



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

**EVALUACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE MEZCLA DE LICOR CLARIFICADO Y SIROPE
PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR REFINO EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN Y
COCIMIENTO DE TEMPLA ÚNICA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE AZÚCAR**

Mario René Hernández Lemus

Asesorado por el Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez

Guatemala, febrero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE MEZCLA DE LICOR CLARIFICADO Y SIROPE
PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR REFINO EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN Y
COCIMIENTO DE TEMPLA ÚNICA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE AZÚCAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO RENÉ HERNÁNDEZ LEMUS

ASESORADO POR EL ING. ESTUARDO EDMUNDO MONROY BENITEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio I. González Podszuek
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Julio Chávez Montufar
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Espinoza Smith
SECRETARIO	Ing. Francisco J. González López

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:

**EVALUACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE MEZCLA DE LICOR CLARIFICADO Y SIROPE
PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR REFINO EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN Y
COCIMIENTO DE TEMPLA ÚNICA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE AZÚCAR**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 18 de mayo de 2021.

Mario René Hernández Lemus

Guatemala 24 de agosto de 2021

Ingeniero
Williams Guillermo Alvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Alvarez:

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: "EVALUACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE MEZCLA DE LICOR CLARIFICADO Y SIROPE PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR REFINO EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN Y COCIMIENTO DE TEMPLA ÚNICA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE AZÚCAR", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Mario René Hernández Lemus, quien se identifica con el registro académico 8511507 y con el CUI 1826 47757 0101.

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

Atentamente,



Estuardo Monroy Benítez
Ingeniero Químico
Colegiado No. 446

Estuardo Edmundo Monroy Benítez
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo No.446



Guatemala, 29 de octubre de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.033.2021.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **006-2021**, 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: **Mario René Hernández Lemus**.
Identificado con número de carné: **1826477570101**.
Identificado con registro académico: **8511507**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Cierre de Pensum sin 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:

EVALUACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE MEZCLA DE LICOR CLARIFICADO Y SIROPE PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR REFINO EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN Y COCIMIENTO DE TEMPLA ÚNICA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE AZÚCAR

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Estuardo Edmundo Monroy Benítez, 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"

José Alfredo Ortiz Herincx
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo





LNG.DIRECTOR.013.EIQ.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE MEZCLA DE LICOR CLARIFICADO Y SIROPE PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR REFINO EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN Y COCIMIENTO DE TEMPLA ÚNICA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE AZÚCAR**, presentado por: **Mario René Hernández Lemus**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Williams G. Alvarez Mejia: M.I.C. M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero de 2022.

Facultad de Ingeniería

Decanato
24189101-
24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.049.2022

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: **EVALUACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE MEZCLA DE LICOR CLARIFICADO Y SIROPE PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR REFINO EN LA ETAPA DE CRISTALIZACIÓN Y COCIMIENTO DE TEMPLA ÚNICA EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE AZÚCAR**, presentado por: **Mario René Hernández Lemus**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, febrero de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su infinita misericordia, gracia e iluminación a lo largo de mi vida.
Mi madre	Alba Lemus. Por su entrega, fe y amor, será siempre mi inspiración.
Mis hijos	Fabián Ernesto y José Javier Hernández. Por ser el motivo de mi esfuerzo e inspiración para ser mejor persona y así darles un buen ejemplo.
Mis hermanas	Ingrid y Yorleny Hernández. Por su solidaridad, apoyo emocional y espiritual.
Mi compañera de hogar	Claudia Barrientos. Por su comprensión y compañía, entre otras cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por promover la mejora permanente de la sociedad a través del conocimiento.
Facultad de Ingeniería	Por aportar nuevo conocimiento y desarrollo tecnológico a la sociedad, en particular al tejido productivo.
Escuela de Ingeniería Química	Brindar los conocimientos, durante mi carrera.
Ing. Luis Armando Angel Mendoza	Por su incondicional apoyo y amistad, entre otras cosas.
Dr. Ing. Qco. Estuardo Monroy	Por ser mi mentor y una importante influencia en mi carrera.
Personal Ingenio Lázaro Cárdenas y GAM	Por su compañerismo y apoyo para realizar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Justificación	1
1.2. Determinación del problema.....	2
1.3. Definición.....	3
1.4. Delimitación	3
2. MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1. Situación global alimentaria.....	5
2.2. Mercado del azúcar	6
2.3. Cadena de suministro del azúcar	10
2.4. Uso del azúcar.....	12
2.5. Descripción del proceso de elaboración de azúcar	13
2.6. Caña de azúcar	13
2.6.1. Cosecha, transporte y almacenamiento de caña....	15
2.6.2. Recepción y conducción de caña	15
2.6.3. Preparación de caña.....	16
2.6.4. Extracción de jugo	16

2.6.5.	Generación de vapor	17
2.6.6.	Clarificación y decantación de jugo	17
2.6.7.	Evaporación	18
2.6.8.	Clarificación de meladura	19
2.6.9.	Cristalización y cocción de masas.....	19
2.6.10.	Centrifugación	19
2.7.	Descripción del proceso de elaboración de azúcar refinado	21
2.7.1.	Afinación de azúcar.....	22
2.7.2.	Fundición de azúcar	22
2.7.3.	Tamizado de licor	23
2.7.4.	Clarificación de licor	25
2.7.5.	Filtración.....	26
2.7.6.	Cristalización y cocción	29
2.7.7.	Centrifugación	30
2.7.8.	Secado y enfriado	33
2.7.9.	Cribado y separación de partículas metálicas	34
2.7.10.	Envase y empaque.....	35
2.7.11.	Transporte	36
2.8.	Especificaciones del azúcar refinado	36
2.8.1.	Descripción de azúcar refinado	36
2.8.2.	Propiedades organolépticas	36
2.8.3.	Propiedades fisicoquímicas.....	37
2.8.5.	Especificaciones de empaque.....	38
2.8.6.	Información nutricional	39
2.8.7.	Forma de consumo y consumidores potenciales	40
2.8.8.	Recomendación para el almacenamiento	40
2.8.9.	Forma de transporte	40

3.	DISEÑO METODOLÓGICO	41
3.1.	Variables.....	41
3.2.	Delimitación de campo de estudio	42
3.3.	Recurso humano disponible	42
3.4.	Recurso material disponible	42
3.4.1.	Equipo de laboratorio.....	42
3.4.2.	Materiales y reactivos	43
3.4.3.	Mediciones en planta	43
3.5.	Técnica cuantitativa	44
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	45
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	46
3.8.	Análisis estadístico	49
3.8.1.	Promedio estadístico	49
3.8.2.	Desviación estándar	49
3.8.3.	Linealidad y coeficiente de correlación	50
3.8.4.	Porcentaje de recuperación o recobrado.....	50
3.8.5.	Coeficiente de variación o desviación estándar relativa	50
4.	RESULTADOS	51
4.1.	Escenario 1.....	51
4.2.	Escenario 2.....	55
4.3.	Escenario 3.....	58
4.4.	Comparativo de escenarios	61
4.5.	Balance de masa	67
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	69

CONCLUSIONES..... 75
RECOMENDACIONES 77
BIBLIOGRAFÍA..... 79
APÉNDICES..... 83
ANEXOS..... 89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Información general sobre el pronóstico y mercado del azúcar	7
2.	Información general sobre precios del azúcar.....	8
3.	Tendencia de los precios del azúcar.....	9
4.	Diagrama de la cadena de suministro del azúcar	11
5.	Reacción química y molécula de sacarosa, fructuosa y glucosa	14
6.	Diagrama de flujo proceso de elaboración de azúcar refinado	21
7.	Preparación de licor: pre-fundición, fundición y tamizado	24
8.	Clarificación y filtrado de licor	28
9.	Graba sílice y carbón de antracita.....	28
10.	Esquema de centrifuga discontinua	31
11.	Cristalización, recepción de masas y centrifugación.....	32
12.	Arreglo general secado y enfriado de azúcar en ILC	34
13.	Secado, cribado y envase de azúcar refinado	35
14.	Balance de materiales del proceso de refinación de azúcar.	45
15.	Comportamiento del color de masa cocida E1	51
16.	Comportamiento del color de sirope E1	52
17.	Comportamiento del color de azúcar E1	52
18.	Correlación entre masa cocida y sirope E1	53
19.	Correlación entre azúcar refinado y sirope E1	53
20.	Correlación entre color y azucares reductores, sirope E1.....	54
21.	Comportamiento del color de masa cocida E2.....	55
22.	Comportamiento del color de sirope E2	55
23.	Comportamiento del color de azúcar E2	56

24.	Correlación entre masa cocida y sirope E2	56
25.	Correlación entre azúcar refinado y sirope E2.....	57
26.	Correlación entre color y azúcares reductores, Sirope E2.....	57
27.	Comportamiento del color de masa cocida E3	58
28.	Comportamiento del color de sirope E3.....	59
29.	Comportamiento del color de azúcar E3.....	59
30.	Correlación entre masa cocida y sirope E3	60
31.	Correlación entre azúcar refinado y sirope E3.....	60
32.	Correlación entre color y azúcares reductores, sirope E3	61
33.	Diagrama para la interpretación de gráficos de cajas	62
34.	Estadísticos de azúcar blanco estándar	62
35.	Estadísticos de licor filtrado	63
36.	Estadísticos de masa cocida	63
37.	Estadísticos de sirope.....	64
38.	Estadísticos de azúcares reductores en sirope	64
39.	Estadísticos de azúcar refinado.....	65
40.	Distribución normal Escenario todos los datos	65
41.	Distribución normal de azúcar refinado descartando datos atípicos	66
42.	Balance de masa escenario 1.....	67
43.	Balance de masa escenario 2.....	68
44.	Balance de masa escenario 3.....	68

TABLAS

I.	Usos comerciales del azúcar	12
II.	Composición de la caña en ILC.....	15
III.	Composición azúcar húmeda para refinar en ILC.....	20
IV.	Licor fundido obtenido en ILC	23
V.	Licor clarificado obtenido en ILC.....	26

