	1,00	95,32	4,94	0,37	
		4,5	78	77,20	56,20	1118,00	1,25	96,04	4,93	0,40	
		4,5	78	77,20	56,20	1385,00	1,58	96,14	4,93	0,44	
		4,5	78	79,64	56,80	1710,00	2,33	96,37	4,90	0,54	
		4,5	78	79,64	56,80	1900,00	2,83	96,53	4,88	0,61	
5		4,5	80	76,66	59,44	650,00	0,50	93,30	4,07	0,57	
		4,5	80	76,66	59,44	950,00	0,67	94,81	4,06	0,48	
		4,5	80	76,66	59,44	1118,00	1,00	95,38	4,03	0,31	
		4,5	80	76,66	59,44	1385,00	1,25	95,57	4,02	0,18	
		4,5	80	79,06	58,00	1710,00	2,00	96,13	3,96	0,39	
		4,5	80	79,06	58,00	1900,00	2,50	96,50	3,93	0,55	
6		4,5	82	80,56	57,28	650,00	0,25	88,33	3,61	0,53	
		4,5	82	80,56	57,28	950,00	0,42	77,83	3,59	0,23	
		4,5	82	80,56	57,28	1118,00	1,00	93,40	3,49	0,29	
		4,5	82	80,56	57,28	1385,00	1,33	95,23	3,45	0,34	
		4,5	82	80,56	57,28	1710,00	1,92	96,43	3,35	0,42	
		4,5	82	80,56	57,28	1900,00	2,50	96,59	3,26	0,50	

Continuación de la tabla IV.

3	1	3	78	78,20	56,28	650,00	0,42	93,12	3,58	0,67
		3	78	78,20	56,28	950,00	0,58	94,58	3,59	0,64
		3	78	78,20	56,28	1118,00	0,92	96,19	3,63	0,58
		3	78	78,20	56,28	1385,00	1,25	96,15	3,66	0,52
		3	78	78,13	56,68	1710,00	2,00	96,57	3,75	0,39
	2	3	78	78,13	56,68	1900,00	2,42	96,79	3,79	0,31
		3	80	80,70	56,48	650,00	0,50	92,60	3,15	0,22
		3	80	80,70	56,48	950,00	1,00	96,01	3,17	0,31
		3	80	80,70	56,48	1118,00	1,25	96,19	3,18	0,35
		3	80	80,70	56,48	1385,00	1,92	96,66	3,19	0,46
	3	3	80	80,78	56,48	1710,00	2,50	97,07	3,21	0,55
		3	80	80,78	56,48	1900,00	2,67	96,81	3,22	0,74
		3	82	82,32	58,64	650,00	0,17	93,20	3,08	0,67
		3	82	82,32	58,64	950,00	0,33	95,45	3,08	0,47
		3	82	82,32	58,64	1118,00	0,58	95,83	3,09	0,18
	4	3	82	82,32	58,64	1385,00	0,75	95,97	3,09	0,21
		3	82	82,32	58,64	1710,00	1,42	96,53	3,12	0,37
		3	82	82,32	58,64	1900,00	1,92	96,95	3,14	0,49
		4,5	78	77,80	55,84	650,00	0,42	89,49	3,46	0,23
		4,5	78	77,80	55,84	950,00	0,83	95,63	3,49	0,33
	5	4,5	78	77,80	55,84	1118,00	1,08	95,85	3,51	0,38
		4,5	78	77,80	56,96	1385,00	1,83	96,50	3,56	0,56
		4,5	78	77,80	56,96	1710,00	2,25	96,87	3,61	0,65
		4,5	78	79,58	56,96	1900,00	2,50	95,74	3,62	0,71
		4,5	80	79,74	56,80	650,00	0,50	93,33	4,85	0,68
	6	4,5	80	79,74	56,80	950,00	0,67	95,55	4,85	0,67
		4,5	80	79,74	56,80	1118,00	0,92	96,01	4,84	0,66
		4,5	80	79,74	56,80	1385,00	1,25	96,17	4,83	0,65
		4,5	80	79,74	56,80	1710,00	2,00	96,51	4,81	0,63
		4,5	80	79,74	56,80	1900,00	2,33	96,66	4,80	0,62
7	4,5	82	80,56	57,28	650,00	0,25	88,33	3,61	0,53	
	4,5	82	80,56	57,28	950,00	0,42	77,83	3,59	0,23	
	4,5	82	80,56	57,28	1118,00	1,00	93,40	3,49	0,29	
	4,5	82	80,56	57,28	1385,00	1,33	95,23	3,45	0,34	
	4,5	82	80,56	57,28	1710,00	1,92	96,43	3,35	0,42	
4,5	82	80,56	57,28	1900,00	2,50	96,59	3,26	0,50		

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Recolección de muestras para masa tercera**

Repetición	Corrida	Presion vap (psig)	Brix alimentación	Brix miel b	Pol miel b	Volumen (pie3)	Tiempo (h)	Brix masa 3ra	Presion vapor tacho 3a	Presion vapor tacho. de 3a. (psig)	Presion vacio tacho de 3a. (psig)	
1	1	3,00	78,00	76,95	42,56	755,00	0,25	89,63	0,15	2,09	4,34	
		3,00	78,00	76,95	42,56	1050,00	0,75	96,04	0,13	1,86	4,71	
		3,00	78,00	77,18	42,48	1330,00	1,58	96,25	0,11	1,49	5,31	
		3,00	78,00	77,18	42,48	1545,00	2,25	95,96	0,08	1,18	5,79	
	2	3,00	78,00	77,18	42,48	1900,00	3,08	95,82	0,06	0,81	6,40	
		3,00	80,00	80,20	43,20	755,00	0,17	65,96	0,24	3,36	4,37	
		3,00	80,00	80,20	43,20	1050,00	0,58	93,23	0,24	3,38	5,21	
		3,00	80,00	80,20	43,20	1330,00	1,08	95,56	0,24	3,39	6,22	
	3	3,00	80,00	81,36	44,72	1900,00	2,33	97,60	0,24	3,43	8,71	
		3,00	80,00	81,36	44,72	1545,00	1,50	95,94	0,24	3,41	7,04	
		3,00	82,00	81,22	54,44	755,00	0,42	80,95	0,26	3,73	2,33	
		3,00	82,00	81,22	54,44	1050,00	0,83	95,82	0,26	3,72	3,01	
	4	3,00	82,00	81,22	54,44	1330,00	1,42	97,11	0,26	3,70	3,96	
		3,00	82,00	81,22	54,44	1545,00	2,08	97,81	0,26	3,69	5,05	
		3,00	82,00	80,74	56,44	1900,00	2,50	98,19	0,26	3,68	5,73	
		4,50	78,00	79,04	40,78	755,00	0,42	90,06	0,31	4,40	7,75	
	5	4,50	78,00	79,04	40,78	1050,00	0,92	94,26	0,31	4,34	7,65	
		4,50	78,00	79,16	40,96	1330,00	1,67	94,68	0,30	4,27	7,51	
		4,50	78,00	79,16	40,96	1545,00	2,42	95,49	0,30	4,19	7,35	
		4,50	78,00	77,46	41,40	1900,00	3,33	95,97	0,29	4,09	7,18	
	6	4,50	80,00	78,40	44,72	755,00	0,33	70,49	0,10	1,35	5,61	
		4,50	80,00	78,40	44,72	1050,00	0,75	94,59	0,08	1,15	6,13	
		4,50	80,00	78,48	44,72	1330,00	1,33	96,54	0,06	0,88	6,87	
		4,50	80,00	82,96	45,72	1545,00	1,75	96,89	0,05	0,68	7,39	
	7	4,50	80,00	82,96	45,72	1900,00	2,50	97,59	0,02	0,33	8,35	
		4,50	82,00	80,66	44,04	755,00	0,00	80,51	0,25	3,53	4,23	
		4,50	82,00	80,66	44,04	1050,00	0,33	93,27	0,25	3,55	4,84	
		4,50	82,00	82,00	43,64	1330,00	1,00	94,17	0,25	3,56	6,06	
	8	4,50	82,00	82,00	43,64	1545,00	1,50	95,76	0,25	3,56	6,97	
		4,50	82,00	82,00	43,64	1900,00	2,58	97,83	0,25	3,59	8,96	
		3,00	78,00	78,32	42,32	755,00	0,33	83,46	0,21	2,98	4,46	
		3,00	78,00	78,32	42,32	1050,00	0,75	94,59	0,20	2,78	5,07	
	2	1	3,00	78,00	78,32	42,32	1330,00	1,50	95,95	0,17	2,44	6,16
			3,00	78,00	78,32	42,32	1545,00	2,17	95,92	0,15	2,13	7,13
			3,00	78,00	78,32	42,36	1900,00	3,00	96,96	0,12	1,73	8,33
			3,00	80,00	81,02	41,32	755,00	0,25	91,69	0,19	2,67	4,29
		2	3,00	80,00	81,02	41,32	1050,00	0,92	94,09	0,17	2,34	5,02
			3,00	80,00	81,02	41,32	1330,00	1,67	94,37	0,14	1,96	5,85
			3,00	80,00	79,38	40,08	1545,00	2,42	96,67	0,11	1,59	6,66
			3,00	80,00	79,38	40,08	1900,00	2,58	96,37	0,11	1,52	10,76
		3	3,00	82,00	82,13	40,94	755,00	0,33	93,30	0,23	3,26	2,37
			3,00	82,00	82,11	40,94	1050,00	0,50	95,06	0,23	3,28	2,40
			3,00	82,00	81,70	40,32	1330,00	1,00	97,09	0,23	3,31	3,12
			3,00	82,00	82,00	40,32	1545,00	1,50	97,32	0,24	3,34	3,83
		4	3,00	82,00	81,20	40,32	1900,00	2,08	97,63	0,24	3,36	4,68
			4,50	78,00	78,92	40,60	755,00	0,33	94,34	0,31	4,43	4,56
			4,50	78,00	78,92	40,60	1050,00	0,83	96,94	0,31	4,34	4,90
			4,50	78,00	78,92	40,60	1330,00	1,33	97,08	0,30	4,26	5,22
5		4,50	78,00	79,16	40,96	1545,00	2,58	98,23	0,28	4,03	6,03	
		4,50	78,00	79,16	40,96	1900,00	3,50	98,82	0,27	3,86	10,21	
		4,50	80,00	79,59	40,46	755,00	0,83	87,81	0,08	1,06	5,04	
		4,50	80,00	79,80	40,84	1050,00	1,50	93,75	0,05	0,74	5,63	
6		4,50	80,00	79,80	40,84	1330,00	2,00	94,53	0,03	0,48	6,09	
		4,50	80,00	79,80	40,84	1545,00	2,58	95,55	0,01	0,20	6,61	
		4,50	80,00	78,37	41,52	1900,00	3,50	85,45	0,02	0,34	3,48	
		4,50	82,00	82,56	39,64	755,00	0,08	88,69	0,29	4,07	2,20	
7		4,50	82,00	82,56	39,64	1050,00	0,42	97,37	0,28	4,00	2,78	
		4,50	82,00	82,56	39,64	1330,00	0,92	97,40	0,28	3,90	3,66	
		4,50	82,00	82,56	39,64	1545,00	1,33	97,38	0,27	3,82	4,40	
		4,50	82,00	82,56	39,64	1900,00	2,00	98,08	0,26	3,63	5,58	

Continuación de la tabla V.

3	1	3,00	78,00	78,14	39,40	755,00	0,25	90,31	0,16	2,30	5,12
		3,00	78,00	78,14	39,40	1050,00	0,58	95,74	0,16	2,27	5,29
		3,00	78,00	78,14	39,40	1330,00	1,58	95,42	0,15	2,14	5,83
		3,00	78,00	78,88	41,20	1545,00	2,25	95,40	0,15	2,11	6,19
	2	3,00	78,00	78,88	41,20	1900,00	3,25	97,16	0,15	2,13	6,73
		3,00	80,00	79,48	40,32	755,00	0,92	92,06	0,24	3,41	5,45
		3,00	80,00	80,72	40,96	1050,00	1,75	94,28	0,22	3,14	6,83
		3,00	80,00	80,72	40,96	1330,00	2,42	94,77	0,21	2,98	7,93
	3	3,00	80,00	80,72	40,96	1545,00	3,08	95,03	0,21	3,04	9,04
		3,00	80,00	79,46	40,48	1900,00	3,50	95,50	0,22	3,08	12,29
		3,00	82,00	81,10	40,32	755,00	0,42	76,30	0,22	3,12	3,35
		3,00	82,00	81,40	40,32	1050,00	1,08	91,82	0,22	3,18	4,56
	4	3,00	82,00	81,30	40,48	1330,00	1,75	91,21	0,23	3,24	5,76
		3,00	82,00	81,80	40,48	1545,00	2,33	95,45	0,23	3,29	6,81
		3,00	82,00	81,90	40,48	1900,00	3,00	96,91	0,24	3,35	8,02
		4,50	78,00	78,20	56,44	755,00	0,17	92,89	0,14	1,94	3,08
	5	4,50	78,00	78,20	56,44	1050,00	0,33	95,58	0,13	1,86	3,28
		4,50	78,00	78,30	56,44	1330,00	0,83	97,34	0,11	1,58	3,90
		4,50	78,00	78,40	56,44	1545,00	1,25	97,57	0,09	1,33	4,41
		4,50	78,00	78,80	80,44	1900,00	3,00	99,06	0,02	0,34	6,59
	6	4,50	80,00	80,50	40,32	755,00	0,25	90,95	0,30	4,26	3,14
		4,50	80,00	80,50	40,32	1050,00	0,42	94,17	0,30	4,29	3,46
		4,50	80,00	81,56	40,12	1330,00	1,00	96,52	0,31	4,39	4,57
		4,50	80,00	81,56	40,12	1545,00	1,50	97,24	0,32	4,47	5,52
	7	4,50	80,00	79,74	38,44	1900,00	3,33	99,39	0,28	3,97	9,03
		4,50	82,00	81,96	37,92	755,00	0,67	95,11	0,02	0,34	4,16
		4,50	82,00	81,96	37,92	1050,00	1,25	96,78	0,04	0,61	4,73
		4,50	82,00	81,96	37,92	1330,00	1,67	96,90	0,06	0,81	5,14
	8	4,50	82,00	81,34	38,80	1545,00	2,67	97,10	0,09	1,28	6,12
		4,50	82,00	81,34	38,80	1900,00	3,50	88,43	0,12	0,65	4,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Recolección de muestras para masa segunda controlada manualmente**

Templa	Repetición	pvap (psig)	Brix alim.	volumen (pie3)	tiempo(min)	Dif de tiempo (min)	Brix masa	Brix masa	p vacío (psia)
Masa segunda	1	3	74,56	650,00	0,00	0,00	43,21	86,42	25,00
	1	4	74,56	950,00	35,00	35,00	46,96	93,92	25,00
	1	4	74,56	1180,00	50,00	15,00	44,80	89,60	25,00
	1	4	79,82	1385,00	70,00	20,00	45,89	91,78	25,00
	1	4	79,82	1710,00	95,00	25,00	45,91	91,82	25,00
	1	4	79,82	1900,00	115,00	20,00	46,40	92,80	25,00
	2	4	78,56	650,00	0,00	0,00	41,23	82,46	25,00
	2	4	78,56	950,00	25,00	25,00	45,68	91,36	25,00
	2	4	78,56	1180,00	45,00	20,00	45,81	91,62	25,00
	2	2	78,88	1385,00	60,00	15,00	45,82	91,64	25,00
	2	3	78,88	1710,00	75,00	15,00	45,64	91,28	25,00
	2	4	78,88	1900,00	120,00	45,00	47,05	94,10	25,00
	3	2	79,12	650,00	0,00	0,00	42,25	84,50	25,00
	3	4	79,12	950,00	15,00	15,00	45,96	91,92	25,00
	3	3	79,12	1180,00	40,00	25,00	46,00	92,00	25,00
	3	3	79,12	1385,00	60,00	20,00	46,03	92,06	25,00
	3	3	79,12	1710,00	90,00	30,00	45,43	90,86	25,00
	3	4	79,12	1900,00	125,00	35,00	46,14	92,28	25,00
	4	4	79,20	650,00	0,00	0,00	41,36	82,72	25,00
	4	4	79,20	950,00	15,00	15,00	45,58	91,16	25,00
	4	3	79,56	1180,00	35,00	20,00	45,92	91,84	25,00
	4	5	79,56	1385,00	55,00	20,00	45,95	91,90	25,00
	4	5	79,56	1710,00	75,00	20,00	45,17	90,34	25,00
	4	4	79,56	1900,00	140,00	65,00	46,80	93,60	25,00
	5	4	77,56	650,00	0,00	0,00	43,21	86,42	25,00
	5	4	77,56	950,00	15,00	15,00	46,96	93,92	25,00
	5	4	77,56	1180,00	40,00	25,00	44,80	89,60	25,00
	5	4	77,88	1385,00	60,00	20,00	45,89	91,78	25,00
5	4	77,88	1710,00	90,00	30,00	45,91	91,82	25,00	
5	4	77,88	1900,00	125,00	35,00	46,40	92,80	25,00	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Recolección de muestras para masa tacho continuo**

Repetición	Corrida	Tiempo	Brix de meladura	Caudal Meladura a Compartim iento C1 T.C.	Caudal Meladura a Compartim iento C2 T.C.	Presion Vapor Camaras C1/C2 Tacho continuo	Presion Vapor camara C3 Tacho Continuo	
1	1	0,00	64,00	32,573	31,369	1,117	1,054	
	2	45,00	64,00	33,576	32,388	1,114	1,068	
	3	75,00	64,00	37,343	36,302	1,112	1,077	
	4	150,00	64,00	33,908	32,629	1,114	1,099	
	5	205,00	64,00	39,955	39,025	1,121	1,116	
	6	300,00	64,00	37,178	35,568	1,134	1,144	
	1	0,00	66,00	27,56	22,677	0,934	0,723	
	2	45,00	66,00	33,851	27,686	0,936	0,727	
	3	75,00	66,00	33,798	27,548	0,937	0,73	
	4	150,00	66,00	33,839	27,897	0,94	0,738	
	5	205,00	66,00	34,591	28,183	0,943	0,744	
	6	300,00	66,00	34,228	28,121	0,939	0,754	
	1	0,00	69,00	37,822	28,071	0,964	0,787	
	2	45,00	69,00	36,59	25,868	0,969	0,787	
	3	75,00	69,00	37,289	27,468	0,973	0,787	
	4	150,00	69,00	36,782	26,5	0,982	0,788	
	5	205,00	69,00	38,904	28,245	0,988	0,788	
	6	300,00	69,00	38,634	27,929	0,993	0,793	
	2	1	0,00	64,00	29,413	28,428	1,228	1,147
		2	45,00	64,00	31,564	30,418	1,226	1,149
		3	75,00	64,00	32,009	31,16	1,225	1,151
		4	150,00	64,00	32,457	31,267	1,225	1,154
		5	205,00	64,00	32,685	31,086	1,225	1,157
		6	300,00	64,00	34,157	33,066	1,226	1,165
1		0,00	66,00	30,432	22,006	0,988	0,871	
2		45,00	66,00	30,458	21,724	0,991	0,872	
3		75,00	66,00	34,863	25,029	0,993	0,873	
4		150,00	66,00	35,864	26,029	0,998	0,876	
5		205,00	66,00	26,155	15,836	1,002	0,878	
6		300,00	66,00	6,343	12,876	0,997	0,885	
1		0,00	69,00	36,128	31,576	1,301	1,271	
2		45,00	69,00	35,358	31,044	1,303	1,277	
3		75,00	69,00	35,527	30,811	1,305	1,281	
4		150,00	69,00	34,998	30,221	1,308	1,291	
5		205,00	69,00	35,522	30,551	1,311	1,298	
6		300,00	69,00	34,764	29,796	1,316	1,308	

Continuación de la tabla VII.

3	1	0,00	64,00	29,312	26,214	1,309	1,061
	2	45,00	64,00	32,573	31,369	1,117	1,054
	3	75,00	64,00	33,664	32,332	1,115	1,065
	4	150,00	64,00	38,045	36,403	1,112	1,075
	5	205,00	64,00	38,145	36,64	1,11	1,084
	6	300,00	64,00	33,712	32,13	1,115	1,102
	1	0,00	66,00	13,015	13,196	0,904	0,701
	2	45,00	66,00	35,134	23,349	0,911	0,701
	3	75,00	66,00	34,822	23,294	0,915	0,701
	4	150,00	66,00	34,522	23,123	0,926	0,701
	5	205,00	66,00	35,874	24,282	0,934	0,701
	6	300,00	66,00	36,038	23,85	0,944	0,703
	1	0,00	69,00	52,58	50,527	1,127	1,129
	2	45,00	69,00	38,7	36,766	1,108	0,749
	3	75,00	69,00	38,547	36,297	1,113	0,754
	4	150,00	69,00	38,979	36,558	1,124	0,767
	5	205,00	69,00	38,744	36,223	1,132	0,776
	6	300,00	69,00	37,397	35,456	1,143	0,791

Fuente: elaboración propia.

3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Luego de obtener todos los datos necesarios para la elaboración del presente estudio de investigación extraídos de la parte experimental se procede a tabular de forma ordenada para interpretar todos los datos: Brix, flujo de alimentación, índice de sobresaturación y modelos matemáticos. Se obtienen las siguientes tablas.

Tabla VIII. Promedio del Brix durante la templa de masa primera

Presión. vapor (psi)	Brix alim.	Brix alim. Real	Pol alim. Real	Pureza de alimentación	Pureza promedio	Volumen (Pie3)	Tiempo (h)	Brix masa	Desviación estandar	Pol masa	Desviación estandar	Pureza masa
3	64	63,64	54,60	85,80	85,80	800,00	0,00	82,62	5,30	73,41	2,70	88,97
3	64	63,94	54,80	85,70	85,75	1645,00	0,90	88,11	0,16	74,48	3,22	84,52
3	64	64,58	55,24	85,53	85,68	2100,00	2,10	91,92	1,37	80,80	2,80	87,89
3	66	65,76	55,40	84,25	85,16	800,00	0,00	86,51	0,93	73,92	0,46	85,45
3	66	65,74	55,51	84,44	84,74	1645,00	0,75	88,47	0,59	75,73	0,79	85,60
3	66	65,75	55,65	84,64	84,44	2100,00	1,85	90,91	1,45	77,91	1,27	85,70
3	69	67,67	60,21	88,96	86,01	800,00	0,00	85,25	3,21	73,40	2,64	86,10
3	69	70,00	60,04	85,85	86,48	1645,00	0,65	87,32	0,53	75,10	0,44	86,01
3	69	68,00	59,00	86,80	87,20	2100,00	1,75	91,58	1,58	78,60	1,30	85,82
4,5	64	64,30	54,94	85,45	86,03	800,00	0,00	85,55	1,47	73,24	0,58	85,63
4,5	64	63,74	54,38	85,32	85,86	1645,00	0,70	85,71	2,71	71,00	4,11	82,87
4,5	64	63,18	53,78	85,12	85,30	2100,00	1,86	92,06	1,78	81,31	2,09	88,32
4,5	66	66,28	56,73	85,58	85,34	800,00	0,00	83,55	1,14	71,85	0,68	86,00
4,5	66	66,46	56,78	85,44	85,38	1645,00	0,65	83,54	1,06	71,80	4,33	86,00
4,5	66	66,90	57,10	85,35	85,46	2100,00	1,83	92,35	1,05	77,45	7,59	83,86
4,5	69	69,95	59,63	85,24	85,34	800,00	0,00	86,08	0,81	72,87	0,76	84,65
4,5	69	69,45	59,62	85,85	85,48	1645,00	0,60	88,00	2,40	72,60	0,94	86,89
4,5	69	69,13	60,45	87,44	86,18	2100,00	1,45	93,00	0,00	80,99	1,90	87,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Índice de sobresaturación templa de masa primera

Presión. vapor (psi)	Brix alim.	Brix alim. Real	Pol alim. Real	Pureza de alimentación	Volumen (Pie3)	Tiempo (h)	Brix masa	Brix fase líquida	Desviación estandar	Pol fase líquida	Desviación estandar	Pureza fase líquida	Solubilidad sacarosa (g sacarosa/100 g solu.)	Índice de sobresaturación	desviación	Temperatura (°C)
3	64	63,64	54,60	85,80	800,00	0,00	82,62	76,04	0,90	55,66	1,50	73,19	48,85	1,14	0,03	57,00
3	64	63,94	54,80	85,70	1645,00	0,90	88,11	75,79	1,31	57,23	2,33	75,56	48,85	1,14	0,05	57,00
3	64	64,58	55,24	85,53	2100,00	2,10	91,92	80,15	1,17	55,13	1,75	68,76	48,85	1,05	0,04	57,00
3	66	65,76	55,40	84,25	800,00	0,00	86,51	77,05	4,51	55,75	1,37	72,49	48,85	1,14	0,03	57,00
3	66	65,74	55,51	84,44	1645,00	0,75	88,47	77,85	4,67	55,08	4,21	70,70	48,85	1,14	0,09	57,00
3	66	65,75	55,65	84,64	2100,00	1,85	90,91	80,52	1,53	55,01	6,26	68,69	48,85	1,01	0,13	57,00
3	69	67,67	60,21	88,96	800,00	0,00	85,25	76,31	1,60	55,89	0,41	73,27	48,85	1,14	0,01	57,00
3	69	70,00	60,04	85,85	1645,00	0,65	87,32	77,34	0,26	55,63	0,07	71,92	48,85	1,14	0,00	57,00
3	69	68,00	59,00	86,80	2100,00	1,75	91,58	79,47	0,79	55,09	0,20	69,33	48,85	1,09	0,00	57,00
4,5	64	64,30	54,94	85,45	800,00	0,00	85,55	76,25	2,30	52,71	5,36	69,08	48,85	1,08	0,11	57,00
4,5	64	63,74	54,38	85,32	1645,00	0,70	85,71	76,73	1,91	54,43	3,79	71,03	48,85	1,11	0,08	57,00
4,5	64	63,18	53,78	85,12	2100,00	1,86	92,06	80,34	0,64	57,25	2,02	71,28	48,85	1,06	0,04	57,00
4,5	66	66,28	56,73	85,58	800,00	0,00	83,55	72,99	1,21	54,89	5,31	75,14	48,85	1,12	0,11	57,00
4,5	66	66,46	56,78	85,44	1645,00	0,65	83,54	70,79	0,14	55,83	0,77	78,87	48,85	1,14	0,02	57,00
4,5	66	66,90	57,10	85,35	2100,00	1,83	92,35	79,35	0,13	51,51	0,23	64,91	48,85	1,05	0,00	57,00
4,5	69	69,95	59,63	85,24	800,00	0,00	86,08	77,50	2,75	59,49	3,04	76,74	48,85	1,22	0,06	57,00
4,5	69	69,45	59,62	85,85	1645,00	0,60	88,00	80,01	0,16	58,81	2,90	73,50	48,85	1,20	0,06	57,00
4,5	69	69,13	60,45	87,44	2100,00	1,45	93,00	80,49	0,47	54,85	0,74	68,15	48,85	1,06	0,02	57,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Flujo de meladura a tachos de masa primera

Presión. vapor (psi)	Brix alim.	Brix alim. Real	Pol alim. Real	Pureza de alimentación	Volumen (Pie3)	Tiempo (h)	Brix masa	Pureza promedio	Volumen (Pie3)	Tiempo (h)	Consumo meladura pie3	Flujo (pie3/h)	Flujo m3/h	Promedio (pie3/h)
3	64	63,64	54,60	85,80	800,00	0,00	82,62	85,80	800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	64	63,94	54,80	85,70	1645,00	0,90	88,11	85,75	1645,00	0,90	1233,17	1370,19	38,80	
3	64	64,58	55,24	85,53	2100,00	2,10	91,92	85,68	2100,00	2,10	744,56	354,55	10,04	862,37
3	66	65,76	55,40	84,25	800,00	0,00	86,51	85,16	800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	66	65,74	55,51	84,44	1645,00	0,75	88,47	84,74	1645,00	0,75	1161,19	1548,25	43,85	
3	66	65,75	55,65	84,64	2100,00	1,85	90,91	84,44	2100,00	1,85	690,18	373,07	10,57	960,66
3	69	67,67	60,21	88,96	800,00	0,00	85,25	86,01	800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	69	70,00	60,04	85,85	1645,00	0,65	87,32	86,48	1645,00	0,65	1077,77	1658,11	46,96	
3	69	68,00	59,00	86,80	2100,00	1,75	91,58	87,20	2100,00	1,75	715,83	409,05	11,58	1033,58
4,5	64	64,30	54,94	85,45	800,00	0,00	85,55	86,03	800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4,5	64	63,74	54,38	85,32	1645,00	0,70	85,71	85,86	1645,00	0,70	1138,35	1626,22	46,06	
4,5	64	63,18	53,78	85,12	2100,00	1,86	92,06	85,30	2100,00	1,86	828,28	445,31	12,61	1035,76
4,5	66	66,28	56,73	85,58	800,00	0,00	83,55	85,34	800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4,5	66	66,46	56,78	85,44	1645,00	0,65	83,54	85,38	1645,00	0,65	1062,00	1633,85	46,27	
4,5	66	66,90	57,10	85,35	2100,00	1,83	92,35	85,46	2100,00	1,83	844,80	461,64	13,07	1047,74
4,5	69	69,95	59,63	85,24	800,00	0,00	86,08	85,34	800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4,5	69	69,45	59,62	85,85	1645,00	0,60	88,00	85,48	1645,00	0,60	1092,81	1821,35	51,58	
4,5	69	69,13	60,45	87,44	2100,00	1,45	93,00	86,18	2100,00	1,45	731,09	504,20	14,28	1162,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Flujo de miel A hacia tachos de masa segunda

Presión vapor (psig)	Brix alimentación	Brix miel A	Pol miel A	Volumen (pie3)	Tiempo (h)	Brix masa 2da	Presión vapor tacho de 2da. En psig	Vacio tacho (kg/mc2)	Flujo a tacho de 2da.	Desviación estandar
3	78	78,66	57,47	650,00	0,42	92,28	3,77	0,46	26,83	8,49
3	78	78,66	57,47	950,00	0,69	95,20	3,75	0,48	28,36	12,81
3	78	78,66	57,47	1118,00	1,03	95,91	3,75	0,49	28,16	5,28
3	78	78,69	57,63	1385,00	1,50	96,17	3,73	0,51	25,22	3,71
3	78	78,42	57,48	1710,00	2,06	96,53	3,72	0,50	16,73	4,58
3	78	78,42	57,48	1900,00	2,67	96,60	3,70	0,41	4,08	6,88
3	80	80,02	58,03	650,00	0,39	92,11	3,04	0,30	37,63	7,08
3	80	80,02	58,03	950,00	0,69	93,40	3,02	0,34	31,51	4,10
3	80	80,01	57,29	1118,00	1,11	95,76	2,99	0,39	29,31	7,29
3	80	80,01	57,29	1385,00	1,53	96,18	2,95	0,45	24,52	3,80
3	80	80,10	57,47	1710,00	2,19	96,67	2,86	0,52	14,96	10,05
3	80	80,10	57,47	1900,00	2,53	96,74	2,81	0,61	1,07	0,85
3	82	82,31	58,34	650,00	0,33	92,92	3,11	0,48	37,00	5,10
3	82	82,31	58,34	950,00	0,53	95,51	3,13	0,43	36,48	1,00
3	82	82,53	58,48	1118,00	0,81	95,86	3,16	0,35	33,51	7,78
3	82	82,53	58,48	1385,00	1,08	96,04	3,18	0,39	32,29	7,36
3	82	81,26	57,71	1710,00	1,83	96,57	3,25	0,49	24,03	4,95
3	82	81,26	57,71	1900,00	2,14	96,81	3,27	0,53	6,98	7,85
4,5	78	77,17	56,85	650,00	0,47	93,47	3,99	0,49	25,61	11,07
4,5	78	76,11	54,99	950,00	0,94	95,49	4,11	0,37	35,62	17,47
4,5	78	76,11	54,99	1118,00	1,22	95,90	4,15	0,41	27,63	5,26
4,5	78	76,11	55,36	1385,00	1,83	96,38	4,27	0,49	20,55	4,40
4,5	78	76,92	55,56	1710,00	2,36	96,63	4,33	0,56	9,51	11,93
4,5	78	79,62	56,85	1900,00	2,81	95,96	4,40	0,71	4,66	7,90
4,5	80	78,69	58,68	650,00	0,50	93,02	4,28	0,48	12,36	9,69
4,5	80	78,69	58,68	950,00	0,67	95,00	4,28	0,46	34,11	8,75
4,5	80	78,69	58,68	1118,00	0,94	95,62	4,28	0,41	36,30	7,92
4,5	80	78,69	58,68	1385,00	1,22	95,76	4,28	0,38	29,17	11,65
4,5	80	79,31	57,95	1710,00	1,94	96,22	4,29	0,48	19,87	0,62
4,5	80	79,31	57,95	1900,00	2,44	96,50	4,31	0,56	4,18	3,58
4,5	82	80,80	57,28	650,00	0,31	90,06	3,99	0,45	46,82	10,10
4,5	82	80,80	57,28	950,00	0,47	93,00	3,98	0,25	45,20	13,20
4,5	82	80,80	57,28	1118,00	0,94	94,21	3,91	0,31	37,80	10,92
4,5	82	80,80	57,28	1385,00	1,28	95,51	3,88	0,36	33,40	1,15
4,5	82	80,80	57,28	1710,00	1,92	96,49	3,81	0,47	26,57	5,19
4,5	82	80,49	57,31	1900,00	2,44	96,70	3,75	0,55	3,00	2,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Flujo de miel B hacia tachos masa tercera controlado mediante dispositivos electrónicos

Presion vap (psig)	Brix alimentación	Brix miel b	Pol miel b	Volumen (pie3)	Tiempo (h)	Brix masa 3ra	Presion vapor tacho 3a	Presion vapor tacho de 3a. (psig)	Presion vacío tacho de 3a. (psig)	Flujo a tacho de 3a.(m3/h)	Desviación
3	78	77,80	41,43	755,00	0,28	87,80	0,17	2,46	4,64	11,67	12,20
3	78	77,80	41,43	1050,00	0,69	95,46	0,16	2,30	5,02	25,48	3,92
3	78	77,88	41,40	1330,00	1,56	95,87	0,14	2,02	5,77	25,73	7,08
3	78	78,13	42,00	1545,00	2,22	95,76	0,13	1,81	6,37	21,23	5,70
3	78	78,13	42,01	1900,00	3,11	96,65	0,11	1,56	7,15	7,38	12,02
3	80	80,23	41,61	755,00	0,44	83,24	0,22	3,15	4,70	22,56	20,94
3	80	80,65	41,83	1050,00	1,08	93,87	0,21	2,95	5,69	26,30	9,64
3	80	80,65	41,83	1330,00	1,72	94,90	0,20	2,78	6,67	27,80	9,89
3	80	80,10	41,41	1545,00	2,33	95,88	0,19	2,68	7,58	25,13	13,64
3	80	80,07	41,76	1900,00	2,81	96,49	0,19	2,68	10,59	10,05	0,01
3	82	81,48	45,23	755,00	0,39	83,52	0,24	3,37	2,68	3,54	3,30
3	82	81,58	45,23	1050,00	0,81	94,23	0,24	3,39	3,32	27,00	1,68
3	82	81,41	45,08	1330,00	1,39	95,14	0,24	3,42	4,28	29,00	15,99
3	82	81,67	45,08	1545,00	1,97	96,86	0,24	3,44	5,23	30,19	9,38
3	82	81,28	45,75	1900,00	2,53	97,57	0,24	3,46	6,15	13,70	5,09
4,5	78	78,72	45,94	755,00	0,31	92,43	0,25	3,59	5,13	35,85	38,07
4,5	78	78,72	45,94	1050,00	0,69	95,59	0,25	3,52	5,28	28,95	7,30
4,5	78	78,79	46,00	1330,00	1,28	96,37	0,24	3,37	5,54	28,72	10,79
4,5	78	78,91	46,12	1545,00	2,08	97,09	0,22	3,18	5,93	22,12	5,49
4,5	78	78,47	54,27	1900,00	3,28	97,95	0,19	2,76	7,99	1,90	3,08
4,5	80	79,50	41,83	755,00	0,47	83,08	0,16	2,22	4,59	37,18	13,05
4,5	80	79,57	41,96	1050,00	0,89	94,17	0,15	2,06	5,08	40,30	21,32
4,5	80	79,95	41,89	1330,00	1,44	95,86	0,14	1,92	5,84	30,18	4,69
4,5	80	81,44	42,23	1545,00	1,94	96,56	0,13	1,78	6,51	23,18	6,15
4,5	80	80,36	41,89	1900,00	3,11	96,60	0,11	1,55	6,95	8,73	7,54
4,5	82	81,73	40,53	755,00	0,25	88,10	0,19	2,65	3,53	40,00	33,35
4,5	82	81,73	40,53	1050,00	0,67	95,80	0,19	2,72	4,12	45,30	12,36
4,5	82	82,17	40,40	1330,00	1,19	96,16	0,19	2,76	4,95	35,10	11,51
4,5	82	81,97	40,69	1545,00	1,83	96,75	0,20	2,89	5,83	30,18	6,61
4,5	82	81,97	40,69	1900,00	2,69	96,80	0,21	2,62	19,19	13,00	52,70