VI.	Licor filtrado obtenido en ILC	27
VII.	Masa cocida obtenida en ILC.....	30
VIII.	Sirope obtenido en ILC.....	33
IX.	Propiedades organolépticas del azúcar refinado	37
X.	Propiedades fisicoquímicas del azúcar refinado	37
XI.	Propiedades de inocuidad del azúcar refinado	38
XII.	Información nutricional del azúcar refinado.....	39
XIII.	Variables	41
XIV.	Resumen de resultados analíticos de refinería	48
XV.	Probabilidad de cumplimiento color en azúcar refinado	66
XVI.	Comparativo de % cenizas en azúcar refinado	67
XVII.	Correlación de masa cocida y cantidad de templates por ciclo	69
XVIII.	Correlación de color de sirope y cantidad de templates por ciclo.	70
XIX.	Correlación de color de sirope y color de masa cocida.....	70
XX.	Correlación de color de sirope y azúcares reductores	71
XXI.	Número de templates en función del límite de color.	71
XXII.	Comportamiento y correlación en función de número de templates.	72
XXIII.	Cantidad de azúcar recuperado en cada escenario.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Abs	Absorbancia
Az BE	Azúcar blanco estándar
Az R	Azúcar refinado
AR	Azúcares reductores
cm	Centímetro
Q	Cuartil
d	Día
Wa	Flujo masico agua
Wp	Flujo masico sólidos pol
Ws	Flujo másico sólidos solubles
°Brix	Grados brix
°C	Grados centígrados
°Z	Grados pol
g	Gramo
h	Hora
HR	Humedad relativa
kg	Kilogramo
lb	Libra
LF	Licor filtrado
MC	Masa cocida
µm	Micrómetro
mg/kg	Partes por millón
pH	Potencial hidrogeno

Pza	Pureza
R	Recobrado %
SP	Sirope
t	Toneladas métricas
IU	Unidades ICUMSA

GLOSARIO

Afinación	Tratamiento a cristales de azúcar para remover la película de melaza adherida. Esto se logra mezclando el azúcar con agua o un jarabe concentrado.
Agua dulce	Aguas de lavado o agua que contienen una baja cantidad de azúcar.
Azúcar	Término para la sacarosa disacárido y productos de la industria azucarera, compuestos esencialmente por sacarosa.
Azúcares reductores	Producto de la reacción de inversión de la sacarosa, una mezcla de glucosa y fructuosa.
Brix	Medida de los sólidos disueltos productos azucarados o soluciones con sacarosa. Se miden en el refractómetro.
Cenizas	Residuo sólido considerado como una medida de los componentes inorgánicos. En el azúcar refinado se determina indirectamente midiendo la conductividad eléctrica del producto en solución.

Ciclo	Secuencia para producir templeas de masa cocida hasta lograr el máximo agotamiento de color en un tacho de refinería.
Cocción	Proceso de concentración, saturación y sobresaturación donde se alcanza la cristalización por nucleación de cristales de azúcar en un tacho.
Color	Índice de atenuación, determinado por absorción de luz bajo condiciones definidas. Generalmente se mide empleando el método ICUMSA en un espectrofotómetro a 420 nm y se expresa en Unidades ICUMSA UI.
Licor	Jarabe de azúcar, término generalmente empleado en refinerías de azúcar para indicar las soluciones de azúcar concentradas.
Licor clarificado	Licor procesado para separar la materia suspendida insoluble y algunas sustancias solubles en un clarificador, mediante flotación y coagulación con adición de floculante.
Licor virgen	Licor clarificado y filtrado que no se ha mezclado con otro producto.
Masa cocida	La mezcla de cristales de azúcar y sirope que se obtiene durante el proceso de evaporación y cristalización.

Nucleación	Generación y desarrollo de pequeños cristales que son capaces de crecer.
Polarización	Contenido la sacarosa aparente expresado como porcentaje de masa, medido a partir de la rotación óptica de luz polarizada al pasar por una solución azucarada. Se mide en un polarímetro y la lectura se reporta como Pol.
Pureza	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 tales como invertidos, cenizas y elementos colorantes.
Recirculación	Termino que se aplica para las mieles, licores que se retornan en un ciclo o esquema de cocimiento y centrifugación de masas cocidas.
Recobrado	Termino que se aplica al calculo que relaciona la cantidad de azúcar refinada obtenida de azúcar blanca estándar o crudo. También se conoce como o recuperación de azúcar.
Sirope	Termino generalmente usado para describir la miel o jarabe separado de la masa cocida en las centrifugas de la refinería. Se retorna para mezclarse con licor virgen y hacer una templa única.

Tacho	Cristalizador evaporativo al vacío utilizado en la industria azucarera para cristalizar azúcar a partir de masas cocidas, jarabe, licor o miel.
Templa	Masa cocida obtenida al finalizar el proceso de cocimiento y cristalización, la cual se descarga completamente del tacho.
Templa única	Templa obtenida de la mezcla de licor y sirope, se denomina "única" puesto que no hay mezcla con otros productos a diferencia del cocimiento de 4 templeas.
Turbidez	Sólidos suspendidos en una solución acuosa de un producto azucarado.
UFC	Unidades formadoras de colonia
Zafra	Periodo de cosecha, procesamiento y elaboración de azúcar en un ingenio azucarero.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es establecer mediante la evaluación, cual es la mejor practica para realizar una de mezcla de licor clarificado y sirope para la elaboración de azúcar refinado en la etapa cristalización y cocimiento de templa única en el proceso de refinación de azúcar en el Ingenio Lázaro Cárdenas.

Se plantean tres escenarios con diferentes proporciones de licor clarificado y sirope, con el objetivo de determinar cuál de los escenarios de tiene mejor desempeño calculando para el efecto la recuperación de azúcar mediante balance de masa.

Esta evaluación determinará la cantidad de ciclos de templa que son posibles de obtener por cada uno de los escenarios planteados. En la operación del proceso de elaboración de azúcar refinado, tener esta evaluación permitirá tomar mejores decisiones que tendrán un efecto en la productividad y calidad del producto final.

Las diferentes actividades serán desarrolladas en las instalaciones del Ingenio Lázaro Cárdenas, con apoyo del supervisor de elaboración de azúcar, coordinador de gestión de calidad, analistas de laboratorio y personal operativo involucrado en el proceso.

Al terminar este trabajo de evaluación, se entregará un informe de con los resultados y la recomendación para la proporción de mezcla más eficiente, así mismo cualquier hallazgo o situación que se pueda mejorar. Finalmente se concluirá si las hipótesis planteadas son aceptadas o no.

OBJETIVOS

General

Realizar la evaluación de tres escenarios de mezcla de licor clarificado y sirope para la elaboración de azúcar refino en la etapa de cristalización y cocimiento de templa única en el proceso de refinación de azúcar en el Ingenio Lázaro Cárdenas.

Específicos

1. Determinar cuál de los escenarios de mezcla planteados tiene mejor desempeño.
2. Evaluar la cantidad de ciclos de templa son posibles de obtener por cada uno de los escenarios planteados.
3. Evaluar la recuperación de azúcar en cada uno de los escenarios planteados.
4. Comprobar hipótesis por medio de la evaluación de los resultados obtenidos en los escenarios de mezcla.

HIPÓTESIS

Hipótesis científica

Es posible establecer una proporción de mezcla de licor y sirope, a partir de tres escenarios, que permita elaborar una templa única y aumentar los ciclos de templa en el proceso de refinación, a través de la evaluación de parámetros estadísticos que garanticen la eficiencia de recuperación de azúcar.

Hipótesis nula (H₀):

No es posible establecer una proporción mezcla licor y sirope que aumente la recuperación de azúcar mediante la evaluación de parámetros estadísticos.

Hipótesis de alternativa (H₁):

La evaluación permite que al menos uno de los escenarios propuestos a evaluar aumente los ciclos de templa y la eficiencia de recuperación de azúcar.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera es una actividad económica que impacta en las comunidades donde se desarrolla, creando fuentes de trabajo mediante la elaboración de productos alimenticios de consumo masivo, como el azúcar refinado.

El azúcar es un producto alimenticio que es utilizado como ingrediente en una gran variedad de industrias, y requieren cumplimiento de parámetros de calidad para la elaboración de sus productos.

Para cumplir con las expectativas de los clientes, en la elaboración de azúcar se deben tomar en consideración el control de las operaciones para satisfacer esta necesidad, de forma sostenible y económicamente viable.

Las decisiones que se tomen en el proceso deben ser enfocadas por alcanzar la productividad mediante la mayor recuperación de azúcar a partir de su materia prima.

Esta evaluación pretende establecer la proporción de mezcla más eficiente de licor clarificado y sirope, usados en la elaboración de templados durante el proceso de cristalización y cocción para establecer un esquema de trabajo operativo donde se alcance la mayor recuperación de azúcar con la mayor cantidad de ciclos factibles, para mantener dentro de límites de especificación el producto terminado, y mejorar el proceso técnico para el procesamiento.

Como resultado adicional disminuir las pérdidas por recirculación para evitar el reprocesamiento y tiempo perdido. Esto ayudará a evitar costos adicionales y

que el productor sea competitivo económicamente, ante la situación cambiante de los precios de azúcar, en un entorno global cambiante y demandante.

1. ANTECEDENTES

El Ingenio Lázaro Cárdenas está ubicado en las afueras del poblado de Taretan en el Estado de Michoacán, México y su principal actividad es la producción de azúcar estándar y refinada. Fue fundado en el año de 1580. A partir de febrero de 2004, es parte de la organización GAM. El Ingenio, es el polo principal del desarrollo económico de la región y de su actividad económica, se benefician directamente 1 934 productores de caña, generando empleos 300 empleados directos y 5 000 empleos indirectos. Tiene una capacidad instalada de molienda de 3 000 t de caña y 280 000 t caña por zafra. Puede producir hasta 40 000 t de azúcar, generalmente 75 % azúcar refinado y 25 % azúcar blanco estándar. El rendimiento de la fábrica en promedio en las últimas zafras es de 85,86 %, con rendimiento industrial de 11,6 % (116 kg de azúcar/ t caña). Es un ingenio eficiente con una operación estable y pocas variaciones, menos 3 % de tiempo perdido total y 1,5 % de tiempo perdido por fábrica.

Debido a la antigüedad que tiene este ingenio, cercanía con la población, limitaciones de espacio y superficie de cultivo de caña no ha crecido en capacidad de molienda; para mantener su competitividad debe producir azúcar de alta calidad a través de la refinación de azúcar con clientes que requieren altos estándares de calidad, siendo esta su ventaja competitiva y económica para su sostenibilidad.

1.1. Justificación

Debido al diseño de la fábrica de azúcar, solo puede producir un tipo de azúcar a la vez, azúcar blanca estándar o azúcar refinado. La materia prima para

la refinación es azúcar húmedo disuelto, resultado del proceso para realizar azúcar blanco estándar, este es disuelto, clarificado, filtrado y decolorado. La refinería cuenta dos tachos de 1 800 p3 cada uno, para la cristalización. Lo que hace diferente este proceso a otras refinerías es que se usan filtrados de lecho profundo y decolorante para obtener el licor. En la separación de cristales por centrifugado se obtiene azúcar que es secado y envasado, y sirope (miel o jarabe). De la mezcla de licor virgen y el sirope sigue un ciclo de recristalización en los tachos, hasta agotar la pureza de los materiales y las condiciones de color.