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Flujo de miel A hacia tachos masa segunda controlado manualmente

Repetición	pvap (psig)	Brix alim.	volumen (pie3)	tiempo(min)	Dif de tiempo (min)	Brix masa	Brix masa	p vacío (psia)	Flujo miel A (pie3/h)	Flujo miel A (m3/h)
1	3	74,56	650,00	0,00	0,00	43,21	86,42	25,00	0,00	0,00
1	4	74,56	950,00	35,00	35,00	46,96	93,92	25,00	759,91	21,52
1	4	74,56	1180,00	50,00	15,00	44,80	89,60	25,00	265,62	7,52
1	4	79,82	1385,00	70,00	20,00	45,89	91,78	25,00	229,67	6,50
1	4	79,82	1710,00	95,00	25,00	45,91	91,82	25,00	236,56	6,70
1	4	79,82	1900,00	115,00	20,00	46,40	92,80	25,00	126,20	3,57
2	4	78,56	650,00	0,00	0,00	41,23	82,46	25,00	0,00	0,00
2	4	78,56	950,00	25,00	25,00	45,68	91,36	25,00	1014,04	28,72
2	4	78,56	1180,00	45,00	20,00	45,81	91,62	25,00	361,84	10,25
2	2	78,88	1385,00	60,00	15,00	45,82	91,64	25,00	238,46	6,75
2	3	78,88	1710,00	75,00	15,00	45,64	91,28	25,00	295,82	8,38
2	4	78,88	1900,00	120,00	45,00	47,05	94,10	25,00	143,90	4,08
3	2	79,12	650,00	0,00	0,00	42,25	84,50	25,00	0,00	0,00
3	4	79,12	950,00	15,00	15,00	45,96	91,92	25,00	1637,97	46,39
3	3	79,12	1180,00	40,00	25,00	46,00	92,00	25,00	402,60	11,40
3	3	79,12	1385,00	60,00	20,00	46,03	92,06	25,00	239,42	6,78
3	3	79,12	1710,00	90,00	30,00	45,43	90,86	25,00	234,81	6,65
3	4	79,12	1900,00	125,00	35,00	46,14	92,28	25,00	121,10	3,43
4	4	79,20	650,00	0,00	0,00	41,36	82,72	25,00	0,00	0,00
4	4	79,20	950,00	15,00	15,00	45,58	91,16	25,00	1658,28	46,96
4	3	79,56	1180,00	35,00	20,00	45,92	91,84	25,00	469,06	13,28
4	5	79,56	1385,00	55,00	20,00	45,95	91,90	25,00	259,29	7,34
4	5	79,56	1710,00	75,00	20,00	45,17	90,34	25,00	273,50	7,75
4	4	79,56	1900,00	140,00	65,00	46,80	93,60	25,00	125,83	3,56
5	4	77,56	650,00	0,00	0,00	43,21	86,42	25,00	0,00	0,00
5	4	77,56	950,00	15,00	15,00	46,96	93,92	25,00	1704,54	48,27
5	4	77,56	1180,00	40,00	25,00	44,80	89,60	25,00	319,19	9,04
5	4	77,88	1385,00	60,00	20,00	45,89	91,78	25,00	274,62	7,78
5	4	77,88	1710,00	90,00	30,00	45,91	91,82	25,00	255,92	7,25
5	4	77,88	1900,00	125,00	35,00	46,40	92,80	25,00	119,00	3,37

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Flujo promedio tacho continuo

Corrida	Tiempo	Brix de meladura	Caudal Meladura a Compartimiento C1 T.C. (m3/h)	Caudal Meladura a Compartimiento C2 T.C. (m3/h)	Consumo meladura(m3/h)	Desviación estandar	Presion Vapor Camaras C1/C2 Tacho continuo	Presion Vapor camara C3 Tacho Continuo
1	0.00	64.00	30.43	28.67	59.10	2.59	1.22	1.09
2	45.00	64.00	32.57	31.39	63.96	0.99	1.15	1.09
3	75.00	64.00	34.34	33.26	67.60	2.69	1.15	1.10
4	150.00	64.00	34.80	33.43	68.24	2.66	1.15	1.11
5	205.00	64.00	36.93	35.58	72.51	4.07	1.15	1.12
6	300.00	64.00	35.02	33.59	68.60	1.78	1.16	1.14
1	0.00	66.00	23.67	19.29	42.96	5.29	0.94	0.77
2	45.00	66.00	33.15	24.25	57.40	3.08	0.95	0.77
3	75.00	66.00	34.49	25.29	59.78	2.14	0.95	0.77
4	150.00	66.00	34.74	25.68	60.42	2.41	0.95	0.77
5	205.00	66.00	32.21	22.77	54.97	6.31	0.96	0.77
6	300.00	66.00	25.54	21.62	47.15	7.86	0.96	0.78
1	0.00	69.00	41.09	34.31	75.40	12.08	1.09	0.99
2	45.00	69.00	36.81	29.89	66.70	5.45	1.09	0.90
3	75.00	69.00	37.16	30.51	67.67	4.46	1.09	0.90
4	150.00	69.00	36.89	29.94	66.83	5.09	1.10	0.91
5	205.00	69.00	38.02	30.82	68.83	4.11	1.10	0.91
6	300.00	69.00	37.36	30.28	67.63	3.92	1.11	0.92

Fuente: elaboración propia.

3.7. Análisis estadístico

A continuación, se describe el análisis estadístico.

3.7.1. Numero de repeticiones

El número de repeticiones se determina con el fin de obtener la cantidad necesaria de repeticiones para que la desviación de los datos no afecte significativamente los datos.

Para estimar el número de corridas necesarias a realizar se utilizará un intervalo de confianza del 95 %, con un valor de z de $z = 1,96$, un intervalo de error del 5 % y un error estimado para la medición de 0,25. El número de repeticiones se determina a partir de:

$$N = \frac{Z^2 \cdot P \cdot Q}{E^2}$$

Donde:

N = número de corridas a realizar

Z = constante de confiabilidad

P = intervalo de confianza

Q = intervalo de error

E = error estimado

Por lo que:

$$N = \frac{1,96^2 \cdot 0,95 \cdot 0,05}{0,25^2} = 3$$

Esto indica que serán necesarias 3 repeticiones para desarrollar la parte experimental del presente trabajo de graduación asegurando un mínimo error.

3.7.2. Diseño experimental

El experimento se realizará variando las condiciones en el desarrollo de la templa, para lo cual se evaluará a distintas presiones de vapor y brix de alimentación, para las 3 templeas de masa primera, segunda y tercera y tomando muestras al inicio, en medio y final de la templa; se realizará tres repeticiones obteniendo un total de 162 unidades experimentales, como se observa en la tabla XV.

Tabla XV. **Diseño experimental**

Factores	<ul style="list-style-type: none"> • Presión de vapor • Brix de alimentación • Tipo templa • Volumen de templa 	Número de factores	4
Niveles	<ul style="list-style-type: none"> • Presión de vapor en tacho <i>Pvap₁, Pvpap₂</i> • Brix de alimentación <i>Bx₁, Bx₂, Bx₃</i> • Tipo templa <i>Tem₁, Tem₂, Tem₃</i> • Volumen templa <i>Vol₁, Vol₂, Vol₃</i> 	Número de niveles	2 3 3 3
Número de tratamientos (Nivel 1 x nivel 2 x nivel 3 x nivel 4)		2 x 3 x 3 x 3	54
Número de unidades experimentales (Tratamientos x repeticiones)		54 x 3	162

Fuente: elaboración propia.

3.7.3. **Medidas de tendencia central**

Son medidas estadísticas que pretenden resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado el conjunto de los datos.

1.8.1.1 **Media aritmética**

Representa el valor característico de una serie de datos cuantitativos. Se describe matemáticamente con la siguiente expresión:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = media aritmética

x_i = cada una de las muestras individualmente

n = número total de datos

3.7.3.1. Desviación estándar

Representa la medida de dispersión de un conjunto de datos. Se describe matemáticamente con la siguiente expresión:

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

Donde:

S = desviación estándar de la muestra

\bar{x} = media aritmética

x_i = cada una de las muestras individualmente

n = número total de datos

3.7.4. Método Anova

Es un análisis estadístico que permite determinar cuál de las hipótesis propuestas será aceptada, si la hipótesis de investigación o la hipótesis nula.

Este método permite comparar medias y contrastar si difieren significativamente. El análisis de la varianza se puede realizar con tamaños

muestrales iguales o distintos. El valor de F calculada por este análisis estadístico es contrastado posteriormente utilizando el valor crítico de t en tablas.

Tabla XVI. **Organización de datos para método ANOVA**

Tratamientos peticiones	1	2	3	4	5
1	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	X ₄₁	X ₅₁
2	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	X ₄₂	X ₅₂
3	X ₁₃	X ₂₃	X ₃₃	X ₄₃	X ₅₃
Total (X _j)	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅

Fuente: Webster, 2000. p. 87.

Cada una de las celdas de la tabla anterior está identificada como X_{ij} en donde i es la fila y j es la columna. El número de filas o repeticiones en cada columna se indica con una r y el número de columnas o tratamientos se indica con una c. Debido a que las columnas se identifican con un subíndice j, el promedio se representa con \bar{x}_j .

Las ecuaciones a utilizar para el análisis de varianza se describen a continuación:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum X_{ij}}{n}$$

$$SCT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2$$

$$SCTR = r_j \sum (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2$$

$$SCE = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

$$CMTR = \frac{SCE}{c - 1}$$

$$CME = \frac{CMTR}{n - c}$$

$$F = \frac{CMTR}{CME}$$

Donde:

\bar{X} = gran media de todas las observaciones del experimento

n = número total de observaciones

SCT = suma de cuadrados total

r = número de filas o repeticiones en cada columna

c = número de columnas o tratamientos

i = fila

j = columna

SCTR = suma de cuadrados de los tratamientos

r_j = número de observaciones o filas en cada tratamiento

\bar{X}_j = media de cada tratamiento

SCE = suma del cuadrado del error

CMTR = cuadrado medio del tratamiento

CME = cuadrado medio del error

F = valor F

Tabla XVII. **Análisis de varianza generalizada**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F
Tratamiento	SCTR	c - 1	$\frac{SCTR}{c - 1}$	$\frac{CMTR}{CME}$
Error	SCE	n - c	$\frac{SCE}{n - c}$	
Variación total	SCT	n - 1		

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. p. 83.

Para determinar cuál de las dos hipótesis propuestas se aceptará, se comparará el valor F con el valor crítico de F, y se obtendrá de la tabla XVI, tabla de distribución F con probabilidad de 0,05. Si F es mayor al valor crítico de F se aceptará la hipótesis de investigación, si F es menor o igual al valor crítico de F se aceptará la hipótesis nula.

Las tablas específicas de análisis ANOVA se especifican en el área de anexos.

3.7.5. Error cuadrático medio

Para determinar el modelo que más se adecua a los datos obtenidos durante el desarrollo del experimento, este involucra a los modelos de consumo de meladura y mieles se utilizó la prueba del error cuadrático medio, determinado por la siguiente ecuación.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

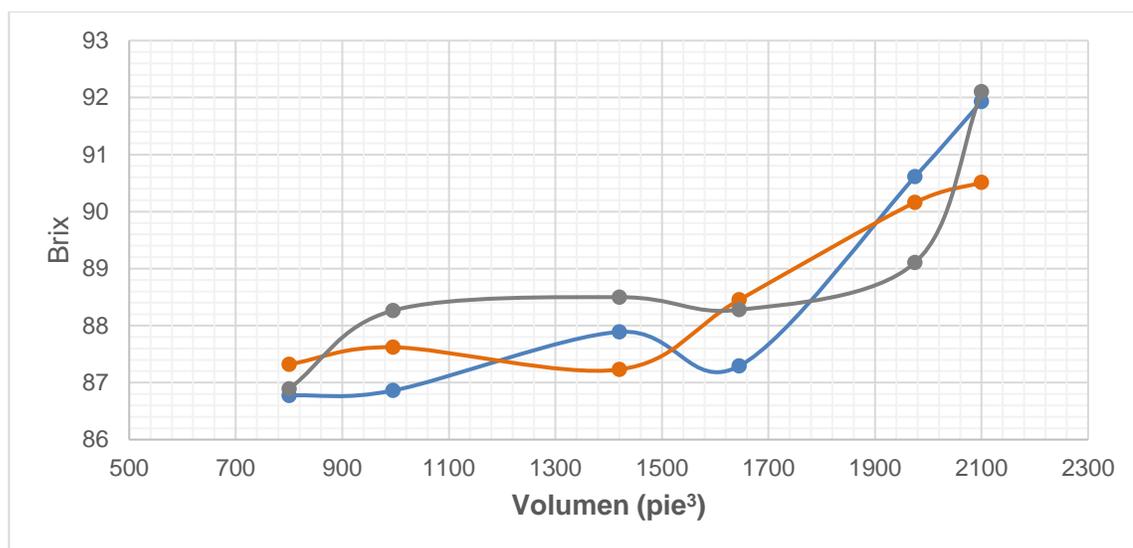
El modelo con el menor error cuadrático medio respecto a los datos obtenidos en la práctica es el modelo matemático predominante.

4. RESULTADOS

4.1. Brix de masas durante su desarrollo

Se procedió a tomar las muestras de sacarosa en el agua, obteniendo los siguientes resultados que se presentan a continuación.

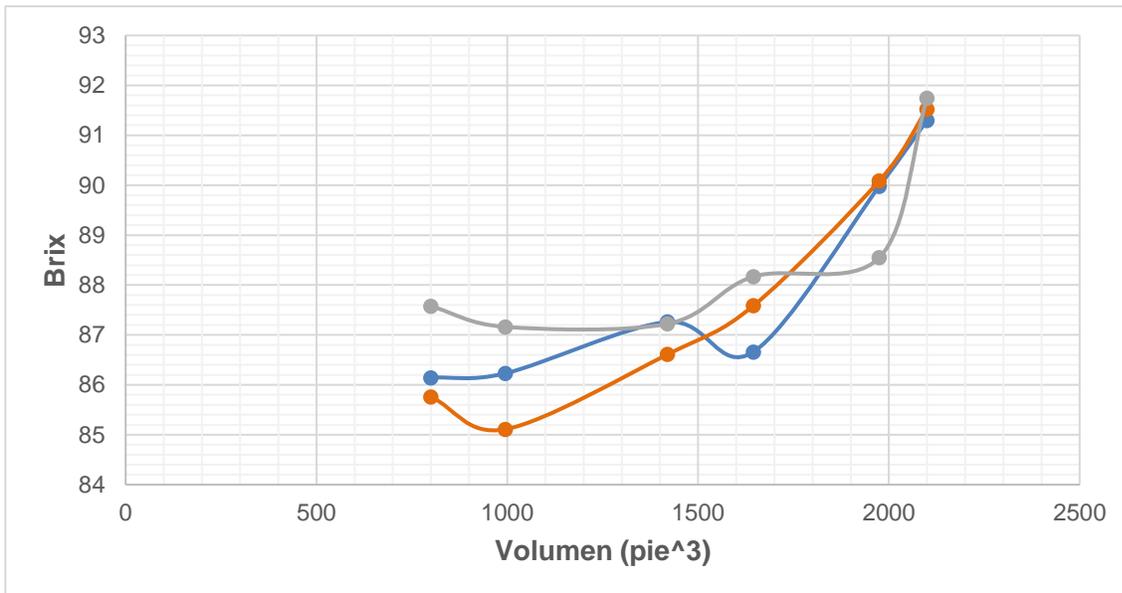
Figura 12. **Brix de masa primera en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
—●— 64 Brix	$y = 5E-06x^2 - 0,0107x + 92,369$	0,9394	6,57	5,1432	[800-2 100]
—●— 66 Brix	$y = 3E-06x^2 - 0,0071x + 91,042$	0,9585	13,17	5,1432	[800-2 100]
—●— 69 Brix	$y = 3E-06x^2 - 0,0052x + 89,927$	0,7359	7,15	5,1432	[800-2 100]

Fuente: elaboración propia.