Las ventajas que se pretende obtener de la evaluación de tres escenarios para la de mezcla de licor y sirope para una templa única son:

- Establecer la proporción de mezcla más eficiente
- Reducción de fallas de operación en los ciclos de cristalización
- Mantener dentro de límites de especificación el producto terminado
- Mejorar el proceso técnico para el procesamiento
- Aumentar la eficiencia de recuperación de azúcar
- Disminuir las pérdidas por recirculación
- Evitar el reprocesamiento y tiempo perdido
- Evitar costos adicionales

1.2. Determinación del problema

Los ciclos de cristalización pueden alterarse si las condiciones de operación se ven afectadas: acidez, condiciones del vapor (temperatura de cocimiento), tiempo de cocimiento, generalmente controladas y sin variaciones significativas (con variabilidad menor al 10 %), sin embargo, las proporciones de mezcla para producir las templeas debe ser establecida para lograr el color de azúcar dentro especificaciones. Las fallas en esta etapa del proceso ocasionan pérdidas,

recirculación de mieles de alto color, tiempo perdido y altos costos de operación, al bajar la eficiencia para recuperación del azúcar (recobrado).

El producto fuera de especificaciones puede ocasionar el rechazo por el cliente que exige límites de aceptación muy cerrados, o específicos en cuanto al color del azúcar. Las consecuencias de un rechazo del producto pueden tener repercusiones en los resultados económicos de la empresa tales como: el retiro del producto, reprocesamiento y operaciones de logística (transporte y almacén no deseadas), pérdida de imagen y confianza.

1.3. Definición

Se propone evaluar la eficiencia de recuperación de azúcar y número de ciclos de templa única en la etapa de cristalización y cocimiento, con mezcla de licor y sirope en el proceso de refinación de azúcar de acuerdo con los siguientes escenarios;

- Escenario 1: Mezcla 1:1, la templa tiene una proporción del 50 % de licor virgen y 50 % de sirope.
- Escenario 2: Mezcla 1:3, la templa tiene una proporción del 30 % de licor virgen y 70 % de sirope.
- Escenario 3: Mezcla 1:4, la templa tiene una proporción del 25 % de licor virgen y 75 % de sirope.

1.4. Delimitación

El alcance de la evaluación de tres escenarios de mezcla de licor y sirope de templa única, en la etapa de cristalización y cocción de templa única, bajo condiciones tiempo y temperatura de cocimiento, pH y temperatura de vapor,

con variabilidad menor al 10 %, en el proceso de refinación de azúcar del Ingenio Lázaro Cárdenas.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Situación global alimentaria

Desde finales de la década de los 50 se produce un aumento del comercio, industria, tecnología lo que ha mejorado la calidad de vida de la población. De igual manera la población mundial crece con una constante demanda de alimentos, lo que ha puesto a prueba el sistema alimentario global experimentará una confluencia de presiones sin precedentes en los próximos años. Por el lado de la demanda, la población mundial aumentará pasando de un estimado de los 7,700 millones en 2021 a los 9,700 millones en 2050, lo que aumentará la demanda de una dieta más variada y de alta calidad que exigirá producir recursos adicionales o bien utilizar de forma racional y eficiente los recursos actuales para que perduren en el tiempo.

La agroindustria azucarera ofrece alternativas de producción de alimentos y otros subproductos que generan energía calorífica, cinemática y química. El azúcar representa una fuente de energía bioquímica para el consumo humano, además de producir fibra para generación y cogeneración de energía, biocombustibles como el etanol, derivados del procesamiento de la melaza. Esta cadena de suministro alimentaria está incorporando innovaciones en todos sus procesos, cambiando su funcionamiento y sus resultados generando un aumento de la productividad. Sin embargo, una amplia gama de problemas ambientales, sociales y hábitos de consumo, que están relacionados con el procesamiento del azúcar, cultivos de caña de azúcar, y las empresas que usan el azúcar como ingrediente para una gran diversidad de productos de consumo masivo, están buscando formas de abordar estas preocupaciones de forma sostenible, ante un

mercado cada vez más exigente, con fluctuaciones de precio cada vez más frecuentes. Los eventos perturbadores como pandemias, cambio climático y catástrofes han generado una crisis de económica global, que obliga a este sector a ser eficiente, responsable y más productivo.

2.2. Mercado del azúcar

De acuerdo con los reportes de la organización internacional del azúcar (ISO), entre el 2001 y 2018, el consumo mundial de azúcar tuvo un crecimiento del 2,01 % pasando de 123,454 millones de toneladas a 172,441 millones de toneladas. La segunda mitad de la década actual ha experimentado una desaceleración considerable, atribuible a una disminución de ingresos per cápita, el precio del azúcar y edulcorantes alternativos, y debate sobre problemas de salud. Lo cual generó un crecimiento del consumo mundial de azúcar a menos del 0,84 % anual (promedio para 2016-2018), mientras que para 2018 no hubo un crecimiento.

En 2019, el volumen de azúcar comercializado internacionalmente disminuyó por segundo año consecutivo. Alcanzó los 57,74 millones de toneladas.

El panorama del mercado mundial de azúcar para el periodo 2020 – 2021, de acuerdo con las más recientes previsiones, medidas por el Convenio internacional del azúcar (CIA), estiman que el consumo mundial de azúcar se recuperará en un 2,9 %. Las perspectivas positivas se sustentan en la relajación progresiva de las medidas restrictivas durante desarrollo de la pandemia COVID-19 y la reanudación prevista del crecimiento económico en 2021. Los principales países que influyen un aumento mundial del consumo de azúcar son la India y China, los países de mayor consumo de azúcar en el mundo. Sigue

una considerable incertidumbre en el lado de la demanda a medida de cómo se desarrolle la pandemia COVID-19. El pronóstico del comercio mundial de azúcar en base a las estimaciones se fija en 61,2 millones de toneladas, ligeramente superior al volumen estimado para 2019-2020.

Figura 1. Información general sobre el pronóstico y mercado del azúcar

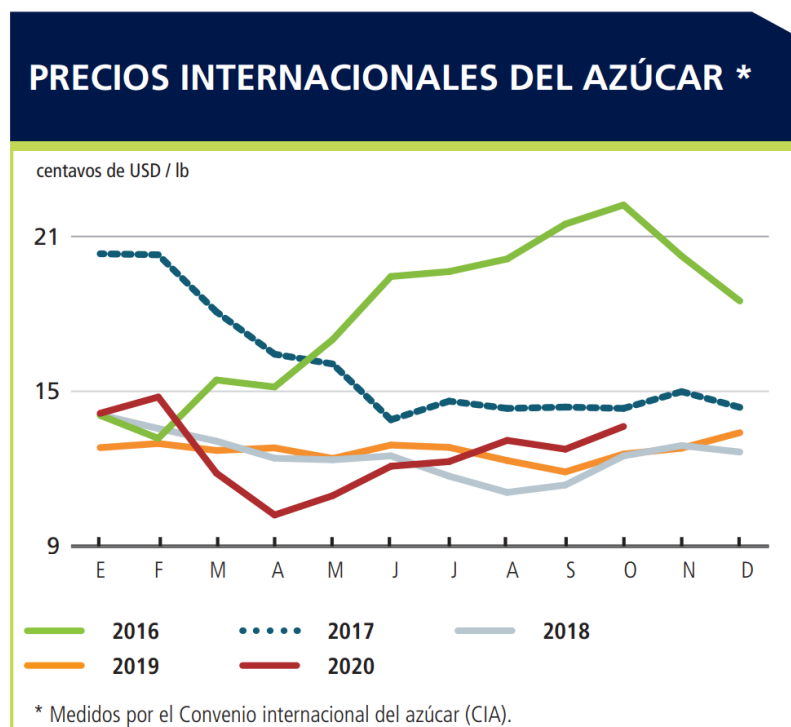
PANORAMA DEL MERCADO MUNDIAL DE AZÚCAR				
	2018/19	2019/20 <i>estim.</i>	2020/21 <i>pronóst.</i>	Variación: de 2020/21 a 2019/20
	<i>millones de toneladas</i>			<i>%</i>
BALANZA MUNDIAL				
Producción	175,0	169,8	172,4	1,54
Comercio *	58,0	60,5	61,2	1,18
Utilización total	169,3	168,8	173,6	2,87
Existencias finales	92,4	91,5	89,0	-2,73
INDICADORES DE LA OFERTA Y LA DEMANDA				
Consumo humano per cápita:				
Mundo (kg/año)	22,2	21,9	22,3	1,55
PBIDA (kg/año)	16,1	15,9	16,1	1,57
Relación existencias mundiales/utilización (%)	54,6	54,2	51,3	-5,44
ÍNDICE MEDIO DIARIO DEL CIA (centavos de USD/lb)	2018	2019	2020 <i>Enero-Oct</i>	Variación: de Enero-Oct. 2020 a Enero-Oct. 2019 %
	12,52	12,70	12,59	-0,30

Fuente: FAO. *Perspectivas alimentarias resúmenes de mercado*. <http://www.fao.org/home/es/>.

Consulta: noviembre de 2020.

El mercado mundial del azúcar se constituye en la práctica en dos mercados: el de azúcar crudo y el de azúcar refinado, y los precios de referencia internacional se toman de los mercados de Nueva York (para azúcar crudo, el Contrato N.º 11), y de Londres (para azúcar refinado el Contrato N.º 5), respectivamente.

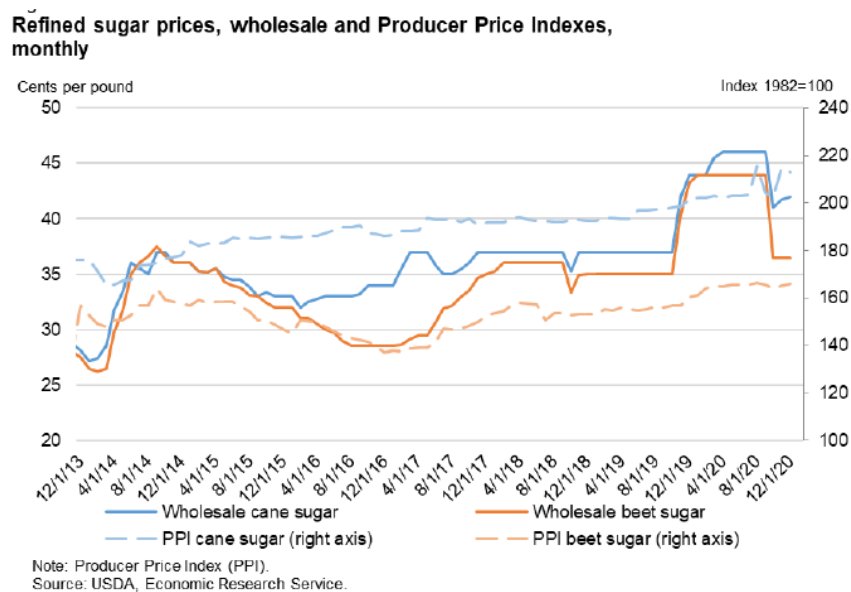
Figura 2. Información general sobre precios del azúcar



Fuente: FAO. *Perspectivas alimentarias resúmenes de mercado*. <http://www.fao.org/home/es/>.

Consulta: noviembre de 2020.

Figura 3. Tendencia de los precios del azúcar



Fuente: USDA. *Sugar and Sweeteners Outlook No. (SSS-M-390)*.

<https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=100533>. Consulta: noviembre de 2020.

El precio del azúcar refinado US\$ 0,45/lb representa una ventaja competitiva importante para quien produzca y comercie este tipo de azúcar versus azúcar crudo, con un precio aproximado de US\$ 0,13/lb máxima de 2019. El índice de precios del azúcar blanco ISO aumentó de USD343,30 / tonelada en 2018 a USD336,22 / tonelada en 2019.

De acuerdo con la Asociación de Azucareros de Guatemala azúcar de Guatemala, el azúcar representa el 6,2 % de las exportaciones del país, con ingresos en divisas por US\$695 millones. Sumado a las ventas de los derivados de la producción de azúcar, como la melaza (US\$56,3 millones), y el alcohol (US\$124,7 millones), la agroindustria azucarera generó US\$876 millones en divisas para Guatemala solo en 2019. Guatemala exporta el 70 % de su

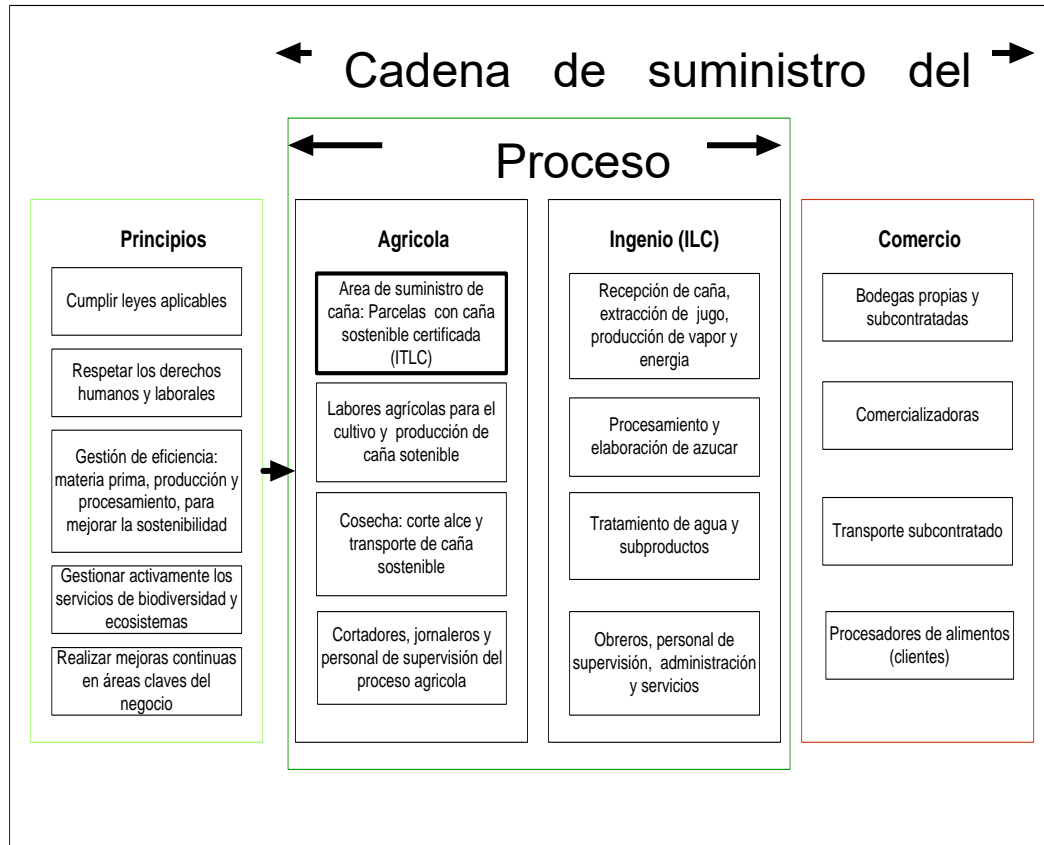
producción total de azúcar, el 30 % restante se fortifica con vitamina A y se queda en el país para abastecer el consumo local, por lo anterior la cadena de suministro del azúcar en Guatemala, tiene una relevancia en la economía en el país.

2.3. Cadena de suministro del azúcar

La cadena de suministro de azúcar está conformada por un conjunto de actividades, infraestructura, procesos, recursos naturales, personas y medios de distribución necesarios para llevar a cabo el proceso transformación y venta de los productos en su totalidad. Esto es, desde el cultivo, cosecha y transformación de caña de azúcar hasta la hasta la fabricación, transporte y entrega al consumidor final.

En otras palabras, la cadena de suministro es una función estratégica y logística que involucra todas las operaciones que son indispensables para que el azúcar crudo o refinado llegue al consumidor final en óptimas condiciones. En este caso, incluye las siguientes actividades:

Figura 4. Diagrama de la cadena de suministro del azúcar



Fuente: elaboración propia.

Para cubrir las expectativas del cliente, quienes participan en esta secuencia de actividades, deben asegurar que los recursos estén disponibles de forma sostenida: con rentabilidad y de forma responsable ambiental y socialmente. Esto implica cumplir con normas y estándares de calidad, inocuidad, salud y seguridad de los trabajadores, cuidado ambiental, conservación de la biodiversidad, aplicación de tecnologías para reducción del consumo eléctrico, uso eficiente del agua, energía y considerando el entorno, comunidades y el cumplimiento regulatorio.

2.4. Uso del azúcar

El uso del azúcar a lo largo de la historia ha ido cambiando. Hace unos siglos este producto se utilizaba únicamente con fines medicinales. Hoy en día, su uso en la industria como en el ámbito doméstico, se ha normalizado, convirtiendo el azúcar y sus derivados en elementos básicos de cualquier dieta equilibrada. Así, si actualmente el consumo medio de azúcar por persona y año es de 21 Kg. El azúcar consumido para uso doméstico es aproximadamente un 30 % En cuanto al uso industrial del azúcar, éste también ha aumentado considerablemente siendo aproximadamente un 70 % del consumo distribuido principalmente en:

Tabla I. **Usos comerciales del azúcar**

Uso	%
Bebidas refrescantes	16,35
Confitería	16,28
Derivados lácteos	9,34
Panadería y pastelería	7,94
Jarabes	7,44
Confituras y mermeladas	4,80
Conservador artesanal	3,49
Postres y alimentos infantiles	2,12
Helados y sorbetes	2,24
Suma	70,00

Fuente: elaboración propia.

El uso del azúcar principalmente es edulcorante, la característica de dulzor, es su principal característica, sin embargo, son sus propiedades organolépticas las que determinan su calidad y aceptación como ingrediente industrial, entre ellas un criterio que determina su clasificación, aceptación es el color.

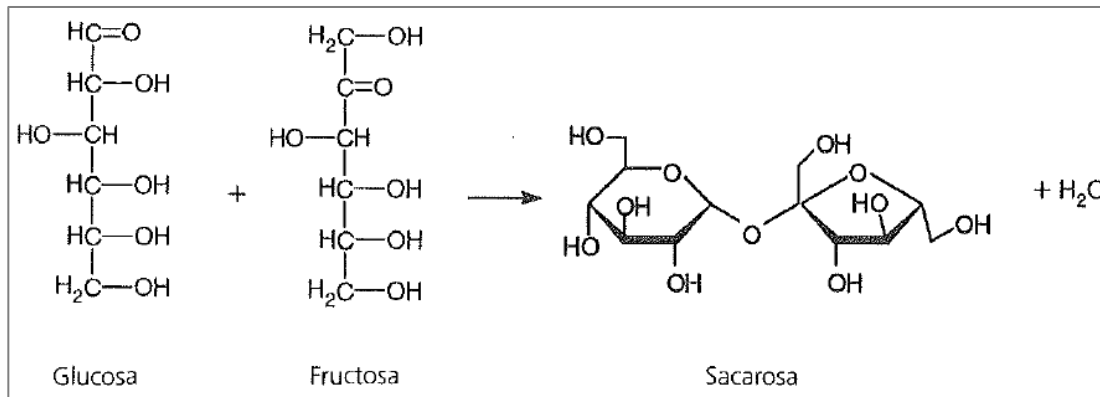
2.5. Descripción del proceso de elaboración de azúcar

En ILC, la configuración para elaborar azúcar refinado se hace a partir de azúcar estándar, el proceso es continuo por lo que no puede considerarse como una refinería independiente, por lo tanto, en operación el producto terminado será una de los dos tipos o calidades de azúcar. La descripción breve del proceso de elaboración que se presenta es para fines de una mejor comprensión. La descripción de la refinación de azúcar se hará con más detalle en el inciso 2,6.

2.6. Caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta herbácea perteneciente a la familia de las gramíneas, es un híbrido complejo de varias especies, principalmente del *Saccharum officinarum*, es una planta que se propaga sembrando trozos de tallos. El propósito de procesar la caña es recobrar azúcar, que en su estado puro se denomina sacarosa. La sacarosa se forma en la planta a través de la combinación de glucosa y fructuosa, producto del proceso de fotosíntesis.

Figura 5. **Reacción química y molécula de sacarosa, fructuosa y glucosa**



Fuente: RAIN, Peter. *Ingeniera de la caña de azúcar*. p. 45.

La reacción en sentido opuesto se denomina inversión, y se debe a la hidrólisis en condiciones de descomposición microbiana, la acción de ácidos o enzimas.

La caña de azúcar es principalmente jugo y fibra. El jugo es la solución acuosa de sacarosa y otras sustancias orgánicas. La fibra es el material insoluble por lo tanto incluye: bagazo, residuos de hojas y raíces de la planta, materia extraña: residuos adheridos a la caña cosechada durante el corte, alce y transporte para ser procesada.