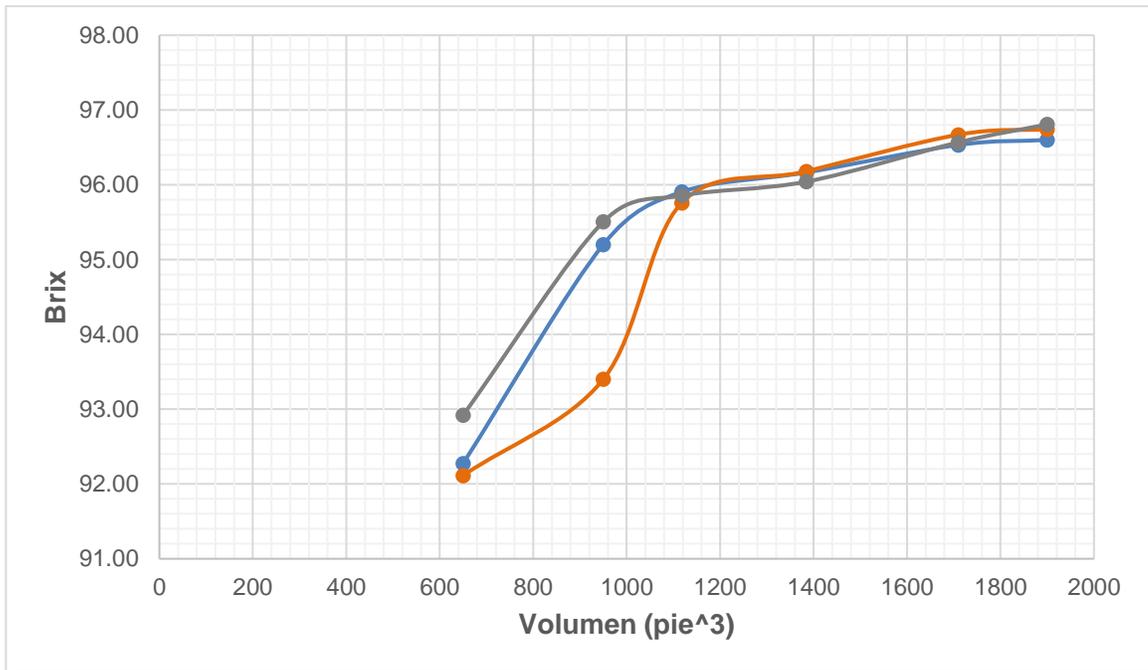
Figura 13. **Brix de masa primera en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
—●— 64 Brix	$y = 5E-06x^2 - 0,0107x + 91,739$	0,9394	9,77	5,14	[800-2 100]
—●— 66 Brix	$y = 5E-06x^2 - 0,0091x + 89,865$	0,9936	65,69	5,14	[800-2 100]
—●— 69 Brix	$y = 5E-06x^2 - 0,0119x + 94,061$	0,8283	27,45	5,14	[800-2 100]

Fuente: elaboración propia.

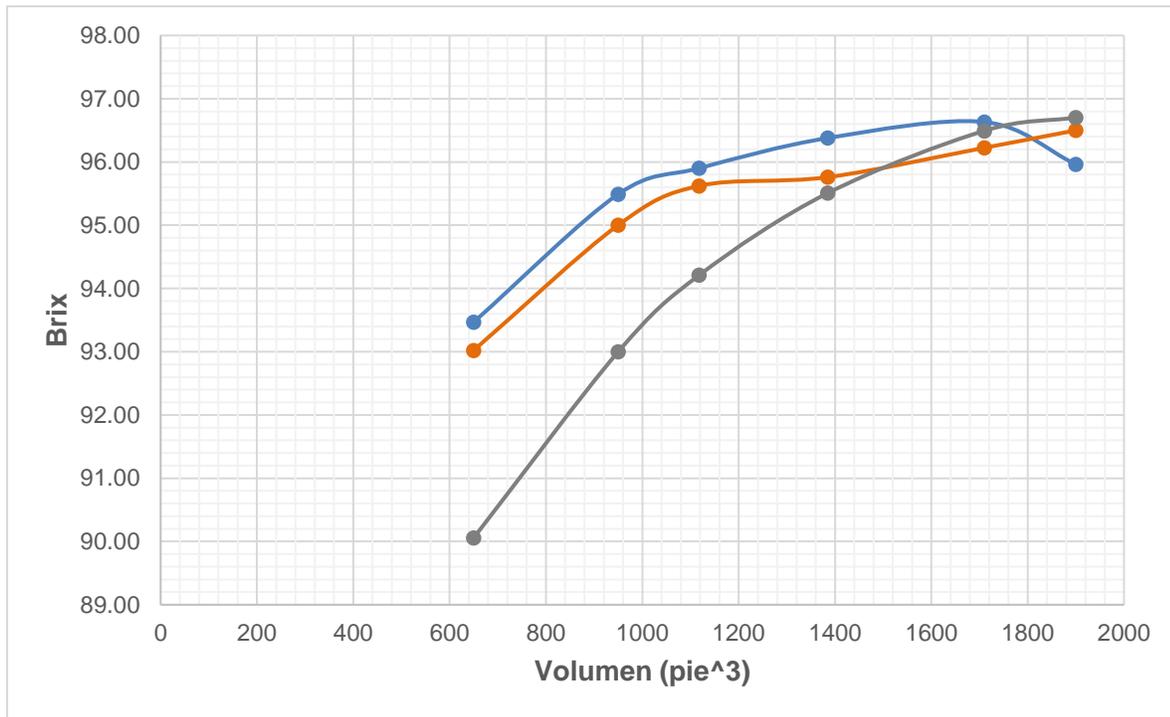
Figura 14. **Brix de masa segunda en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel A**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
78 Brix	$y = 5E-06x^2 + 0,0151x + 84,681$	0,9600	2,61	3,10	[650-1 900]
80 Brix	$y = -4E-06x^2 + 0,0135x + 84,727$	0,9440	2,14	3,10	[650-1 900]
82 Brix	$y = -3E-06x^2 + 0,0114x + 87,232$	0,9343	2,50	3,10	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

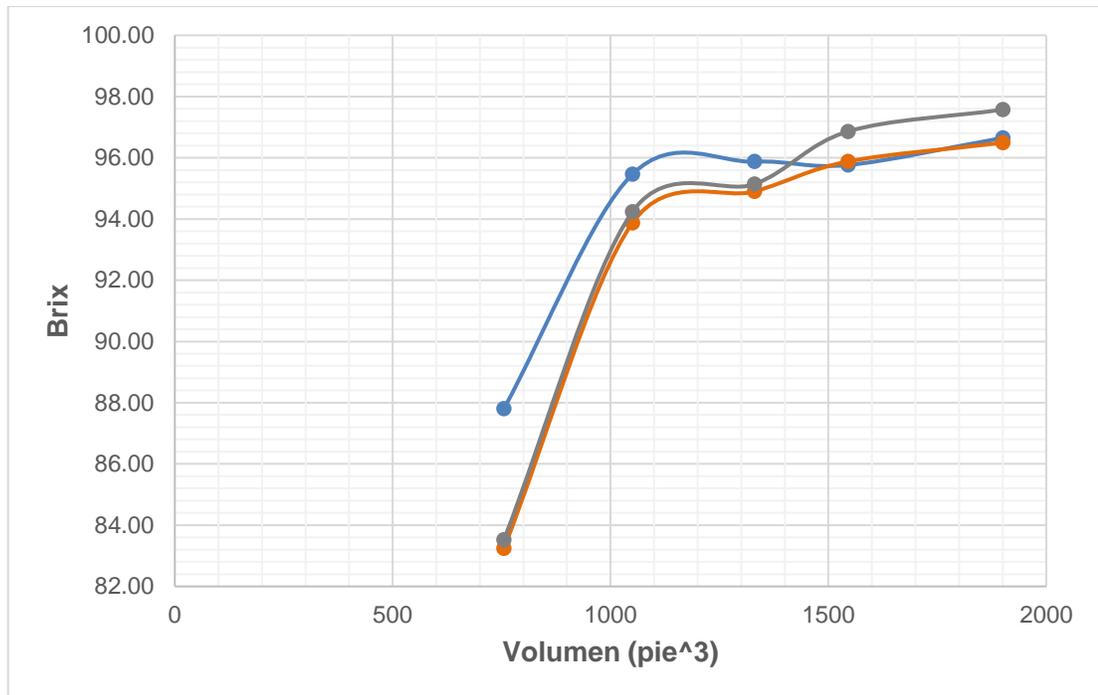
Figura 15. **Brix de masa segunda en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel A**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
78 Brix	$y = -4E-06x^2 + 0,0124x + 87,171$	0,9838	1,8856	3,10	[650-1 900]
80 Brix	$y = -3E-06x^2 + 0,0096x + 88,139$	0,9583	2,1936	3,10	[650-1 900]
82 Brix	$y = 0,0051x + 87,77$	0,9125	3,012	3,10	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

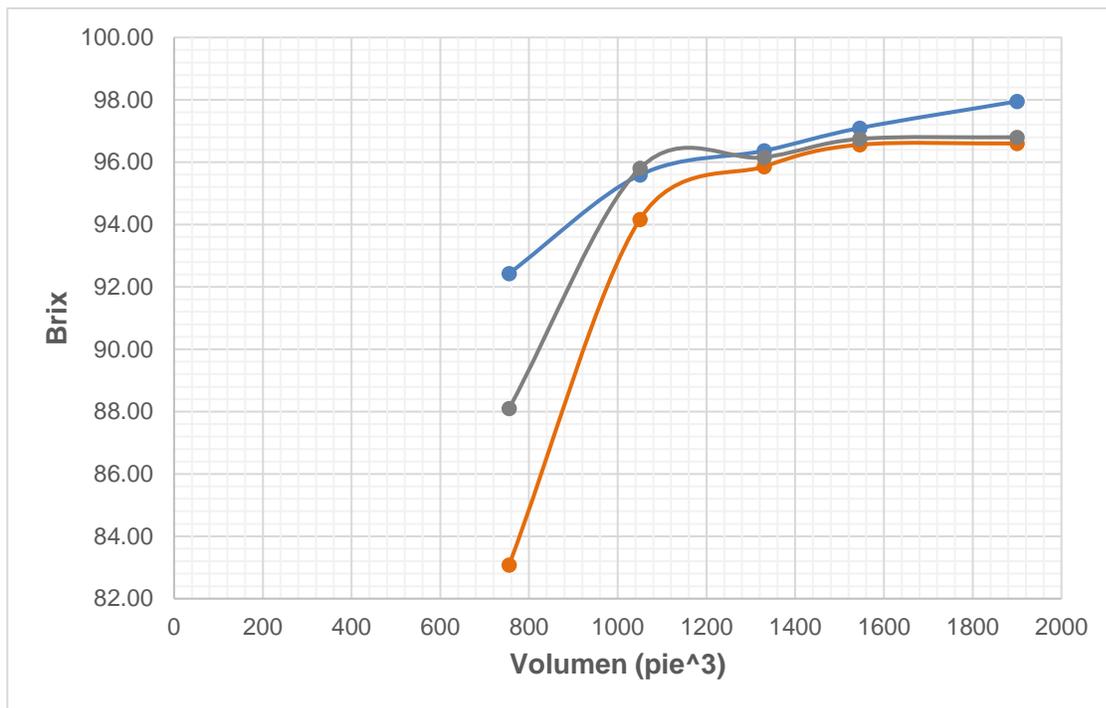
Figura 16. **Brix de masa tercera en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel b**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
→ 78 Brix	$y = -1E-05x^2 + 0,0378x + 66,854$	0,8757	3,18	3,478	[650-1 900]
→ 80 Brix	$y = -2E-05x^2 + 0,0556x + 52,011$	0,9259	1,989	3,478	[650-1 900]
→ 82 Brix	$y = -2E-05x^2 + 0,0547x + 52,573$	0,9326	3,145	3,478	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Brix de masa tercera en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de miel b**



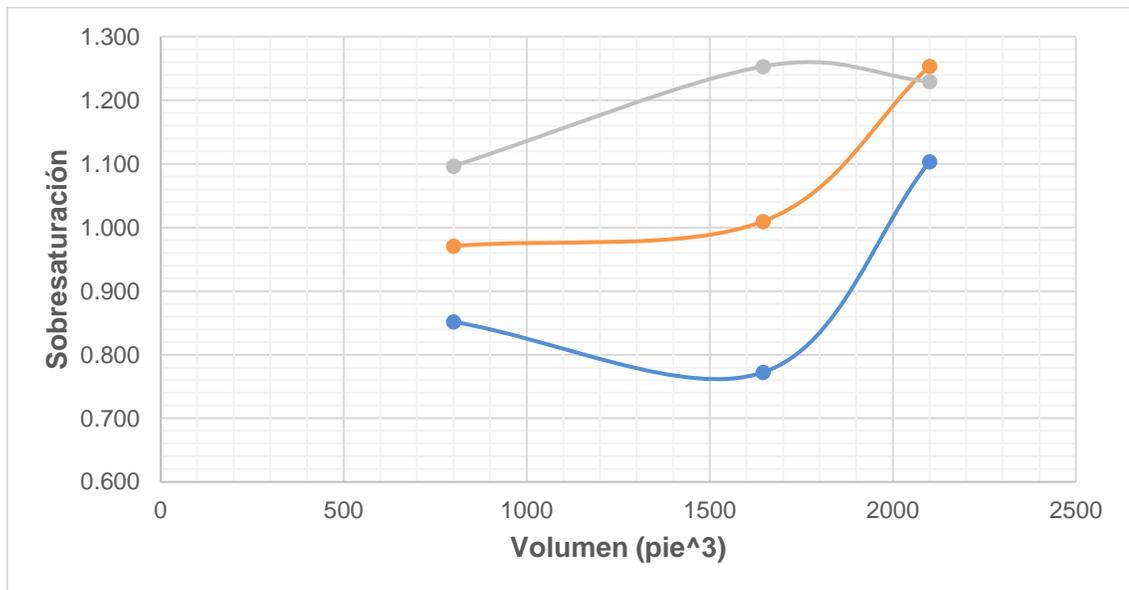
Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
→ 78 Brix	$y = -4E-06x^2 + 0,0153x + 83,45$	0,9707	3,127	3,478	[650-1 900]
→ 80 Brix	$y = -2E-05x^2 + 0,0626x + 47,949$	0,9422	2,185	3,478	[650-1 900]
→ 82 Brix	$y = -1E-05x^2 + 0,0405x + 65,59$	0,9057	2,548	3,478	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

4.2. Índice de sobresaturación masa primera

A continuación se describe el índice de sobresaturación.

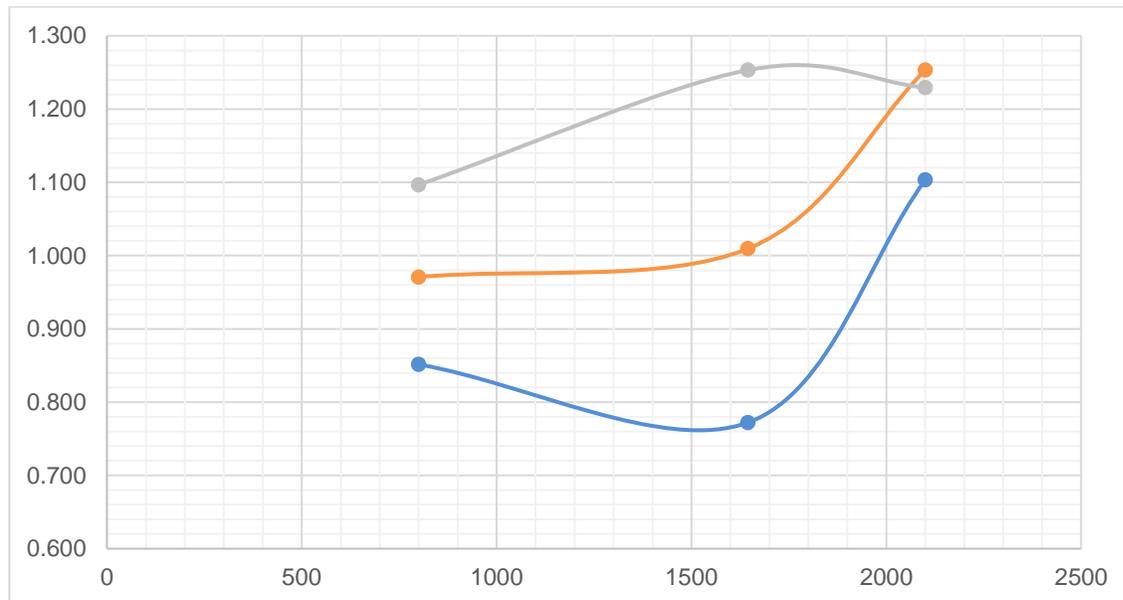
Figura 18. **Sobresaturación fase líquida de masa primera en función del volumen a 3 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
—●— 64 Brix	$y = 6E-07x^2 - 0,0016x + 1,7586$	1	6,13	5,14	[800-2 100]
—●— 66 Brix	$y = -2E-07x^2 + 0,0006x + 0,7075$	1	5,88	5,14	[800-2 100]
—●— 69 Brix	$y = +8E-08x^2 + 0,0002x + 1,0472$	1	7,16	5,14	[800-2 100]

Fuente: elaboración propia.