El color del jugo depende en gran medida de la variedad de caña, y varía de una región a otra. El color es asociado a grandes cantidades de polifenoles que se encuentran en las hojas y cogollos, y una proporción alta de estos residuos puede influir en las condiciones del proceso para su remoción. Las cenizas, principalmente constituidas por material inorgánico: potasio, sílice, calcio, magnesio, sodio, cloruros, sulfatos y fosfatos, provienen de la relativa abundancia

en las variedades de caña y las condiciones de suelo donde se produce la caña de azúcar.

En ILC la composición de caña en la etapa de la recepción es:

Tabla II. **Composición de la caña en ILC**

Parámetro	Rango
Pol (°Z)	12 - 15
Sólidos solubles (°Brix)	14 - 16
Pureza (%)	85 - 89
Jugo (%)	69 -72
Fibra (%)	13 -15
Pol en caña (%)	11 -13

Fuente: elaboración propia.

2.6.1. Cosecha, transporte y almacenamiento de caña

La cosecha de caña en ILC se realiza manualmente debido a la topografía de la región, pendientes y rocas volcánicas. La caña cortada con tallos largos y arrumada en bultos, es transportada en camiones con capacidad de 20 a 25 t, generalmente en menos de 24 h y el tiempo perdido por condiciones lluvia o a factores del proceso agrícola no exceden del 5 %.

2.6.2. Recepción y conducción de caña

Los camiones cañeros son pesados y descargados por volteadores accionados por sistemas hidráulicos a los meses de recepción de caña o por la

grúa puente, cuando se requiere almacenar en el patio área conocida como Batey, no se dispone de ningún tipo de lavado. La caña se conduce y nivela para su distribución uniforme hacia la

2.6.3. Preparación de caña

En esta del proceso se busca reducir el tamaño de los tallos de caña alimentada a fibra, para alimentar al molino de partículas de menor tamaño, para lograr el máximo de extracción, La reducción ele tamaño es conseguida generalmente con el uso ele picadoras o cuchillas rotativas y la desfibradora. La eficiencia y la capacidad de la planta dependen considerablemente de la preparación de la caña siendo su principal propósito romper tantas células portadoras de azúcar de la caña, como sea posible, para facilitar la extracción de azúcar y producir un material que tenga las características apropiadas para la molienda.

2.6.4. Extracción de jugo

En los molinos la caña es exprimida, y por maceración con agua se realiza la extracción de jugo de caña. Para el efecto la fibra preparada se conduce al centro de rodillos llamadas mazas, utilizando altas presiones entre pares de mazas o rodillos consecutivos. Estos están diseñados para extraer tanto jugo como sea posible de la fibra insoluble. En ILC se cuenta con tándem de cinco molinos cada uno con 3 masas, con motores hidráulicos. Para lograr la máxima extracción de sacarosa se agrega agua caliente a 65 °C, a razón de 25 % o más, base caña. El propósito de este proceso es separar el jugo que contiene sacarosa del resto de la caña, sin embargo, también se extrae otros monosacáridos como glucosa y fructuosa, sales inorgánicas y otros compuestos denominados no Pol, cenizas y otros polisacáridos como dextrana o almidón, que producen en caso

ocurra un deterioro de la caña o el jugo por acción microbiana o inversión por acidez, durante su transporte hasta esta etapa.

El residuo de la caña después de que se ha extraído el jugo es el bagazo húmedo (50-52 %), es conducido mediante transportadores y alimentadores a las calderas para ser quemado como combustible.

2.6.5. Generación de vapor

Las calderas acuotubulares producen el vapor que es utilizado en toda la fábrica, aprovechándolo la energía cinética del vapor de alta presión para el movimiento de turbinas y turbogeneradores, motores y bombas, o bien para el calentamiento, evaporación y cocimiento en la cristalización.

El vapor de proceso se refiere a todo vapor utilizado en evaporación, en tachos y en calentamiento de jugo. En la mayoría de los casos en ILC se tiene un consumo de vapor menor a 50 % por tonelada de caña. La fábrica es eficiente en el consumo de vapor y la generación eléctrica se usa para todos los equipos de la planta; se mantiene un excedente de bagazo para apoyar las actividades de la refinería, cuando la demanda de vapor aumenta.

2.6.6. Clarificación y decantación de jugo

El jugo obtenido en la etapa de extracción se pasa por la torre de sulfitación donde el dióxido de azufre sublimado, producto de la quema en un horno, entra en contra corriente para mezclarse con el jugo. El tratamiento se realiza en frío, el jugo tiene un pH ácido en esta etapa, por lo que éste se trata con lechada de cal, con el propósito de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa, el jugo en esta etapa se llama jugo alcalizado. La cal también ayuda a precipitar impurezas

orgánicas o inorgánicas y aumenta el poder coagulante necesario para la decantación en los clarificadores. Mediante el paso del jugo por calentadores de concha y tubo, se eleva la temperatura del jugo alcalizado, y la clarificación del jugo se completa por sedimentación y coagulación con floculantes.

Los sólidos y materia extraña se precipitan en forma de lodo llamado cachaza y el jugo claro queda en la parte superior del clarificador. El propósito de la clarificación es formar flóculos que atrapan toda la materia suspendida, disminuyendo la turbidez, la sedimentación a una velocidad que no provoque turbulencia. En la clarificación se mantienen las condiciones de temperatura, pH y concentración de iones que maximizan la precipitación de impurezas sólidas del jugo; además producir jugo clarificado se busca disminuir el color.

El jugo claro se envía a los evaporadores y la cachaza sedimentada que todavía contiene jugo se filtra con filtros rotativos, adicionando bagacillo para su mejor aprovechamiento.

2.6.7. Evaporación

La evaporación es la operación unitaria donde se concentra el jugo pasando de 10-15 °Brix a 60-65 °Brix, la configuración de estación de evaporación está condicionada al balance de vapor ya que esta etapa es la que más lo consume. En ILC el arreglo puede ser de 4 o 5 efectos dependiendo de las condiciones de limpieza de los vasos, El mejor desempeño de un tren de evaporadores, se obtiene cuando es operado en la forma más estable posible. Esto generalmente se logra a través del uso de controles automáticos. El vapor de escape generalmente se suministra a una presión estable.

2.6.8. Clarificación de meladura

El producto de la evaporación es la meladura tiene viscosidad y una densidad muy elevada, es difícil sedimentar los finos sólidos suspendidos, y se hace una clarificación por flotación. Se agregan floculantes y se inyectan pequeñas burbujas de aire, la acción combina permite la remoción mediante la separación de una capa de espuma que se forma.

2.6.9. Cristalización y cocción de masas

La cristalización se realiza en los tachos, que son evaporadores de simple efecto con rotación y al vacío. Se alimenta de meladura, se vapora hasta llegar al punto de saturación, se agregan pequeñas cantidades de semilla (cristales finamente molidos), para la formación de los cristales. El sistema de temple requiere la separación o cortes de masa para mezclarse con mieles hasta su agotamiento. En ILC Se utiliza un esquema de Tres masas cocidas sin recirculación de miel, cuando la pureza de la meladura sea igual o superior a 80,0 %. Se producen dos masas, la "A" y la "B", que pueden ser envasadas si cumple con la especificación requerida, y una tercera de agotamiento "C", que se hace con el propósito de lograr la mayor concentración de sacarosa mediante el retorno de mieles y productos azucarados intermedios.

2.6.10. Centrifugación

La masa pasa de los tachos a tanques porta temple con movimiento y enfriamiento hacia las centrífugas. Las centrífugas son máquinas giratorias en las cuales los cristales se separan del licor madre por medio de una fuerza centrífuga aplicada a tambores rotatorios que contienen mallas interiores.

Este es el primer paso para la refinación ya que en esta etapa se busca eliminar la película de mieles que se adhiere a la superficie de los cristales del azúcar que se alimentara a la refinería. La separación implica lavar con agua caliente durante periodos cortos durante la centrifugación.

La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a evaporaciones superiores y cristalizaciones en los tachos. Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas, se obtiene una miel final que se retira del proceso y que normalmente se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes conocida como melaza, de la cual ya no económicamente factible seguir extrayendo más sacarosa.

El azúcar que sale de las centrifugas, se encuentra húmedo y para poder refinarlo se requiere fundir o diluir. En ILC las características del azúcar como materia prima para la refinación son:

Tabla III. **Composición azúcar húmeda para refinar en ILC**

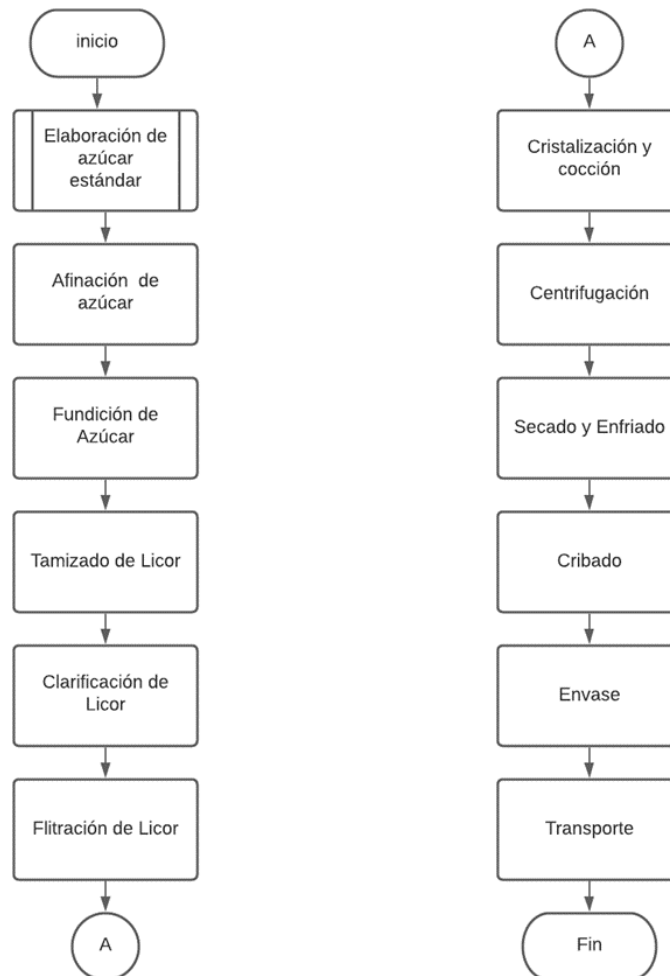
Parámetro	Rango
Color (UI)	150 - 250
Pol (°Z)	99,40 - 99,60
Cenizas (%)	0,20 - 0,25
Humedad (%)	0,40 - 0,50
Tamaño de grano (mm)	0,540- 0,750
Turbidez (UI)	150 - 200

Fuente: elaboración propia.