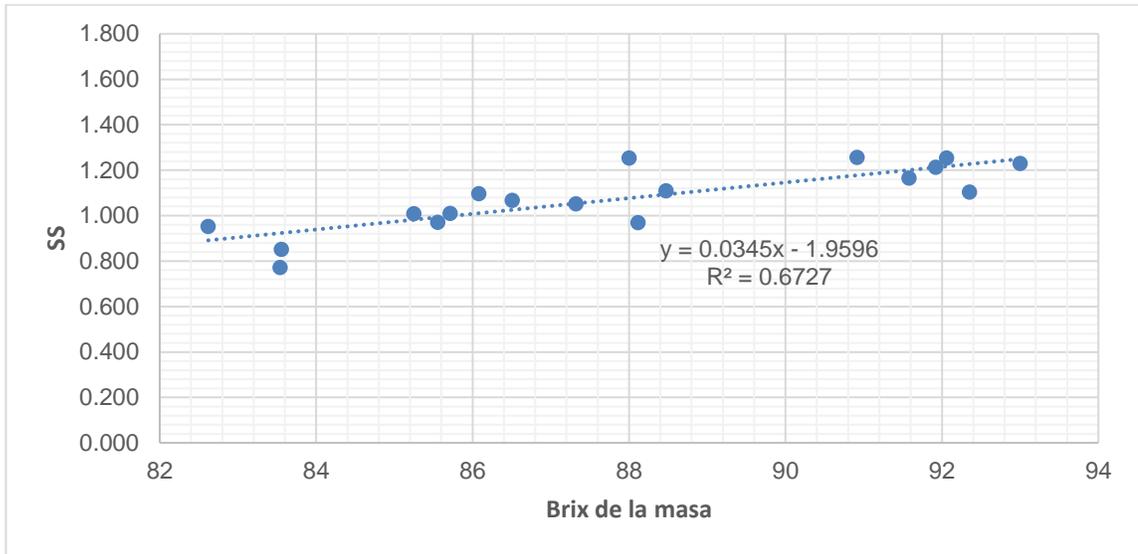
Figura 19. **Sobresaturación fase líquida de masa primera en función del volumen a 4,5 psig de presión de vapor a distintos Brix de alimentación de meladura**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
—●— 64 Brix	$y = 6E-07x^2 - 0,0016x + 1,7586$	1	6,52	5,14	[800-2 100]
—●— 66 Brix	$y = 4E-07x^2 - 0,0009x + 1,4304$	1	5,99	5,14	[800-2 100]
—●— 69 Brix	$y = -2E-07x^2 + 0,0006x + 0,7075$	1	7,44	5,14	[800-2 100]

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Sobresaturación fase líquida de masa primera en función del Brix de la templea**



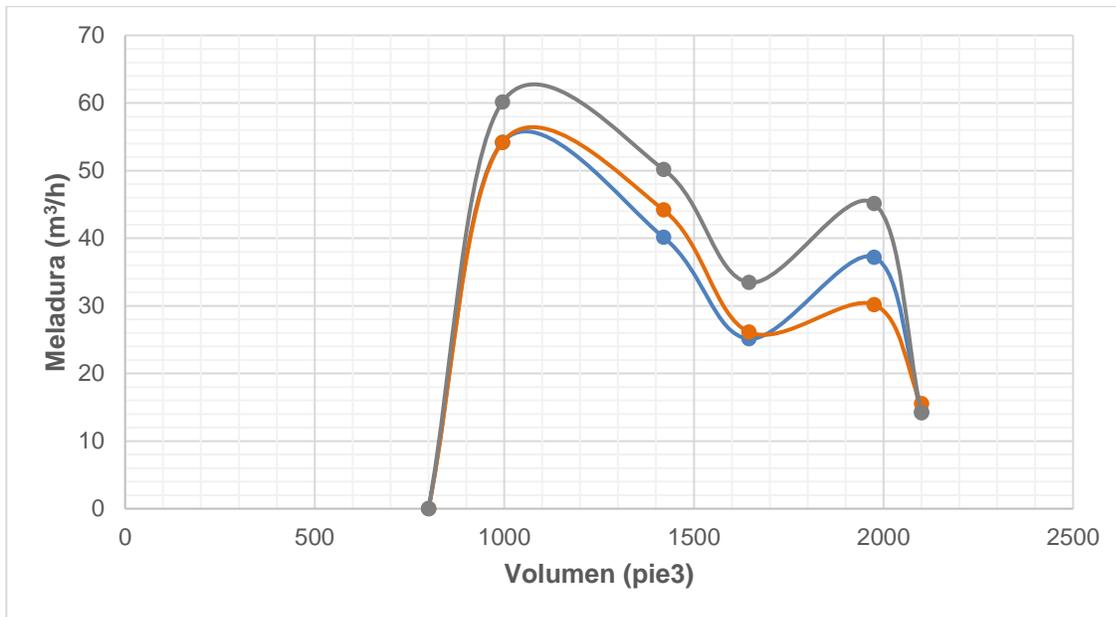
Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
 sobresaturación	$y = 0,0345x - 1,9596$	0,6727	10	0,005	[83-93]

Fuente: elaboración propia.

4.3. Modelos consumo de alimentación

A continuación se presenta el modelo de consumo de alimentación.

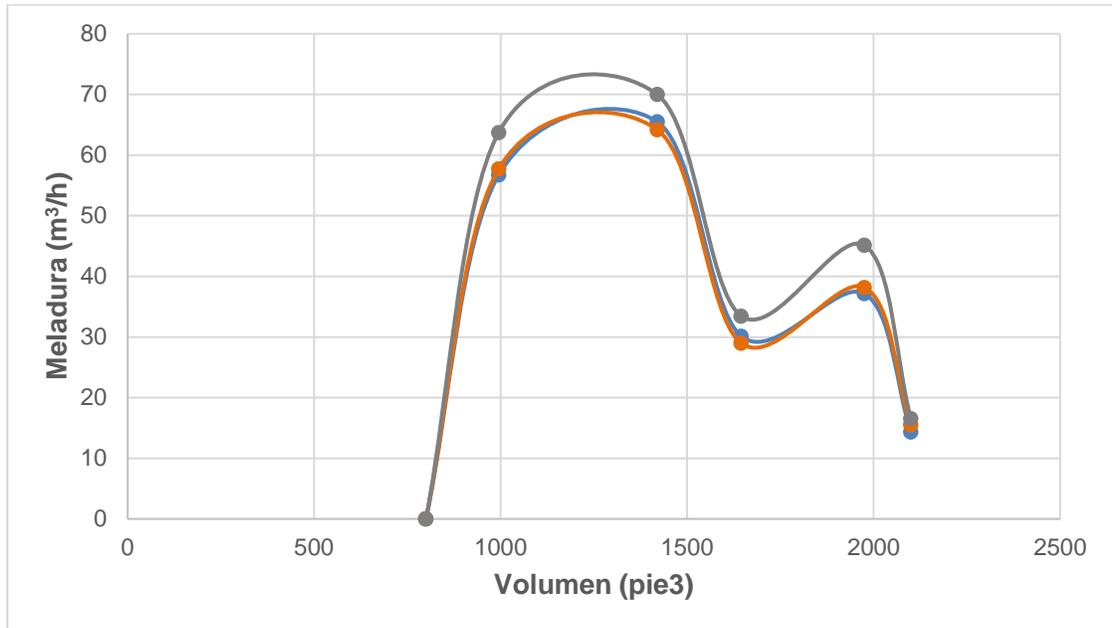
Figura 21. Consumo de meladura (m³/h) en función del Brix en masas primeras, con una presión de vapor de 3 psig



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
—●— 64 Brix	$y = 2E-07x^3 - 0,0009x^2 + 1,3814x - 605,68$	0,6288	5,11	4,16	[800-2 100]
—●— 66 Brix	$y = 2E-07x^3 - 0,001x^2 + 1,5559x - 683,17$	0,7918	5,13	4,16	[800-2 100]
—●— 69 Brix	$y = 2E-07x^3 - 0,0009x^2 + 1,4146x - 629,56$	0,6511	7,86	4,16	[800-21 00]

Fuente: elaboración propia.

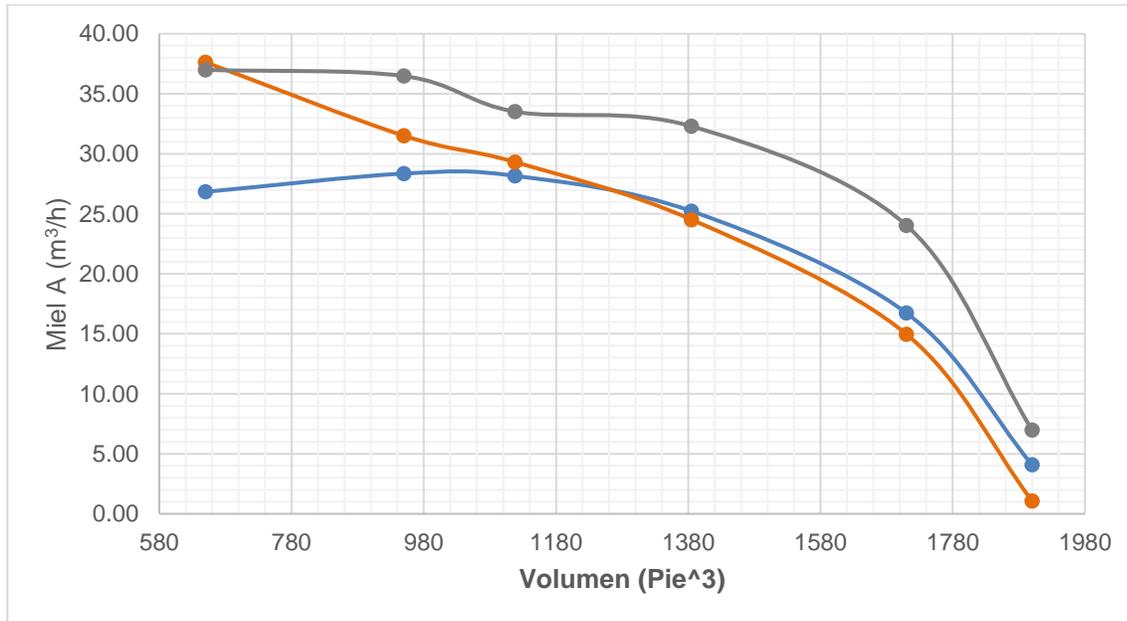
Figura 22. Consumo de meladura (m³/h) en función del Brix en masas primeras, con una presión de vapor de 4,5 psig



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
—●— 64 Brix	$y = 2E-07x^3 - 0,0011x^2 + 1,7197x - 769,54$	0,8226	8,63	4,16	[800-2 100]
—●— 66 Brix	$y = 2E-07x^3 - 0,0012x^2 + 1,7577x - 783,25$	0,8055	5,15	4,16	[800-2 100]
—●— 69 Brix	$y = 3E-07x^3 - 0,0012x^2 + 1,8411x - 822,81$	0,7793	6,13	4,16	[800-2 100]

Fuente: elaboración propia.

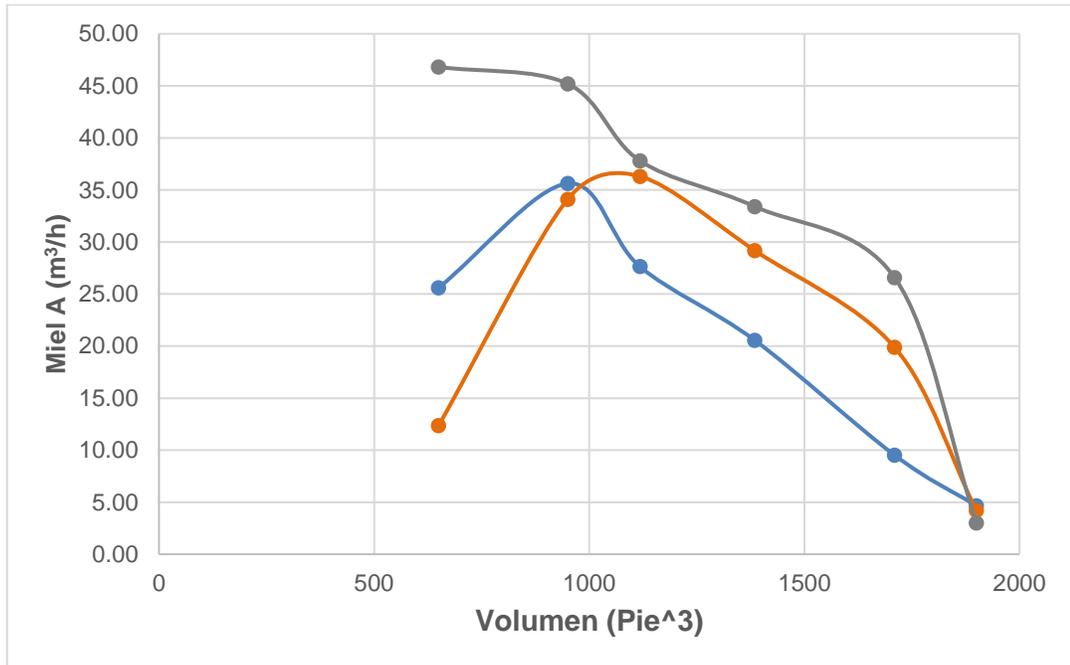
Figura 23. **Consumo de miel A (m³/h) en función del Brix en masas segundas, con una presión de vapor de 3 psig**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
78 Brix	$y = -3E-05x^2 + 0,0569x + 1,201$	0,9793	4,78	3,105	[650-1 900]
80 Brix	$y = -2E-05x^2 + 0,0188x + 31,572$	0,9748	13,31	3,105	[650-1 900]
82 Brix	$y = -3E-05x^2 + 0,0509x + 14,339$	0,9376	10,40	3,105	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

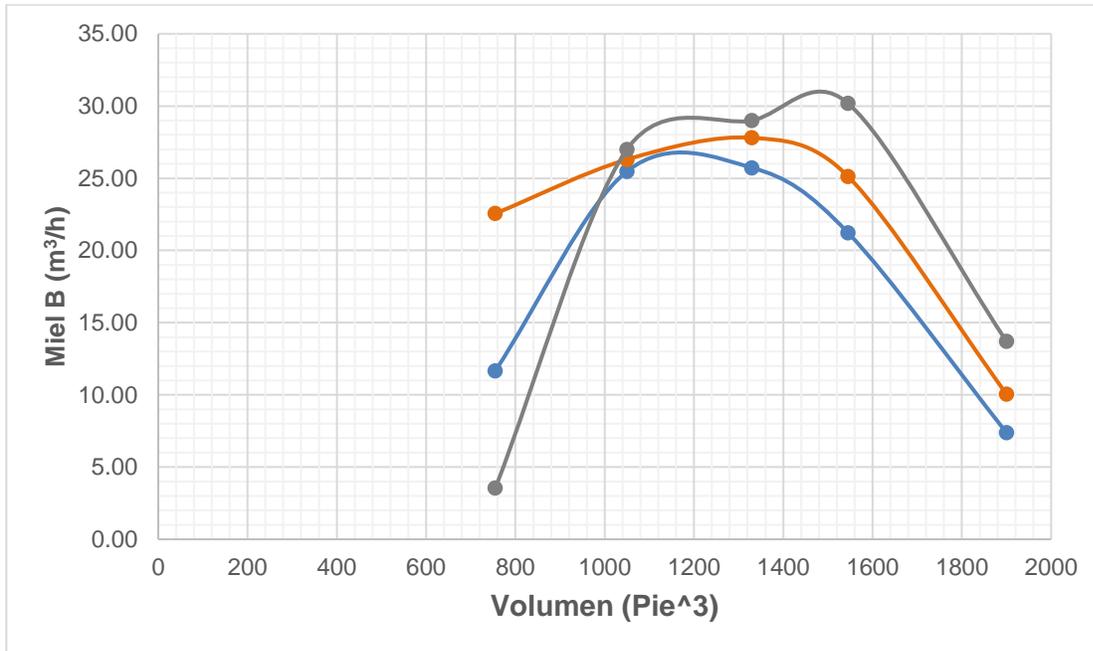
Figura 24. Consumo de miel A (m³/h) en función del Brix en masas segundas, con una presión de vapor de 4,5 psig



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
78 Brix	$y = -3E-05x^2 + 0,0473x + 8,7673$	0,9117	3,58	3,105	[650-1 900]
80 Brix	$y = -7E-05x^2 + 0,1636x - 63,754$	0,956	7,67	3,105	[650-1 900]
82 Brix	$y = -3E-05x^2 + 0,0415x + 30,638$	0,9269	10,88	3,105	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

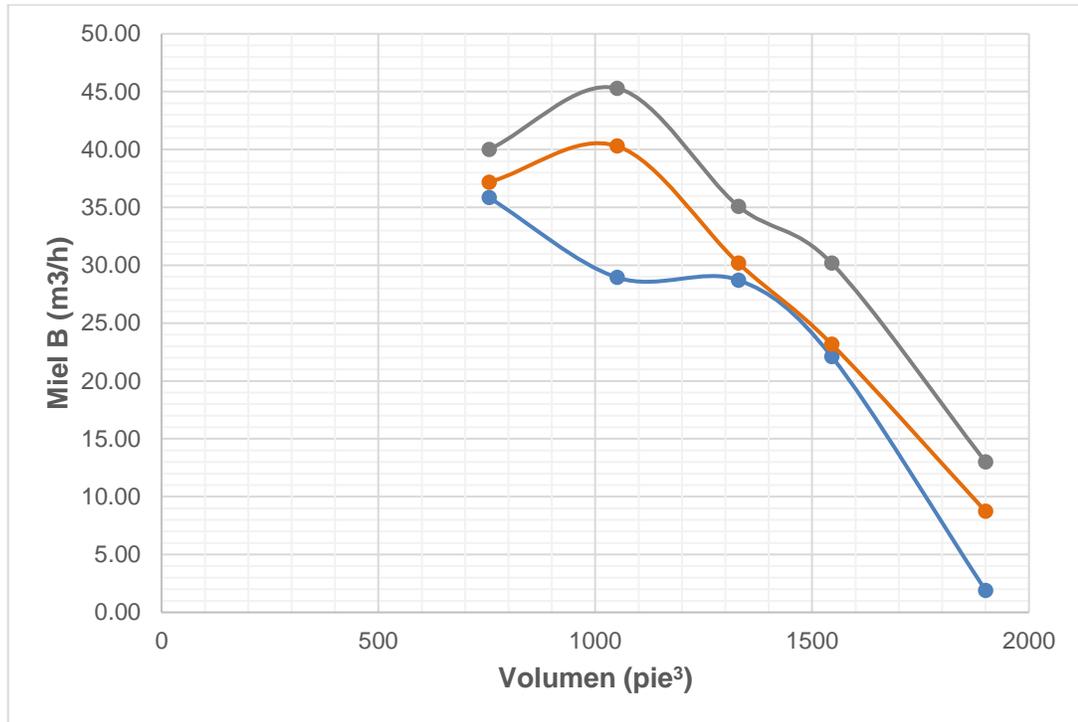
Figura 25. Consumo de miel b (m³/h) en función del Brix en masas terceras, con una presión de vapor de 3 psig



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
78 Brix	$y = -5E-05x^2 + 0,1277x - 55,423$	0,9762	8,42	3,47	[650-1 900]
80 Brix	$y = -4E-05x^2 + 0,0834x - 21,039$	0,9787	7,44	3,47	[650-1 900]
82 Brix	$y = -7E-05x^2 + 0,1899x - 99,658$	0,9702	5,30	3,47	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Consumo de miel b (m³/h) en función del Brix en masas terceras, con una presión de vapor de 4,5 psig



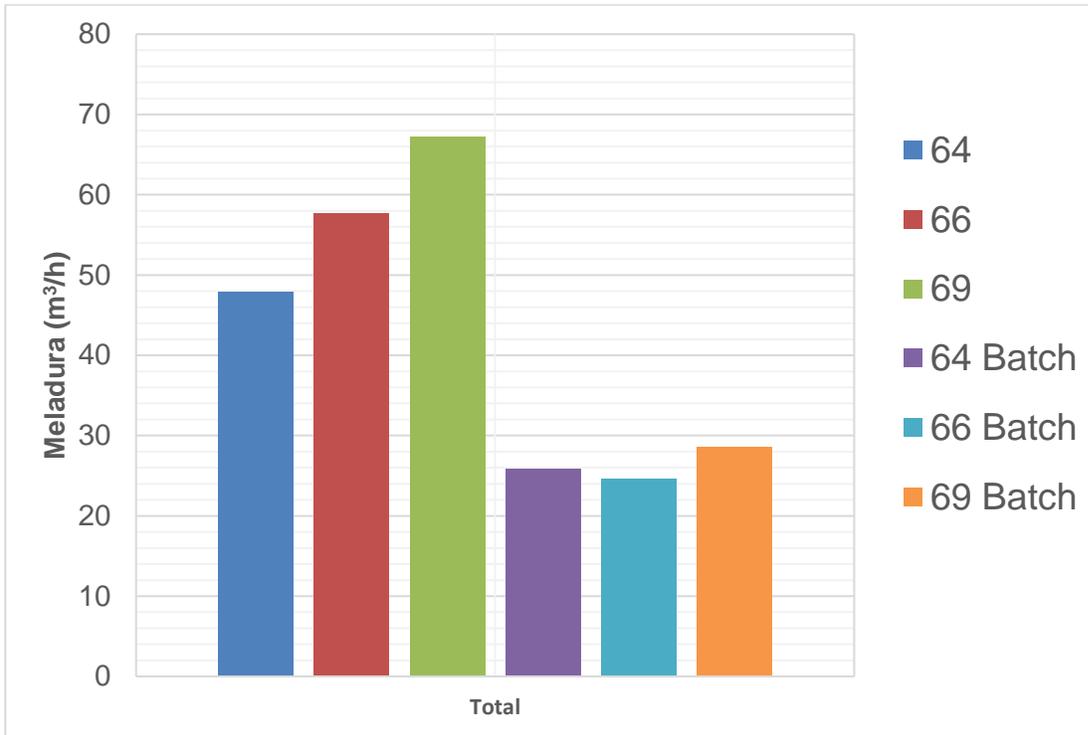
Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
78 Brix	$y = -3E-05x^2 + 0,0445x + 16,03$	0,963	8,22	3,47	[650-1 900]
80 Brix	$y = -3E-05x^2 + 0,0408x + 22,22$	0,9735	3,63	3,47	[650-1 900]
82 Brix	$y = -3E-05x^2 + 0,0607x + 13,816$	0,9699	4,635	3,47	[650-1 900]

Fuente: elaboración propia.