2.7. Descripción del proceso de elaboración de azúcar refinado

Se presenta diagrama de flujo que muestra la secuencia de etapas del proceso de elaboración de azúcar refinado.

Figura 6. Diagrama de flujo proceso de elaboración de azúcar refinado



Fuente: elaboración propia.

2.7.1. Afinación de azúcar

Esta etapa también es conocida como pre-fundición de azúcar, ya que se inicia el proceso de disolución de azúcar. La materia prima para la refinería es azúcar estándar húmeda con color entre 150 y 250 UI, cada centrifuga del proceso de elaboración de azúcar estándar descarga por *batch* hacia un conductor helicoidal, en donde se agrega agua caliente, recuperada de la condensación de vapor de otras operaciones unitarias, el propósito es facilitar el transporte y disolución de los cristales. La operación es continua y el producto se descarga al tanque de fundición para homogenizar la mezcla y preparar el licor; en esta etapa tiene entre 90 y 93 ° Brix, aproximadamente 65 ° C y pH entre 6,2-6,6.

2.7.2. Fundición de azúcar

En el tanque de fundición, la disolución se completa, se inicia con el calentamiento en intercambiadores de calor de placas, manteniendo una temperatura de 75 ° C, con agitación mecánica, agua caliente entre 75 y 80 ° C, con recirculación en el sistema se puede alcanzar una concentración de sólidos solubles entre 65 y 70 ° Brix. Se cuenta con un filtro de canasta que elimina grumos y partículas gruesas. Para controlar la concentración y la temperatura, se cuenta con medición en línea de sólidos solubles (° Brix), enlazado mediante el sistema de automatización, el cual indica mediante una señal, que el producto se puede pasar a la siguiente etapa cuando tiene la concentración parametrizada. El producto de disolución en esta etapa se denomina licor fundido. El "licor virgen" identifica la mezcla de azúcar y agua, sin que se agregue azúcar refinado de reproceso. En esta etapa es importante como en las subsecuentes etapas es importante cuidar que no se produzca caída del pH, siendo este un indicador de

acidez y pérdida de sacarosa por inversión. Temperaturas superiores a los 85 °C también pueden causar pérdidas.

La Tabla IV describe los principales parámetros que caracterizan al licor fundido.

Tabla IV. **Licor fundido obtenido en ILC**

Parámetro	Rango
Color (UI)	150 - 250
Pol (°Z)	66,14 - 68,30
Sólidos solubles (°Brix)	66,60 - 68,71
Pureza (%)	99,30 - 99,45
Cenizas (%)	0,05 - 0-07
pH	6,6 - 6,8
Temperatura (°C)	73 - 77
Turbidez (UI)	20 - 40

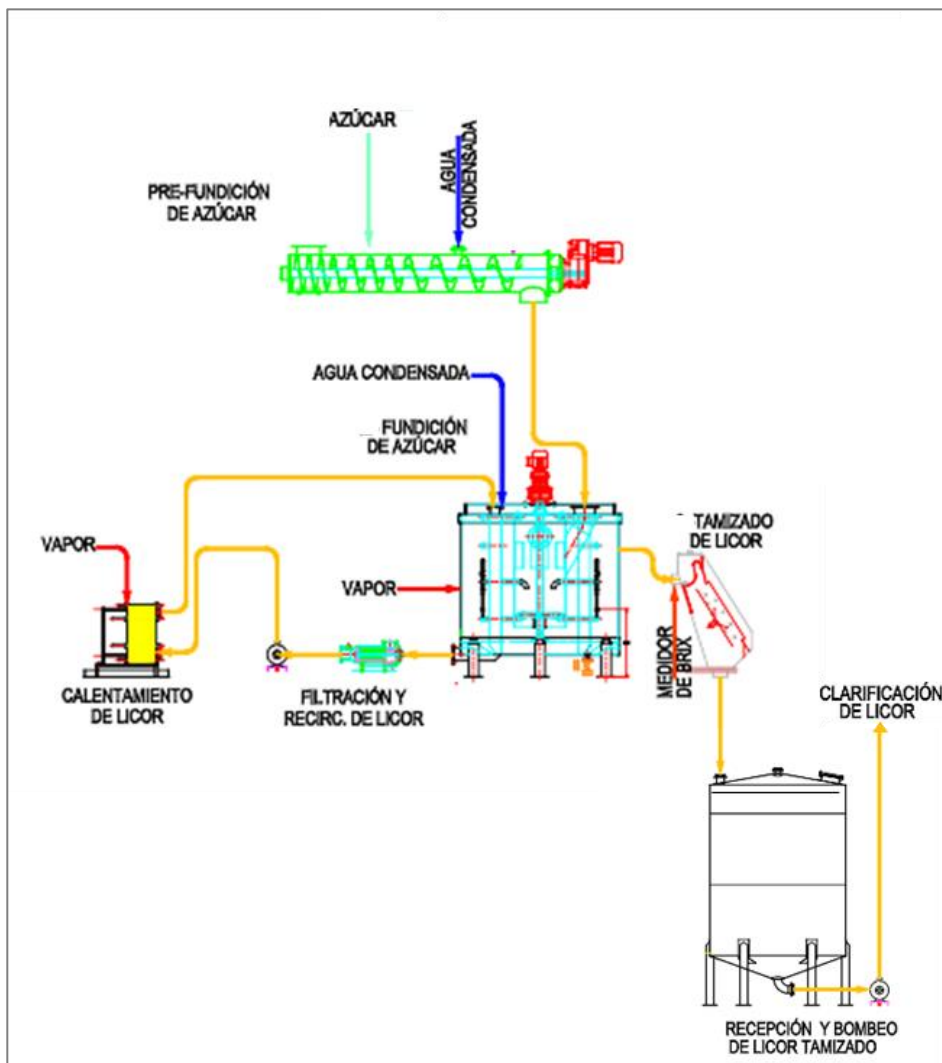
Fuente: elaboración propia.

2.7.3. Tamizado de licor

Para eliminar pequeñas partículas en suspensión de materia extraña, en su mayoría bagacillo, el licor se tamiza mediante el desplazamiento a través de la superficie de una criba o filtro DSM, provisto con malla de acero inoxidable 304 ranurado a 0,35 mm de apertura, eliminando aproximadamente entre 50 y 55 % de impurezas. El producto colado se pasa a los tanques de almacenamiento.

En la Figura 7, se muestra de forma ilustrativa los equipos y etapas para la obtener el licor tamizado.

Figura 7. **Preparación de licor: pre-fundición, fundición y tamizado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

2.7.4. Clarificación de licor

El licor fundido se pasa por un intercambiador de calor de placas para la rectificación de temperatura a 75 °C. En un tanque de mezcla, se agrega ácido fosfórico, sacarato de calcio y decolorante. El sacarato de calcio es una mezcla de licor con lechada de cal, y neutraliza el ácido fosfórico remanente. El ácido fosfórico aporta iones fosfato, que se unen con partículas precursoras de color en combinación con floculante. En un tanque separado, se prepara floculante a base de poliacrilamida de bajo peso molecular y se dosifica a 4 mg/kg al licor.

El licor se alimenta al clarificador rotativo tipo Talo-flot, el cual cuenta con movimiento a bajas revoluciones, esto permite que el floculante se mezcle y atrape las partículas precursoras de color formando coágulos o flóculos, que su vez, son arrastrados por el impulso de pequeñas burbujas que desplazan las partículas en suspensión hacia la superficie del clarificador en forma de espuma. Para producir el burbujeo se usan eyectores con aire comprimido. El clarificador rota lentamente para evitar la turbulencia y desplazar a un canal la espuma que contiene impurezas, eliminando color y turbidez. La espuma atrapada por los raspadores o paletas provistas en el clarificador, desplazándola a un canal donde posteriormente se mezcla con agua dulce y se retorna al proceso de elaboración de azúcar en la etapa de jugo alcalizado para su aprovechamiento y reproceso.

Tabla V. **Licor clarificado obtenido en ILC**

Parámetro	Rango
Color (UI)	140 - 240
Pol (°Z)	65,70 – 69,23
Solidos solubles (°Brix)	66,26 - 69,72
Pureza (%)	99,15 - 99,30
Cenizas (%)	0,04 - 0-06
pH	6,3 - 6,5
Temperatura (°C)	73 - 77
Turbidez (UI)	15 - 20

Fuente: elaboración propia.

2.7.5. Filtración

En ILC se cuenta con 2 filtros de lecho profundo, los cuales ayudan a separar pequeñas partículas en suspensión y disminuir la turbidez del licor clarificado. La operación de estos equipos es complementaria de la clarificación hay contribución en la disminución de color entre 10 -15 %. En la mayoría de las refinerías se usa el sistema de filtración con carbón y tierra de diatomeas, en ILC, debido a la materia prima y condiciones de operación se adaptó el sistema de filtración usado para tratar agua potable. El licor clarificado pasa a presión por una superficie filtrante que cuenta con camas de graba sílice de diferentes medidas, arena sílice y carbón de antracita. Generalmente un filtro se encuentra en operación y uno en limpieza cuando se detecta una caída de presión a través del filtro. Cuando un filtro se satura, se lava con agua de condensación, vapor y la recirculación o retro lavado se limpia. El agua dulce se recupera y se retorna al jugo alcalizado para su aprovechamiento. La capacidad de cada equipo es de

45 m³/h. Los ciclos de cada filtro pueden durar entre 6 y 8 h. El proceso es económico y fácil de operar. La operación es muy eficiente y como una característica de esta planta con materia prima de buena calidad, de bajo contenido de cenizas y con una buena clarificación de licor, no es necesario hacer más decoloración con resinas de intercambio iónico, aunque está contemplado en el futuro complementar con esta etapa.