4.4. Análisis comparativo cristizador-evaporador *batch* y continuo

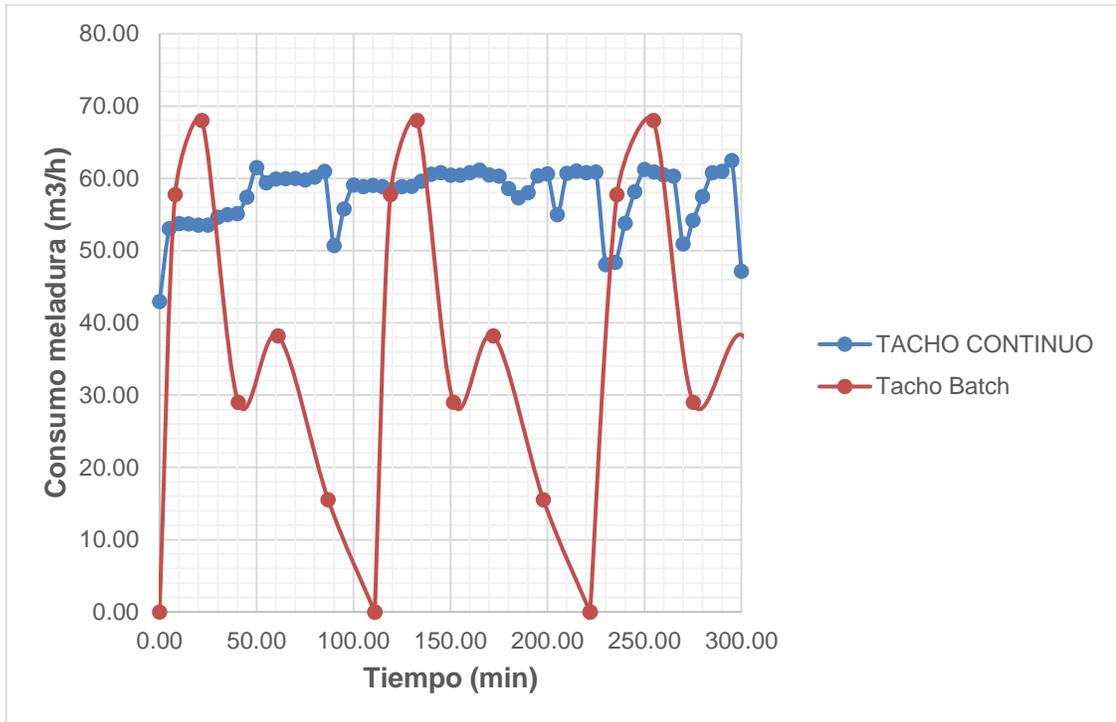
A continuación, se presenta el análisis comparativo cristizador-evaporador *batch* y continuo.

Figura 27. Comparativa de consumo de meladura (m³/h) promedio tacho continuo y tachos *batch* por templa



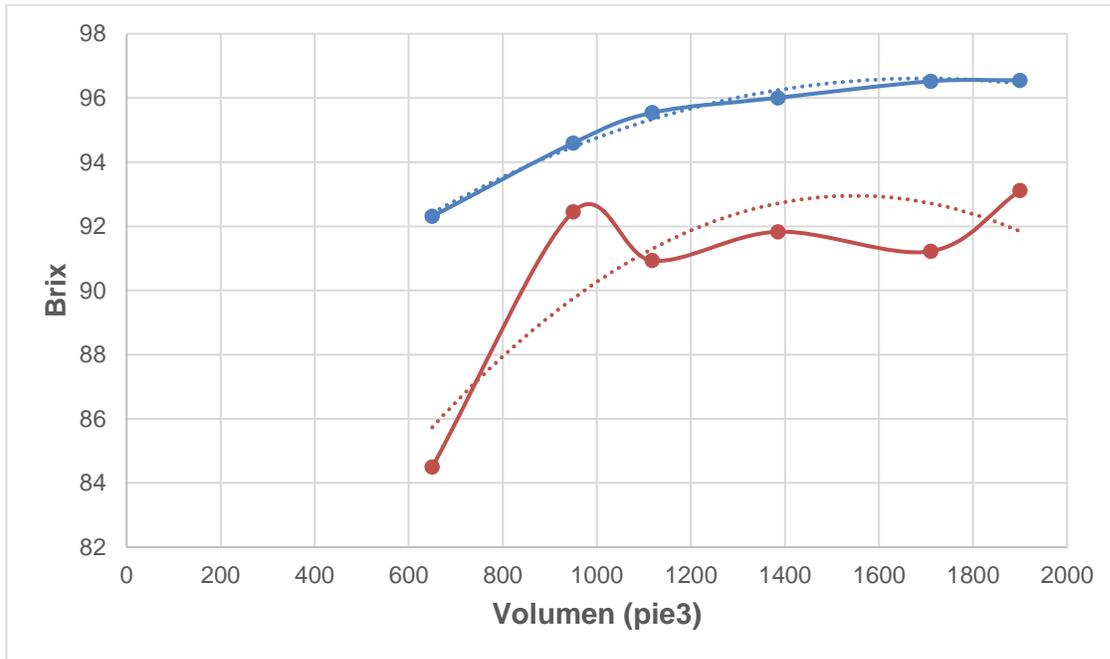
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Consumo de meladura (m³/h) tacho continuo y tacho *batch*



Fuente: elaboración propia.

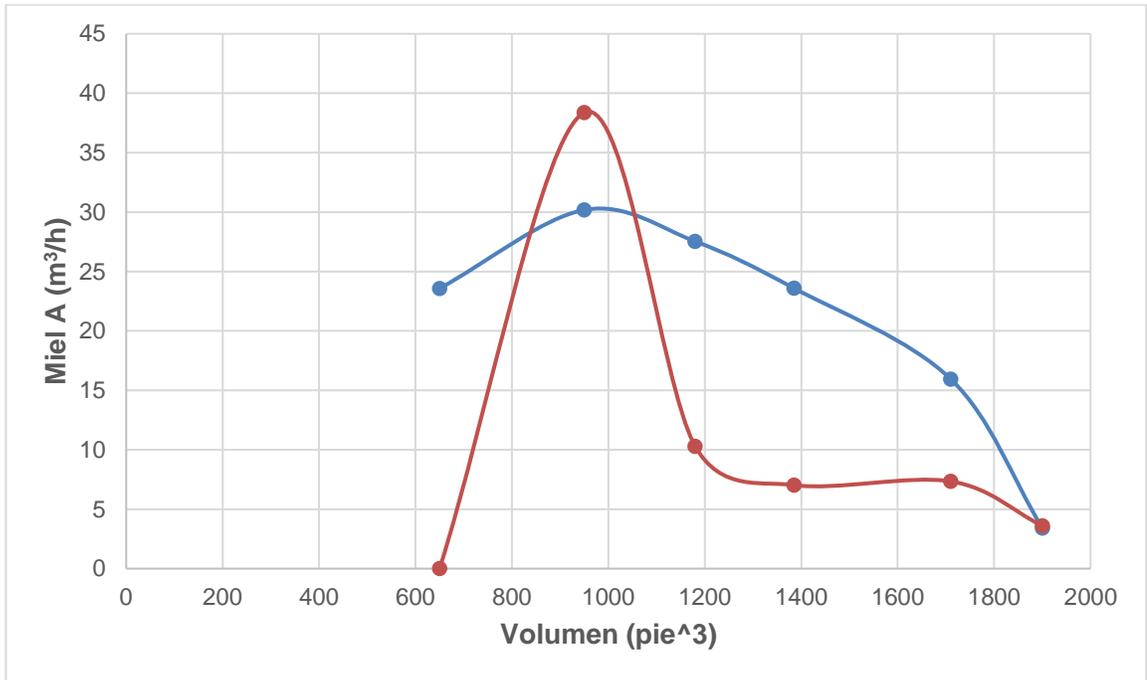
Figura 29. **Brix promedio de templemas masa segunda controlados manualmente y con dispositivos electrónico**



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
 Sin instrumentación	$y = -9E-06x^2 + 0,0277x + 71,499$	0,7222	4,58	3,12	[600-1 900]
 instrumentación	$y = -4E-06x^2 + 0,0131x + 85,548$	0,9889	2,38	3,12	[600-1 900]

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Consumo de miel a (m³/h) tachos controlados manualmente y con dispositivos electrónicos



Gráfica	Modelo matemático	R ²	F	Fc	Intervalo de validez
 Sin Instrumentación	$y = -3E-05x^2 + 0,0766x - 27,026$	0,2416	0,18	4,11	[600-1 900]
 Instrumentación	$y = 2E-07x^3 - 0,0006x^2 + 0,7968x - 287,29$	0,6176	2,14	4,11	[600-1 900]

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo de la templa en los cristalizadores evaporadores se busca mantener el Brix de la templa en aumento, se sabe que en el equilibrio sólido - líquido en cristalización para mantener el crecimiento de los cristales la solución líquida debe estar sobresaturada de sacarosa para permitir el crecimiento de los cristales, por lo tanto si el Brix de la templa está en aumento durante su desarrollo como en la figura 12 indica que la templa está perdiendo agua por evaporación y por consiguiente la concentración de sacarosa en la fase líquida está en aumento logrando así la sobresaturación y por ende una transferencia de masa de la fase líquida hacia la fase sólida asegurando el crecimiento de los cristales. Se puede observar que para los modelos de la figura 12 la F de Fisher fue mayor que la F crítica indicando que sí existe diferencia significativa en el Brix durante el desarrollo de la templa primera, aunque presente punto donde el Brix disminuye durante su desarrollo.

Haciendo una comparación de la figura 12 y 13 donde la variable a identificar es la presión del vapor de 3 psig y 4,5 psig se calcula que la disponibilidad energética para evaporar agua en la templa es de 890 btu/lbm y 880,25 btu/lbm respectivamente, por lo tanto, se puede evaporar mayor cantidad de agua con mayor presión de vapor en una diferencia de 10 btu/lbm, donde esta presión de vapor afecta el tiempo promedio del proceso de desarrollo de las templeas indicando que las templeas desarrolladas con vapor de 3 psig demoran más tiempo que las de 4,5 psig de vapor esto debido a que tarda mayor tiempo en evaporar agua en la mezcla haciendo un crecimiento lento de los cristales; si existe diferencia significativa en el tiempo del desarrollo de las templeas de primera, segunda y masa tercera cuando la presión de vapor es de 4,5 psig.

Comparando las figuras 12 y 13 se observa que no hay diferencia significativa en el Brix de las templeas para ambas presiones, esto se debe a la operación del desarrollo de los cristalizadores evaporadores, cuando este es controlado manualmente y se observa que la presión de vapor es arriba de 4 psig en el manómetro el operador abre la válvula de compuerta aumentando el consumo de meladura para compensar el Brix de la templa y logrando así un balance proporcional de presión de vapor-consumo de meladura; como se observa en la gráfica de consumo de meladura en función del volumen de la templa mientras mayor es la presión de vapor el consumo de meladura puede ser mayor. Esto debido a la cantidad evaporada de agua la templa se concentra con mayor rapidez en sacarosa para seguir aumentando los cristales.

Se puede observar que el Brix en las templeas de masa segunda y masa tercera durante su desarrollo se tienen mejor controladas respecto a las de masa primera debido a que no varía el Brix de las templeas significativamente respecto a el desarrollo de la templa de masa primera con un f promedio de 2,39 y un fc de 3,10 para las masas segundas y f de 2,69 con un fc de 3,478 para las masas terceras, esto se debe a la operación controlada a partir equipos electrónicos y agitación mecánica del tacho. Haciendo una comparación de las figuras 12 y 14, se observa que no hay descensos del Brix en las templeas de masa segunda respecto a las de masa primera que si existen. Que no existan descensos en el Brix favorece al crecimiento del cristal mediante la sobresaturación. Cuando el Brix de las masas desciende como se observa en la figura 12 y 13, La concentración de sacarosa disminuye porque la cantidad de agua líquida está en mayor proporción lo que no favorece a la cristalización; estos descensos de Brix son provocados por los altos consumos de meladura, esta meladura se encuentra insaturada y llega al cristalizador sobresaturado ocasionando una disolución disminuyendo la sobresaturación de la solución contenida en el cristalizador, es por ello que el consumo de meladura debe ser regulado porque al ingresar a un

ambiente sobresaturada, la meladura insaturada disuelve los cristales como se observa en las figuras 18 y 19 mientras menor sea el Brix de la meladura, menor es el índice de sobresaturación manejado en la templa.

- Índice de sobresaturación

Se realizó la investigación del comportamiento del índice de sobresaturación durante el desarrollo de la templa, cada cierto volumen de la templa se extrajo una muestra aproximadamente de un litro y se separó en las 2 fases solido-liquido, se analizó en el laboratorio la cantidad de sacarosa en esta fase, se calculó el índice como muestra las figura 18 y 19 de sobresaturación; como se discutió anteriormente se observa que el índice de sobresaturación operador es mayor cuando el Brix de la meladura es mayor, esto debido a la cantidad de agua de agua contenida en la meladura es menor, por lo que se debe de evaporar una menor cantidad de agua para sobresaturar la templa; se observó que si difieren significativamente la sobresaturación de la templa durante su desarrollo esto es ocasionado debido al flujo de meladura controlado por los operadores permitiendo al inicio una cantidad elevada de meladura, se observa en la figura 18 y 19 que la sobresaturación al inicio de las templeas es menor por la misma razón, indicando que la inicio se agrega una cantidad elevada de meladura insaturada colocando al templa en estado insaturado, permitiendo que el cristal de sacarosa no crezca.

También indica que al final de las templeas el cristal si termina creciendo porque en todos los casos al final de las templeas la sobresaturación fue mayor 1 siendo un máximo de 1,23.

La sobresaturación de la fase liquida también depende de las impurezas de la misma, mientras mayor contenido de impurezas estén presentes en las

soluciones líquidas la sacarosa es menos soluble en el agua líquida, lo que indica que se satura con menor cantidad de sacarosa, aunque muchas veces no se desea que la fase líquida tenga impurezas, estas favorecen en la cristalización mediante la sobresaturación, tener menos cantidad de impurezas implicaría evaporar mayor cantidad de agua para elevar la concentración de sacarosa lo que indicaría un mayor tiempo en el desarrollo de los procesos de cristalización, a diferencia que si la meladura contiene mayor cantidad de impurezas como azúcares reductores, minerales y otro compuesto, debido a la fuerza impulsora (sobresaturación) en la cristalización el cristal crecería con mayor rapidez con el mismo consumo de meladura. Aunque a nivel molecular se puede identificar que las impurezas llegan a formar pequeños obstáculos a las moléculas de sacarosa que son transferidas a la fase sólida lo que no favorecería el crecimiento del cristal, ya que pueden formar pequeñas capas adyacentes al sólido (Geankoplis).

Se puede observar en la gráfica de sobresaturación en función de la masa primera que cuando la masa tiene una mayor concentración de sólidos solubles la sobresaturación de la fase líquida aumenta esto debido a que al final de la templa el flujo de meladura insaturada que entra al cristizador se disminuye y es más controlada ocasionando que no diluya la cantidad de templa contenida en el cristizador.

- Consumo de meladura y mieles

Se observa que los modelos de consumo de meladura fueron polinomios de grado 3 fueron los modelos más ajustados con un error cuadrático medio menor, esto se debe a que dependen de las variables de presión, Brix de meladura y templa, así como también los equipos que son controlados manualmente, el método utilizado para controlar el Brix de la templa consiste en extraer una pequeña muestra de la templa por medio de la sonda, observarla y determinar

por tacto como está el Brix de la templa; otro método consiste en observar el movimiento de la masa en las lucetas del cristizador y así estimar el valor del Brix de la templa.

Con relación a este parámetro y la presión de vapor que indica el manómetro el operador decide el caudal de meladura de la válvula de compuerta, manejando esta válvula se procura mantener el Brix de la templa siempre en aumento como anteriormente se discutió. Esa es una de las razones por las cuales al caudal de la masa primera varía con relación al volumen de la templa el método de operación es cualitativo y subjetivo.

Se puede observar que cuando el Brix de la meladura es mayor alrededor de 69 o 70 el consumo es mayor, esto debido a la cantidad de agua que hay que evaporar; el contenido de agua es menor y se tendrá que separar menor cantidad de agua para logra concentrar la fase líquida de sacarosa y por ende logra la sobresaturación y crecimiento de los cristales.

Sería de mucha importancia medir como rendimiento del cristizador el tamaño del cristal tomando en cuenta que el parámetro Brix que se utiliza actualmente puede presentar muchos significados respecto al tamaño, puede que una solución Brix de 92 de masa y tenga un tamaño final del cristal de 575 μm y una solución de Brix menor tenga un tamaño de cristal mayor, esto puede ocurrir, porque el objetivo de los cristizadores es hacer crecer el cristal tomar el tamaño como índice de eficiencia sería un buen parámetro para controlar mejor la producción, además tomando en cuenta como eficiencia del cristizador el tiempo de desarrollo de las templeas se tomaría como una variable de mayor importancia ya que si el cristal se encuentra en contacto una la fase líquida con mayor tiempo el cristal de azúcar tendría un mayor crecimiento.

Se puede observar que las figuras 23, 24, 25 y 26 de consumo de mieles son de modelo matemático cuadrático cuyo valor del error cuadrático medio fue menor es comparado con el de las masas primeras que fue de modelo cubico implica que el control manual agrega variabilidad al proceso; modelo cuadrático para consumo de mieles con un máximo en un punto del desarrollo de la templa, esto a razón de que la válvula reguladora del caudal está funcionando con dependencia al Brix de la masa tercera o masa segunda y procura mantener el Brix constante, también estos cristalizadores cuentan con agitadores dentro del mismo, haciendo que se distribuya de una mejor manera el crecimiento del cristal. Se sabe que la agitación mecánica favorece la transferencia de masa, en este caso la cristalización porque las partículas de líquido forman una capa adyacente al cristal aumentando el contacto entre las fases solido-liquido como resultado la transferencia de masa sea favorable.

En la figura 27 de comparación de consumo de meladura tachos *batch* y tacho continuo, se puede observar que muestra que mientras más sólidos solubles contenga la meladura mayor será el consumo por hora, además indica que se necesitaría 2,16 tachos de 2 100 pies cúbicos *batch* para igualar el consumo de 1 tacho continuo de 3 400 pies cúbicos.

En las gráficas analizadas de cristalizadores controlados por dispositivos electrónicos y manuales se observa que el Brix para templeas desarrolladas mediante métodos electrónicos y no electrónicos son distintos en sus modelos, siendo cuadrático uno de ellos con un coeficiente de correlación de 0,9889 y otro cubico con una correlación de 0,61. Se tiene mejor controlado el Brix de una templa con controlada electrónicamente comparada con un control manual, se observa que la gráfica controlada manualmente llega un punto promedio en el cual el Brix de la templa disminuye y tiene un bajón de entre 2 a 4 Brix como promedio haciendo que su sobresaturación disminuya, Por lo tanto, se llega a la

conclusión de que la agitación y el control de templeas mediante dispositivos electrónicos favorecen al control del Brix y consumo de meladuras y mieles de las templeas ya que equipos controlados manualmente le agregan variabilidad al proceso por los métodos cualitativos y subjetivos de la abertura de la válvula.

CONCLUSIONES

1. El Brix de las templeas de masa segunda y tercera aumentan, pero no existe diferencia significativamente con el aumento del volumen durante su desarrollo con ayuda de equipos electrónicos con un F promedio de 2,54 de Fc de 3,28, y la masa primera si difiere significativamente con un promedio de F de 21,63 y un Fc de 5,14 pero tiene un punto en el que el Brix disminuye entre 1 y 4 Brix.
2. El índice de sobresaturación es mayor a 1 al final de todas las templeas, sin embargo, es menor a 1 para los Brix de 64 de meladura al inicio de las templeas; si existe diferencia significativamente con el aumento del volumen de la templea con un F de Fisher promedio de 6,37 y F crítico de 5,14.
3. El Consumo de alimentación de las templeas de masa segunda y tercera muestran un modelo cuadrático y difieren significativamente con el aumento del volumen durante su desarrollo con ayuda de equipos electrónicos, con un F de fisher promedio de 3,78 de F crítico de 0,48 y la masa primera muestra un modelo cúbico a causa del control manual y cualitativo, y si existe diferencia significativamente con un promedio de F de Fisher de 4,5 y un F Crítico de 2,33.
4. El consumo de cristalizadores evaporadores controlados con dispositivos electrónicos y manuales difieren significativamente entre sí con un F de Fisher de 10,46 y un F crítico de 4,96; se necesitan 2,16 tachos *batch* de 2 100 pie³ de capacidad para suplir 1 tacho continuo de 3 400 pie³ en

relación con el consumo de meladura a las mismas condiciones de presión de vapor y Brix de la meladura.

RECOMENDACIONES

1. Cada ingenio debe determinar su propio modelo matemático para el cálculo de consumo de mieles y meladura, pues los flujos de vapor en cristalizadores evaporadores y Brix de meladura para este trabajo, se ajusta a las condiciones propias del tercer tercio de zafra del ingenio azucarero donde se realizó el estudio, así como la eficiencia de crecimiento del cristal.
2. Instalar medidores de Brix en los cristalizadores-evaporadores controlados manualmente, para evitar que el Brix de la masa primera disminuya mientras se desarrolla la templa, lo que ocasionaría la disminución de la velocidad de cristalización.
3. Colocar medidores de flujo en los cristalizadores-evaporadores de masa primera para un mejor control del consumo del mismo o tener mejor control con la válvula de compuerta, para que la templa no se disuelva con la meladura insaturada.
4. Instalar medidores de tamaño de cristal en los cristalizadores *batch*, este ayudaría a tener un mejor control del rendimiento de los cristales en los cristalizadores evaporadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARCA, Manuel P. y ESPARZA, Raúl. *Haciendo azúcar volumen 2*. Miami, USA: Arca Corporation, 1984. 21 p.
2. BUENAVENTURA, Carlos. *Manual de laboratorio para la industria azucarera*. Colombia: Graficali de Occidente, 1989. 226 p.
3. CENGICAÑA. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter, 2014. 526 p.
4. CHANG, Raymond. *Química*. 11a ed. México: McGraw-Hill, 2013. 1 098 p.
5. CHEN, James. *Manual del azúcar de caña*. 11a ed. México: Limusa, 1991. 299 p.
6. DOMINGEZ, G. *Normalización del tamaño del cristal de azúcar en el proceso azucarero a través del desarrollo sustentable aplicado al balance energético*. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Avanzada. México: Unidad Altamira. 2013. 110 p.
7. ÉMILE HUGOT, Charles Paul. *Manual para ingenieros azucareros*. 1a ed. México: Continental, 1984. 771 p.

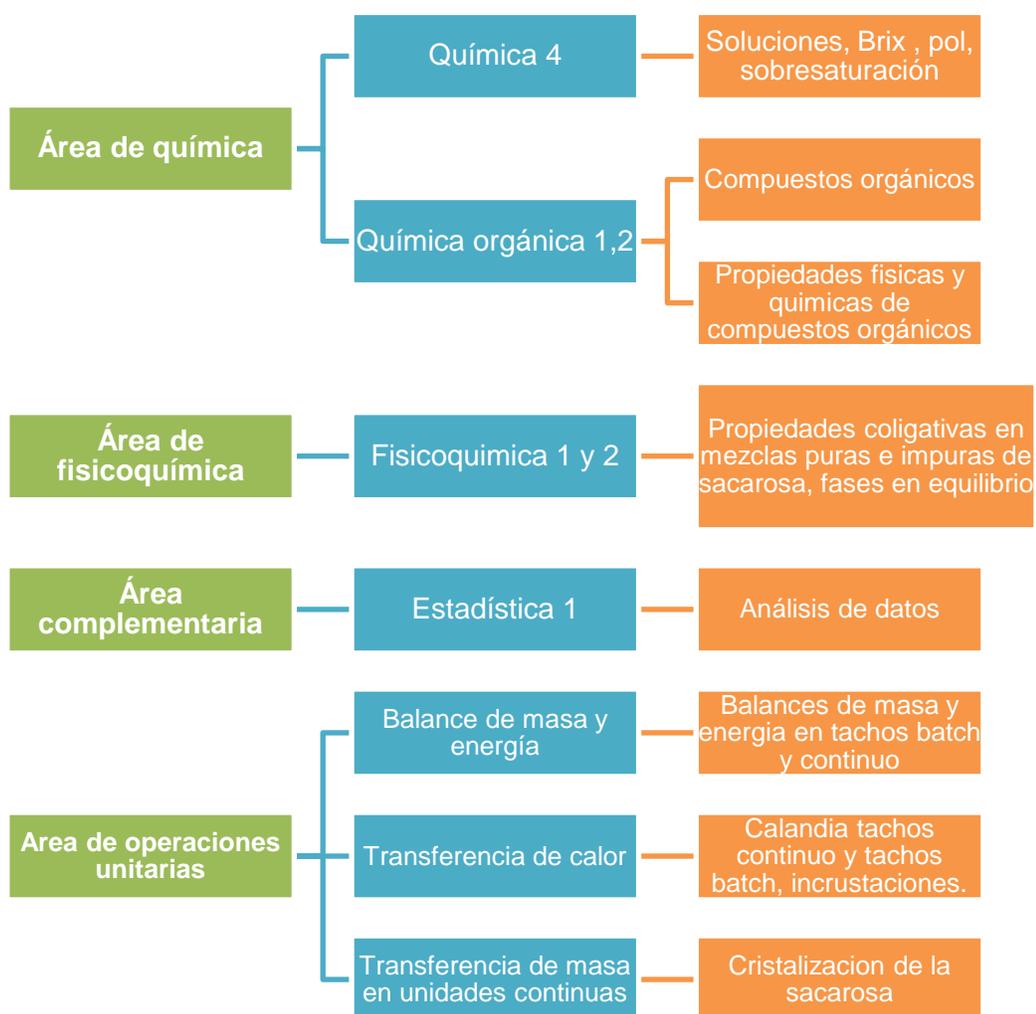
8. FUENTES NAVARRO, Sherly Elizabeth. *Optimización del proceso de fabricación de azúcar blanca para mejorar la calidad, en el ingenio Santa Teresa S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 169 p.
9. GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias.* México: Continental, 1998. 993 p.
10. GEPLACEA. *Manual de técnicas analíticas de azúcares y mieles para América Latina y El Caribe.* México: Colección Geplacea, 1984. 130 p.
11. HERNÁN, Jaime. *El análisis directo de sacarosa en caña (DAC): una herramienta para verificar la precisión del balance de sacarosa.* Colombia: CENICAÑA, 2002. 198 p.
12. LARRAHONDO, Jesús. *Calidad de la caña de azúcar.* Colombia: CENICAÑA, 1995. 80 p.
13. LINARES, Ronald. *Efecto de la pureza de la miel diluida "B" y tiempo de proceso de cristalización, en el rendimiento y tamaño de cristales en la masa cocida "C", durante la elaboración de azúcar rubia.* Tesis para obtener el título de Ing. en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú, 2017. 55 p.
14. MAMANI, Andrés. *Estudio del sistema de cocción y cristalización de masas cocidas para la obtención de azúcar en la empresa*

azucarera San Buenaventura – easba. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2017. 154 p.

15. PERRY, John H. *Manual del Ingeniero Químico. Tomo II*. México: Hispanoamericana, 1976. p.
16. _____. *Manual del Ingeniero Químico. Tomo III*. México: Hispanoamericana, 1976. 1429 p.
17. SPENCER, Guilford. y MEADE, George. *Cane sugar hand book*. 9a ed. Estados Unidos: John Wiley and sons, inc., 1948. 878 p.
18. VELAZQUEZ, Oscar. *Simulación y control del proceso de cristalización de azúcar de caña por lotes a vacío con un enfoque de diseño directo*. México: McGraw-Hill, 2010. 348 p.

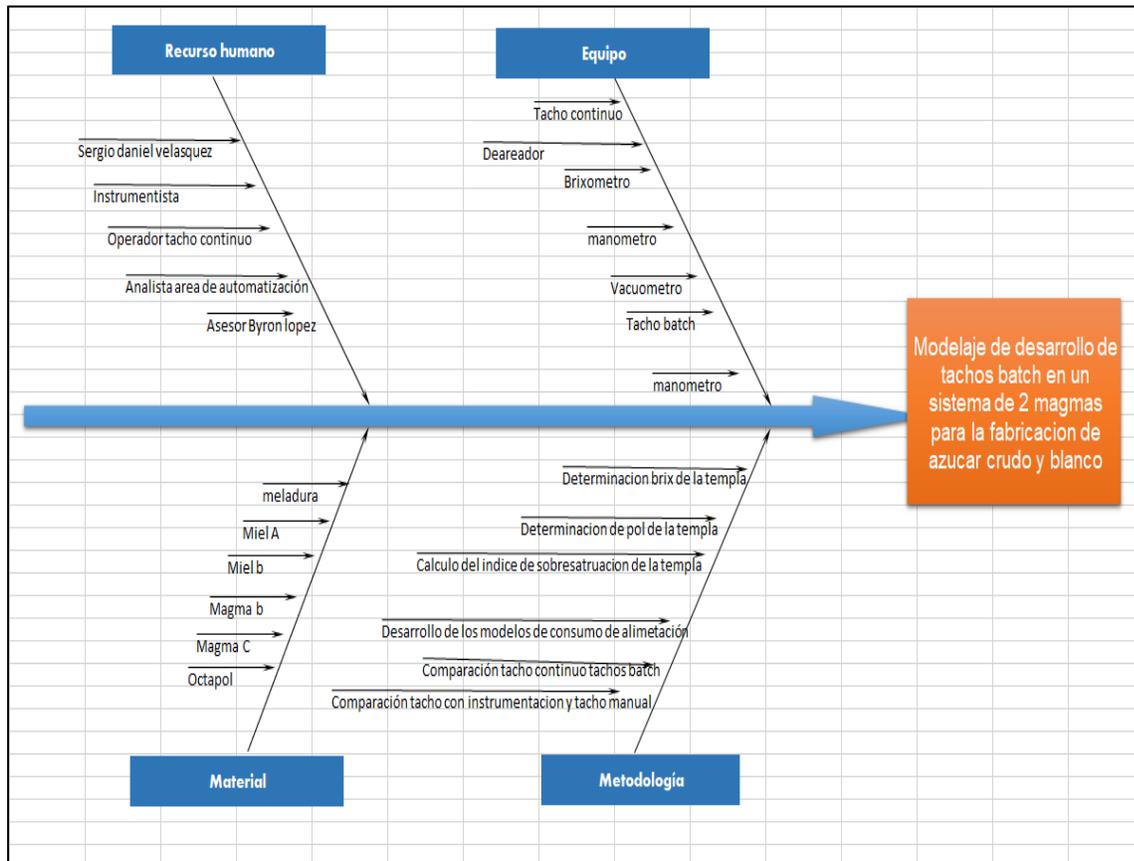
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de distribución F con probabilidad 0,05

La tabla a utilizar para el análisis de varianza, se presenta a continuación, donde en las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0,05 a la derecha, en las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador y en los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 112.

Anexo 2. Análisis de varianza Brix durante el desarrollo de templeas masa primera

Análisis de varianza de un factor						
	64 Brix		3,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800,00	3	247,86	82,62	28,0524		
1645,00	3	264,34	88,11333333	0,026533333		
2100,00	3	275,76	91,92	1,8652		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	131,1574222	2	65,57871111	6,570106109	0,030804453	5,14325285
Dentro de los grupos	59,88826667	6	9,981377778			
Total	191,0456889	8				

Análisis de varianza de un factor						
	66 Brix		3,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800,00	3	259,52	86,50666667	0,868933333		
1645,00	3	265,42	88,47333333	0,352933333		
2100,00	3	272,74	90,91333333	2,106533333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	29,24008889	2	14,62004444	13,17754276	0,006377142	5,14325285
Dentro de los grupos	6,6568	6	1,109466667			
Total	35,89688889	8				

Análisis de varianza de un factor						
	69 Brix		3,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800,00	3	255,74	85,24666667	10,33213333		
1645,00	3	261,96	87,32	0,2812		
2100,00	3	274,74	91,58	2,4976		

Continuación anexo 2.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	62,55742222	2	31,27871111	7,157090266	0,025766524	5,14325285
Dentro de los grupos	26,22186667	6	4,370311111			
Total	88,77928889	8				

Análisis de varianza de un factor		64 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800,00	3	256,66	85,55333333	2,170533333		
1645,00	3	257,14	85,71333333	7,336133333		
2100,00	3	276,18	92,06	3,1696		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	82,64248889	2	41,32124444	9,779198923	0,012937575	5,14325285
Dentro de los grupos	25,35253333	6	4,225422222			
Total	107,9950222	8				
Análisis de varianza de un factor		66 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800,00	3	250,66	83,55333333	1,305733333		
1645,00	3	250,62	83,54	1,1332		
2100,00	3	277,06	92,35333333	1,102533333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	155,1150222	2	77,55751111	65,69948421	8,32728E-05	5,14325285
Dentro de los grupos	7,082933333	6	1,180488889			
Total	162,1979556	8				

Continuación anexo 2.

Análisis de varianza de un factor		69 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800,00	3	258,24	86,08	0,6628		
1645,00	3	250,74	83,58	5,7532		
2100,00	3	276,54	92,18	0		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	117,42	2	58,71	27,45168329	0,000956158	5,14325285
Dentro de los grupos	12,832	6	2,138666667			
Total	130,252	8				

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 115.