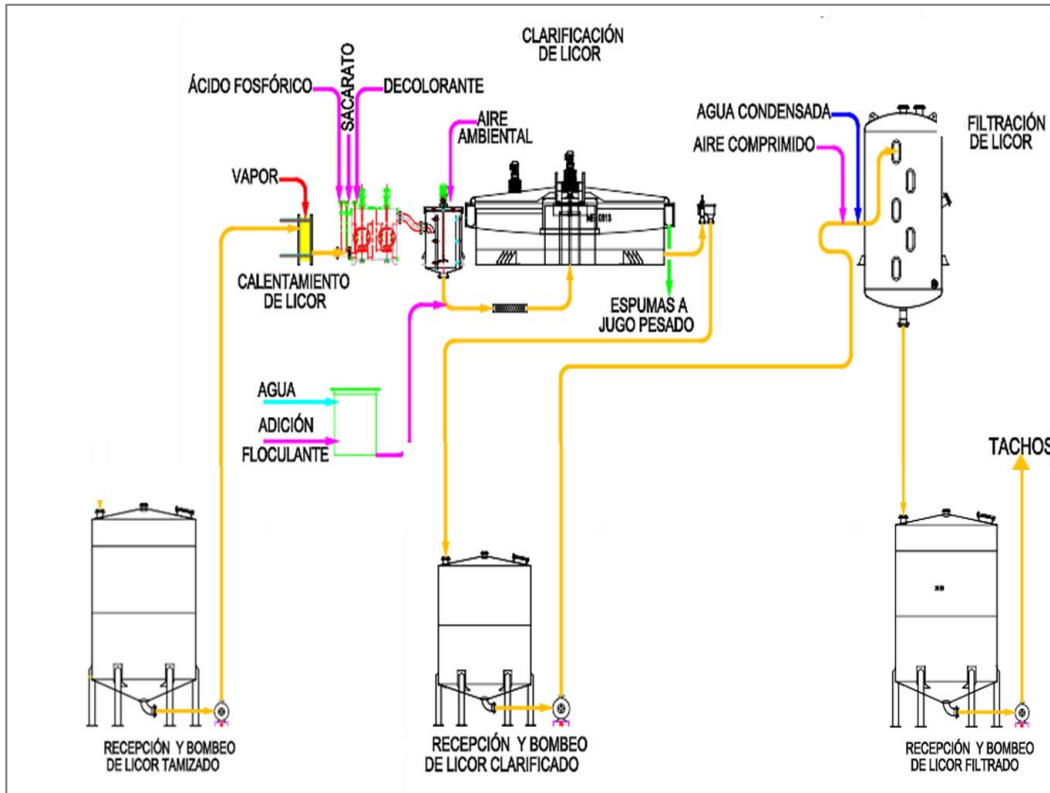
Tabla VI. **Licor filtrado obtenido en ILC**

Parámetro	Rango
Color (UI)	130 - 210
Pol (°Z)	65,11 - 69,23
Solidos solubles (°Brix)	65,70 - 69,75
Pureza (%)	99,10 - 99,25
Cenizas (%)	0,03 - 0-05
pH	5,3 - 5,8
Temperatura (°C)	73 - 77
Turbidez (UI)	10 - 15

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8, se muestran las etapas de clarificación y filtración, en la Figura 9, se muestran fotografías de graba sílice de tres tamaños de grano diferentes, éstas se encuentran empaquetadas en los filtros de lecho profundo y son retenidos por mallas. El carbón de antracita tiene la función absorber y pulir en licor filtrado y se contiene en un cartucho donde se retiene.

Figura 8. Clarificación y filtrado de licor



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 9. Graba sílice y carbón de antracita



Fuente: elaboración propia.

2.7.6. Cristalización y cocción

El licor se concentra en los tachos o evaporadores de simple efecto, dotados con agitación mecánica y al vacío. Los tachos de calandria son de acero inoxidable y están automatizados. El licor se calienta hasta alcanzar el punto de saturación (cocción), y la cristalización se logra con la adición de semilla (cristales finamente molidos). La cocción se hace en 2 horas aproximadamente, con condiciones de vapor estables en su mayoría, y las variaciones de temperatura durante esta etapa debido a la alimentación de vapor no varían y los cambios no son significativos. Se obtienen se templeas de refinado a 89 ° Brix con rendimiento de cristales entre 52 a 55 %.

A diferencia de la fábrica de azúcar crudo o blanco, y otras refinerías, en ILC el esquema de operación se hacen templeas únicas, es decir, no se mezclan con otros productos azucarados cristalizados para el agotamiento, como el sistema de mezcla de cuatro templeas. Las masas se descargan a un mezclador, se centrifugan y de la separación de cristales el azúcar húmedo se seca y se envasa. La miel resultante de los lavados con agua caliente se conoce como sirope o jarabe, el cual se retorna para la mezcla con licor fundido. La cocción de masas, continua hasta alcanzar un factor limitante: aumento de color, aumento del porcentaje de cenizas en el azúcar terminado, o ambos.

Para el control de estas condiciones, en el laboratorio se está midiendo el color, cenizas y turbidez, en azúcar y sirope, por cada templea descargada. Esta información es fundamental para tomar la decisión de continuar con más templeas o reiniciar el ciclo. El ciclo siempre se inicia con una templea de licor virgen sin mezcla con sirope. Un ciclo se cierra cuando la mezcla de licor y sirope no tienen las condiciones de color y cenizas para cumplir con las especificaciones del producto terminado solicitado por el cliente. Los ciclos o cantidad de templeas

influyen en la productividad y recuperación de azúcar en la refinería, y dependen de las proporciones de mezcla de licor y sirope.

La templa que es una mezcla de cristales coloreados en su superficie por una miel densa, la cual se descarga por gravedad a un tanque de recepción, para alimentar las centrifugas.

Tabla VII. **Masa cocida obtenida en ILC**

Parámetro	Rango
Color (UI)	500 - 900
Pol (°Z)	85,40 - 88,60
Solidos solubles (°Brix)	87,90 - 90,10
Pureza (%)	97,2 - 98,3
Color de azúcar (UI)	30 - 40

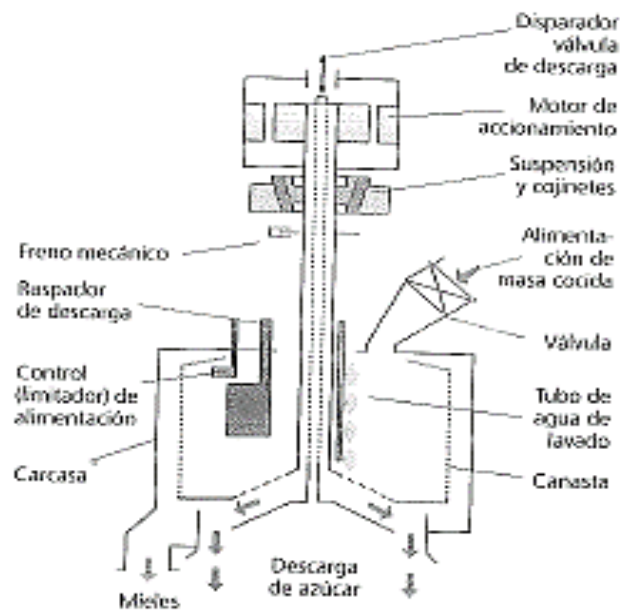
Fuente: elaboración propia.

2.7.7. Centrifugación

Luego de la cristalización, las templeas son acondicionadas, manteniendo la temperatura en un mezclador. Para separar los cristales de azúcar de la masa cocida, se requiere de la fuerza de centrifugación. Para el efecto se usan maquinas centrifugas discontinuas o *batch*, que giran a altas revoluciones para lograr la separación física del cristal. Cuando la maquina rota desplaza la masa a las paredes de la canasta. La canasta esta provista de mallas metálicas que retienen los granos y dejan pasar el líquido. Para facilitar el drenaje de las sustancias precursoras de color en forma líquida, se aplica agua de condensados en pequeñas cantidades, para que a manera de lavados se desplace la miel

llamada sirope. Mediante una separación en la máquina, se colecta el sirope en un tanque para ser enviado al sistema de alimentación de tachos y la azúcar húmeda se transporta al secador.

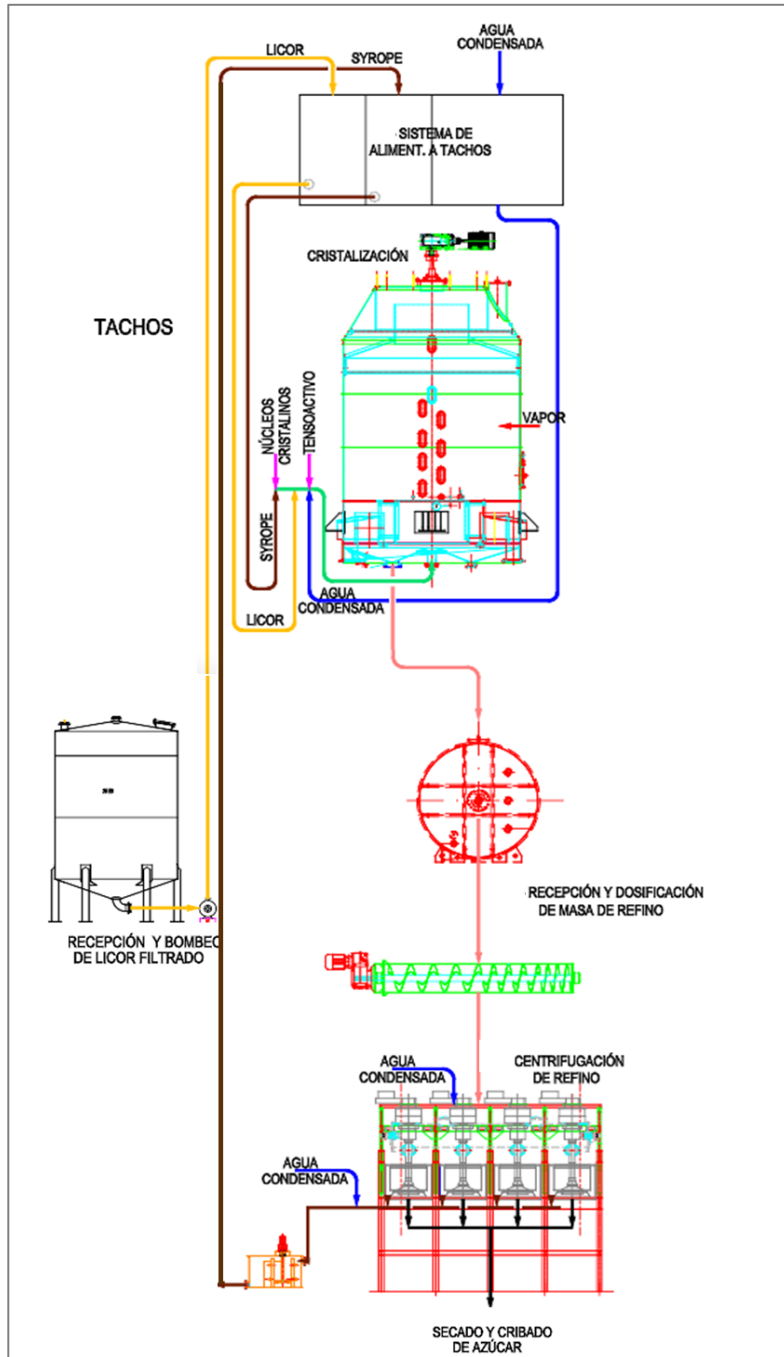
Figura 10. **Esquema de centrifuga discontinua**



Fuente: RAIN, Peter. *Ingeniera de la caña de azúcar*. p. 85.