Anexo 3. Análisis de varianza Brix durante el desarrollo de templemas masa segunda

Análisis de varianza de un factor		78 Brix	3 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650,00	3	276,826	92,27533333	8,436276333		
950,00	3	285,604	95,20133333	0,338110333		
1118,00	3	287,717	95,90566667	0,102412333		
1385,00	3	288,498	96,166	0,182029		
1710,00	3	289,601	96,53366667	0,043172333		
1900,00	3	285,61	95,20333333	7,105189333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	35,28678778	5	7,057357556	2,612676609	0,080266386	3,105875239
Dentro de los grupos	32,41437933	12	2,701198278			
Total	67,70116711	17				

Continuación anexo 3.

Análisis de varianza de un factor						
		80 Brix	3 psig			
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
650.00	3	276.338	92.11266667	1.489792333		
950.00	3	275.712	91.904	40.154452		
1118.00	3	287.281	95.76033333	0.441237333		
1385.00	3	288.544	96.18133333	0.336872333		
1710.00	3	290.012	96.67066667	0.320304333		
1900.00	3	290.228	96.74266667	0.281334333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	76.97333628	5	15.39466726	2.146895204	0.129158942	3.105875239
Dentro de los grupos	86.04798533	12	7.170665444			
Total	163.0213216	17				
Análisis de varianza de un factor						
		82 Brix	3 psig			
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
650.00	3	278.763	92.921	0.120829		
950.00	3	286.517	95.50566667	0.002232333		
1118.00	3	287.567	95.85566667	0.019842333		
1385.00	3	288.129	96.043	0.013168		
1710.00	3	289.705	96.56833333	0.002434333		
1900.00	3	290.424	96.808	0.036361		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	29.52829494	5	5.905658989	2.5036	7.04568E-11	3.105875239
Dentro de los grupos	0.389734	12	0.032477833			
Total	29.91802894	17				
Análisis de varianza de un factor						
		78 Brix	4.5 psig			
RESUMEN						

Continuación anexo 3.

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
650,00	3	280,41	93,47	11,899771
950,00	3	286,473	95,491	0,024073
1118,00	3	287,704	95,90133333	0,013745333
1385,00	3	289,136	96,37866667	0,043110333
1710,00	3	289,898	96,63266667	0,062694333
1900,00	3	287,889	95,963	0,241633

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	19,30421644	5	3,860843289	1,885633604	0,170690197	3,105875239
Dentro de los grupos	24,570054	12	2,0475045			
Total	43,87427044	17				

Análisis de varianza de un factor 80 Brix 4,5 psig

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
650,00	3	279,069	93,023	0,249937
950,00	3	285,008	95,00266667	0,231982333
1118,00	3	286,868	95,62266667	0,111890333
1385,00	3	287,28	95,76	0,123796
1710,00	3	288,674	96,22466667	0,061210333
1900,00	3	289,5	96,5	0,024181

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	23,5961305	5	4,7192261	2,1939	9,02581E-07	3,105875239
Dentro de los grupos	1,605994	12	0,133832833			
Total	25,2021245	17				

Análisis de varianza de un factor 82 Brix 4.5 psig

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
650,00	3	270.175	90.05833333	8.930325333
950,00	3	251.11	83.70333333	10.5938803
1118,00	3	282.631	94.21033333	1.965061333
1385,00	3	286.526	95.50866667	0.239701333
1710,00	3	289.48	96.49333333	0.013200333
1900,00	3	290.11	96.70333333	0.039216333

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	385.3986304	5	77.07972609	3.0125	0.022288526	3.105875239
Dentro de los grupos	229.56277	12	19.13023083			
Total	614.9614004	17				

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 120.

Anexo 4. **Análisis de varianza Brix durante el desarrollo de templemas masa tercera**

Análisis de varianza de un factor						
	78 Brix	3 psig				
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	263,398	87,79933333	14,22699433		
1050,00	3	286,373	95,45766667	0,582640333		
1330,00	3	287,616	95,872	0,174307		
1545,00	3	287,288	95,76266667	0,097482333		
1900,00	3	289,941	96,647	0,519975		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	161,1526409	4	40,28816023	3,18	0,000582805	3,478049691
Dentro de los grupos	31,202798	10	3,1202798			
Total	192,3554389	14				

Análisis de varianza de un factor						
	80 Brix	3 psig				
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	249,708	83,236	13,904719		
1050,00	3	281,601	93,867	0,311539		
1330,00	3	284,694	94,898	0,367491		
1545,00	3	287,633	95,87766667	0,676134333		
1900,00	3	289,472	96,49066667	1,113934333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	360,2278804	4	90,0569701	1,989120717	0,172242703	3,478049691
Dentro de los grupos	452,7476353	10	45,27476353			
Total	812,9755157	14				

Continuación anexo 4.

Análisis de varianza de un factor						
		82 Brix	3 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	250,55	83,51666667	11,14144933		
1050,00	3	282,69	94,23	4,506949		
1330,00	3	285,414	95,138	11,566053		
1545,00	3	290,577	96,859	1,542652		
1900,00	3	292,719	97,573	0,410508		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	392,2451287	4	98,06128217	3,14548	0,016253422	3,478049691
Dentro de los grupos	190,3352227	10	19,03352227			
Total	582,5803513	14				

Análisis de varianza de un factor						
		78 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	277,295	92,43166667	4,729284333		
1050,00	3	286,774	95,59133333	1,791662333		
1330,00	3	289,098	96,366	2,156311		
1545,00	3	291,283	97,09433333	2,050049333		
1900,00	3	293,851	97,95033333	2,948692333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	53,91355827	4	13,47838957	4,92775308	0,01864692	3,478049691
Dentro de los grupos	27,35199867	10	2,735199867			
Total	81,26555693	14				

Continuación anexo 4.

Análisis de varianza de un factor		80 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	249,244	83,08133333	12,3365263		
1050,00	3	282,505	94,16833333	0,175146333		
1330,00	3	287,587	95,86233333	1,333369333		
1545,00	3	289,677	96,559	0,790003		
1900,00	3	282,433	94,14433333	13,45592633		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	364,8995883	4	91,22489707	5,185	0,107632739	3,478049691
Dentro de los grupos	362,1819427	10	36,21819427			
Total	727,0815309	14				

Análisis de varianza de un factor		82 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	264,304	88,10133333	12,55808033		
1050,00	3	287,41	95,80333333	4,912060333		
1330,00	3	288,468	96,156	3,027109		
1545,00	3	290,236	96,74533333	0,751284333		
1900,00	3	284,339	94,77966667	15,26286633		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	151,0094491	4	37,75236227	4,548	0,164322445	3,478049691
Dentro de los grupos	185,0228007	10	18,50228007			
Total	336,0322497	14				

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 129.

Anexo 5. **Análisis de varianza sobresaturación fase líquida masa primera**

Análisis de varianza de un factor						
ss	64 Brix	3 psi				
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800	3	3,418190379	1,139396793	0,000943779		
1650	3	3,405	1,135	0,00227209		
2100	3	3,15	1,05	0,001287878		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,015236118	2	0,007618059	5,074480925	0,051288491	5,14325285
Dentro de los grupos	0,009007494	6	0,001501249			
Total	0,024243612	8				

Análisis de varianza de un factor						
66 Brix	3 psi					
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800	3	3,423541453	1,141180484	0,000787376		
1650	3	3,411	1,137	0,007431016		
2100	3	3,036	1,012	0,016417116		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,032330074	2	0,016165037	1,968504621	0,220133769	5,14325285
Dentro de los grupos	0,049271016	6	0,008211836			
Total	0,08160109	8				

Análisis de varianza de un factor				
69 Brix	3 psi			
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
800	3	3,432388291	1,14412943	6,96144E-05
1650	3	3,41624303	1,138747677	1,89463E-06
2100	3	3,27	1,09	1,6828E-05

Continuación anexo 5.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,005335294	2	0,002667647	1,101	3,29305E-05	5,14325285
Dentro de los grupos	0,000176674	6	2,94457E-05			
Total	0,005511969	8				

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,004531999	2	0,002265999	0,34393586	0,722087702	5,14325285
Dentro de los grupos	0,039530617	6	0,006588436			
Total	0,044062616	8				

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,012991967	2	0,006495983	1,611071079	0,275396435	5,14325285
Dentro de los grupos	0,024192539	6	0,00403209			
Total	0,037184506	8				

Continuación anexo 5.

Análisis de varianza de un factor		69 Brix	4,5 Brix			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
800	3	3,653633572	1,217877857	0,0038649	15	
1650	3	3,611873081	1,203957694	0,0035202	84	
2100	3	3,18	1,06	0,0002288	6	
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,045843006	2	0,022921503	4,1433	0,015503542	5,14325285
Dentro de los grupos	0,015228118	6	0,00253802			
Total	0,061071124	8				

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 131.

Anexo 6. Análisis de varianza consumos de meladura

Análisis de varianza de un factor		78 Brix	3 psi			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	80,495	26,83166667	22,00340433		
950	3	85,073	28,35766667	14,0801023		
1118	3	84,49	28,16333333	2,92534233		
1385	3	75,663	25,221	13,747771		
1710	3	50,196	16,732	20,942532		
1900	3	12,233	4,077666667	17,34632233		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1379,841437	5	275,9682874	4,784948359	0,01229567	3,105875239
Dentro de los grupos	692,0909487	12	57,67424572			
Total	2071,932386	17				

Continuación anexo 6.

Análisis de varianza de un factor						
		80 Brix	3 psi			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	112,884	37,628	50,1264		
950	3	94,523	31,50766667	16,78897633		
1118	3	87,936	29,312	13,081508		
1385	3	73,552	24,51733333	14,43552133		
1710	3	44,885	14,96166667	10,0823053		
1900	3	3,201	1,067	0,723643		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2622,02745	5	524,4054901	13,31889123	0,000150544	3,105875239
Dentro de los grupos	472,476708	12	39,373059			
Total	3094,504158	17				

Análisis de varianza de un factor						
		82 Brix	3 psi			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	111	37	25,99097733		
950	3	109,449	36,483	0,997113		
1118	3	100,543	33,51433333	10,54830233		
1385	3	96,872	32,29066667	24,17843433		
1710	3	72,102	24,034	24,546396		
1900	3	20,937	6,979	11,574839		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1975,524435	5	395,104887	10,40497848	0,000488941	3,105875239
Dentro de los grupos	455,672124	12	37,972677			
Total	2431,196559	17				

Continuación anexo 6.

Análisis de varianza de un factor 78 Brix 4,5 psi						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	76,817	25,60566667	12,5449		
950	3	106,858	35,61933333	35,2506413		
1118	3	82,891	27,63033333	27,68423233		
1385	3	61,652	20,55066667	19,32031433		
1710	3	28,535	9,511666667	142,3996503		
1900	3	13,983	4,661	12,380969		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2031,20362	3	406,2407246	3,586688559	0,032435576	3,105875239
Dentro de los grupos	1359,16141	5	113,2634512			
Total	3390,36503	12				
	8	17				

Análisis de varianza de un factor 80 Brix 4,5 psi						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	37,092	12,364	3,978903		
950	3	102,32	34,10666667	6,61793033		
1118	3	108,913	36,30433333	62,65463433		
1385	3	87,523	29,17433333	35,7153343		
1710	3	59,605	19,86833333	0,379330333		
1900	3	12,548	4,182666667	2,81107633		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2444,52943	3	488,9058861	7,675991058	0,001902059	3,105875239
Dentro de los grupos	764,314417	5	63,69286811			
Total	3208,84384	12				
	8	17				

Continuación anexo 6.

Análisis de varianza de un factor						
		82 Brix	4,5 psi			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	140,455	46,81833333	10,01		
950	3	135,6	45,2	17,24		
1118	3	113,4	37,8	11,2716853		
1385	3	100,2	33,4	1,329336333		
1710	3	79,721	26,57366667	21,91606533		
1900	3	9,004	3,001333333	6,252520333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3899,057605	5	779,811521	10,88059485	0,000396885	3,105875239
Dentro de los grupos	860,0392147	12	71,66993456			
Total	4759,09682	17				

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 135.

Anexo 7. Análisis de varianza consumos de miel A

Análisis de varianza de un factor					
		78 Brix	3 psi		
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
650	3	80,495	26,83166667	22,00340433	
950	3	85,073	28,35766667	14,0801023	
1118	3	84,49	28,16333333	2,92534233	
1385	3	75,663	25,221	13,747771	
1710	3	50,196	16,732	20,942532	
1900	3	12,233	4,077666667	17,34632233	
ANÁLISIS DE VARIANZA					

Continuación anexo 7.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1379,841437	5	275,9682874	4,784948359	0,01229567	3,105875239
Dentro de los grupos	692,0909487	12	57,67424572			
Total	2071,932386	17				

Análisis de varianza de un factor						
80 Brix 3 psi						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	112,884	37,628	50,1264		
950	3	94,523	31,50766667	16,78897633		
1118	3	87,936	29,312	13,081508		
1385	3	73,552	24,51733333	14,43552133		
1710	3	44,885	14,96166667	10,0823053		
1900	3	3,201	1,067	0,723643		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2622,02745	5	524,4054901	13,31889123	0,000150544	3,105875239
Dentro de los grupos	472,476708	12	39,373059			
Total	3094,504158	17				

Análisis de varianza de un factor						
82 Brix 3 psi						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	111	37	25,99097733		
950	3	109,449	36,483	0,997113		
1118	3	100,543	33,51433333	10,54830233		
1385	3	96,872	32,29066667	24,17843433		
1710	3	72,102	24,034	24,546396		
1900	3	20,937	6,979	11,574839		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1975,524435	5	395,104887	10,40497848	0,000488941	3,105875239
Dentro de los grupos	455,672124	12	37,972677			
Total	2431,196559	17				

Continuación anexo 7.

Análisis de varianza de un factor						
	78 Brix		4,5 psi			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	76,817	25,60566667	12,5449		
950	3	106,858	35,61933333	35,2506413		
1118	3	82,891	27,63033333	27,68423233		
1385	3	61,652	20,55066667	19,32031433		
1710	3	28,535	9,511666667	142,3996503		
1900	3	13,983	4,661	12,380969		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2031,203623	5	406,2407246	3,586688559	0,032435576	3,105875239
Dentro de los grupos	1359,161415	12	113,2634512			
Total	3390,365038	17				

Análisis de varianza de un factor						
	80 Brix		4,5 psi			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	37,092	12,364	3,978903		
950	3	102,32	34,10666667	6,61793033		
1118	3	108,913	36,30433333	62,65463433		
1385	3	87,523	29,17433333	35,7153343		
1710	3	59,605	19,86833333	0,379330333		
1900	3	12,548	4,182666667	2,81107633		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2444,52943	5	488,9058861	7,675991058	0,001902059	3,105875239
Dentro de los grupos	764,3144173	12	63,69286811			
Total	3208,843848	17				

Continuación anexo 7.

Análisis de varianza de un factor						
		82 Brix	4,5 psi			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
650	3	140,455	46,81833333	10,01		
950	3	135,6	45,2	17,24		
1118	3	113,4	37,8	11,2716853		
1385	3	100,2	33,4	1,329336333		
1710	3	79,721	26,57366667	21,91606533		
1900	3	9,004	3,001333333	6,252520333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3899,057605	5	779,811521	10,88059485	0,000396885	3,105875239
Dentro de los grupos	860,0392147	12	71,66993456			
Total	4759,09682	17				

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 136.

Anexo 8. Análisis de varianza consumos de miel B

Análisis de varianza de un factor						
		Brix 78	3 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	35,004	11,668	25		
1050,00	3	76,444	25,48133333	15,32740133		
1330,00	3	77,178	25,726	20,124148		
1545,00	3	63,68	21,22666667	32,46293633		
1900,00	3	22,146	7,382	1		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	835,4054971	4	208,8513743	8,427238072	0,003043918	3,478049691
Dentro de los grupos	247,8289713	10	24,78289713			
Total	1083,234468	14				

Continuación anexo 8.

Análisis de varianza de un factor 80 Brix 3 psig						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	67,676	22,55866667	12,5311723		
1050,00	3	78,9	26,3	11,91751233		
1330,00	3	83,4	27,8	32,84874433		
1545,00	3	75,39	25,13	15,9184423		
1900,00	3	30,15	10,05	0,000176333		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	613,0961083	4	153,2740271	7,44	0,479664767	3,478049691
Dentro de los grupos	1630,432095	10	163,0432095			
Total	2243,528204	14				

Análisis de varianza de un factor 82 Brix 3 psig						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	10,63	3,543333333	10,87323033		
1050,00	3	81	27	2,833370333		
1330,00	3	87	29	11,755227		
1545,00	3	90,562	30,18733333	21,00249033		
1900,00	3	41,111	13,70366667	11,94550233		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1625,665568	4	406,4163919	5,300025852	0,014873729	3,478049691
Dentro de los grupos	766,8196407	10	76,68196407			
Total	2392,485208	14				

Continuación anexo 8.

Análisis de varianza de un factor						
		Brix 78	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	107,541	35,847	11,33		
1050,00	3	86,852	28,95066667	12,29568633		
1330,00	3	86,158	28,71933333	16,3718263		
1545,00	3	66,348	22,116	10,157851		
1900,00	3	5,688	1,896	9,483852		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2034,143161	4	508,5357903	8,220508225	0,003333733	3,478049691
Dentro de los grupos	618,6184313	10	61,86184313			
Total	2652,761592	14				

Análisis de varianza de un factor						
		80 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	111,54	37,18	10,3599053		
1050,00	3	120,9	40,3	24,7367463		
1330,00	3	90,54	30,18	21,954927		
1545,00	3	69,54	23,18	17,837651		
1900,00	3	26,193	8,731	16,792377		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1904,414258	4	476,1035646	3,63	0,0613295	3,478049691
Dentro de los grupos	1483,363213	10	148,3363213			
Total	3387,777472	14				

Continuación anexo 8.

Análisis de varianza de un factor						
		82 Brix	4,5 psig			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
755,00	3	120	40	20,3636		
1050,00	3	135,9	45,3	12,765013		
				12,416422		
1330,00	3	105,3	35,1	3		
1545,00	3	90,54	30,18	13,741825		
1900,00	3	39	13	15,222		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1836,74736	4	459,18684	4,635	0,707410963	3,478049691
Dentro de los grupos	8437,696327	10	843,7696327			
Total	10274,44369	14				

Fuente: WEBSTER, Allen. *Estadísticas aplicadas a los negocios y la economía*. p. 142.