A continuación, se muestra el diagrama esquemático de las etapas de cocción de masas y cristalización, se puede apreciar los flujos de licor filtrado en color amarillo hacia tachos, así como el sirope en color café. El sirope, obtenido después de la etapa de centrifugación. Este trabajo se centrará en comparar tres escenarios aplicando diferentes proporciones de mezcla de estos materiales.

Figura 11. **Cristalización, recepción de masas y centrifugación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Tabla VIII. **Sirope obtenido en ILC**

Parámetro	Rango
Color (UI)	500 - 2000
Pol (°Z)	62,64 – 70,53
Solidos solubles (°Brix)	69,70 – 75,60
Pureza (%)	89,9 – 93,3
Cenizas (%)	0,120 -0,400
Temperatura (°C)	74 - 78
Turbidez (UI)	70 - 90

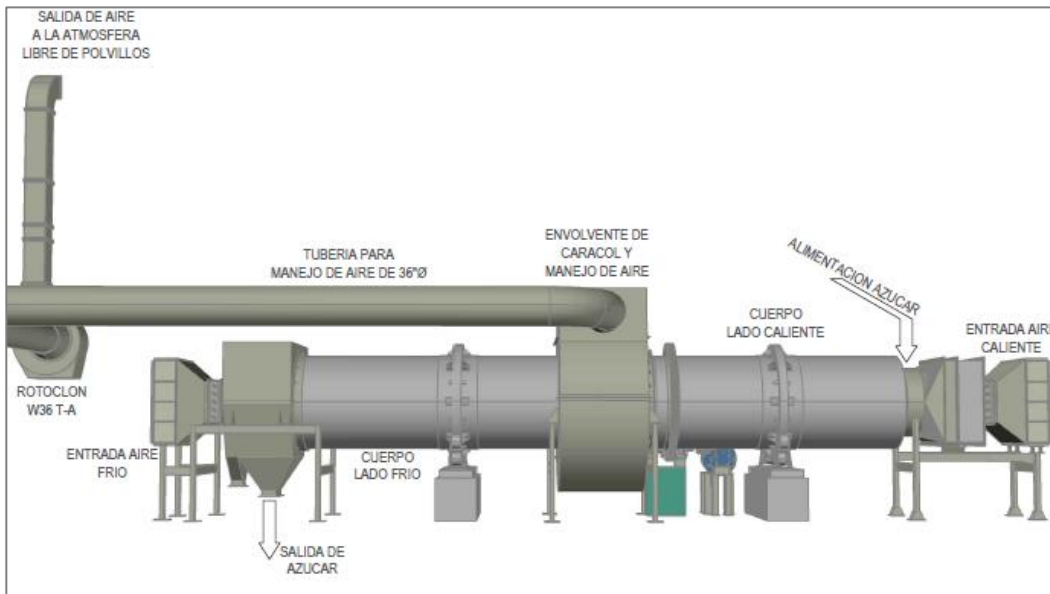
Fuente: elaboración propia.

2.7.8. Secado y enfriado

El azúcar húmedo aproximadamente con 0,50 %, se pasa a una velocidad uniforme por una secadora rotativa, donde en contracorriente se pone en contacto con un flujo de aire caliente al inicio y luego pasa a una sección de aire acondicionado más frío. El aire frío es suministrado por un *chiller*, un sistema que provee de aire seco controlado con humedad menor de 10 % HR, asistido por un sistema automatizado. El azúcar sigue un recorrido en espiral hasta extremo de la descarga del túnel; el azúcar se seca al entrar en contacto con aire y la mezcla durante su paso con suave movimiento con una retención de 22-25 minutos. La temperatura del azúcar se descarga a 36 -40 °C. Las condiciones climáticas de la zona son temperatura mínima 10 °C y máxima 28 °C, humedad relativa entre 10 – 20 %, dan una ventaja competitiva pues el producto no requiere de acondicionamiento y raras veces se presenta el endurecimiento o aterronamiento, la humedad final del azúcar menor de 0,04 %.

En la Figura 12, se muestra de manera esquemática el diseño de la etapa de secado y enfriado de azúcar refino.

Figura 12. **Arreglo general secado y enfriado de azúcar en ILC**



Fuente: Área de Planeación y Dibujo.

REFINERÍA-REV6-ARREGLO.dwg. Ingenio Lázaro Cárdenas.

2.7.9. **Cribado y separación de partículas metálicas**

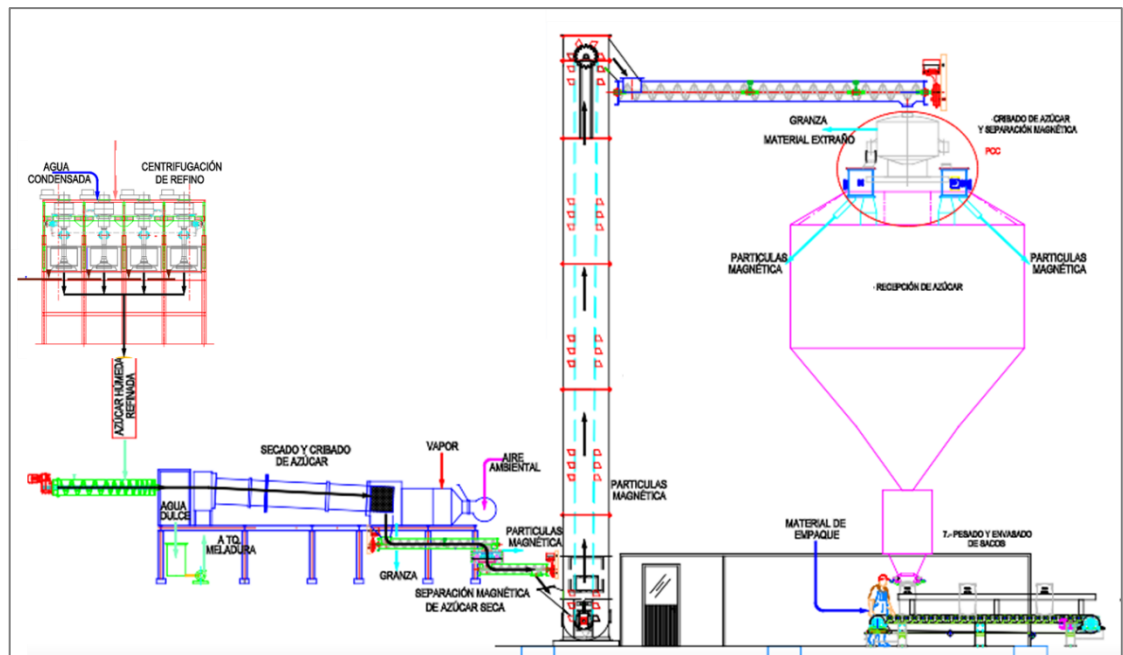
El azúcar seco se pasa por varias parillas de imanes que atraen partículas metálicas resultado del desprendimiento de escoria o corrosión de tuberías de provenientes de la materia prima, a la salida del secador, El cribado consiste en el paso del azúcar a través de una malla o zaranda que impide el paso de partículas mayores a 2,4 mm, grumos o terrones, por la acción vibratoria.

2.7.10. Envase y empaque

El producto terminado se almacena en silos, se pesa y envasa en sacos de polipropileno en presentaciones de 50 kg, 1 000 kg y 1 250 kg. El área de envase cuenta con infraestructura que cumple con los requisitos de inocuidad para el manejo de alimentos. Debido a las condiciones ambientales del área donde se encuentra el ingenio y de temperatura del producto, el azúcar refinado no requiere de acondicionamiento.

Se presenta un esquema del secado, cribado y envase de azúcar refinado en ILC.

Figura 13. Secado, cribado y envase de azúcar refinado



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.7.11. Transporte

En ILC no se cuenta con almacén de producto terminado, y el producto que se envasa debe cargarse a camiones, transportarse, y en algunas ocasiones distribuirse a los clientes. Antes de salir el producto se muestrea y se analiza, una vez que se han realizado las determinaciones analíticas y se demuestra la conformidad contra especificaciones, se libera. Debido a esta condición atípica para otros ingenios, durante la elaboración se debe ser muy cuidadoso y productivo para evitar rechazos del cliente.

2.8. Especificaciones del azúcar refinado

Los requisitos que el producto envasado debe cumplir para el despacho al cliente se presentan a continuación:

2.8.1. Descripción de azúcar refinado

Es el producto sólido conformado por cristales sueltos de sacarosa obtenidos a partir del tratamiento y concentración de jugo de caña, mediante los procedimientos industriales apropiados.

2.8.2. Propiedades organolépticas

Descripción de las particularidades naturales que posee el producto y que son captadas a través del sentido del gusto, como de la vista o el olfato.

Tabla IX. **Propiedades organolépticas del azúcar refinado**

Atributos	Identificación
Apariencia	Granular, cristales sueltos, libres de grumos.
Sabor	Dulce, característico a miel de caña, sin sabores extraños
Olor	Característico a miel de caña, sin olores extraños.
Color aparente	Blanco

Fuente: elaboración propia.

2.8.3. **Propiedades fisicoquímicas**

Estas son las características que se pueden medir y se informa del comportamiento del producto.

Tabla X. **Propiedades fisicoquímicas del azúcar refinado**

Características	Unidad Medida	Límites		Método
		Mínimo	Máximo	
Color	IU		45	ICUMSA-GS1/3-7
Humedad	%		0,04	ICUMSA-GS2/1/3-15
Cenizas	%		0,020	ICUMSA-GS1/3/4/7/8-13
Polarización	°Z	99,9		ICUMSA-GS1/2/3-1

Fuente: elaboración propia.

2.8.4. **Propiedades de inocuidad**

Las propiedades biológicas, químicas o físicas del producto, que pueden causar un efecto adverso a la salud del consumidor, si superan los límites.

Tabla XI. **Propiedades de inocuidad del azúcar refino**

Características	Unidad Medida	Límites		Método
		Mínimo	Máximo	
Microbiología				
Mesófilos aerobios	UFC/g		20	ICUMSA-GS 2/3-41, 43
Mohos	UFC/g		10	ICUMSA- GS 2/3-47
Levaduras	UFC/g		10	ICUMSA- GS 2/3-47
Alérgenos				
Dióxido de Azufre (sulfitos) (2)	mg/kg		5	ICUMSA-GS 2/1/7-33
Metales Pesados (3)				
Arsénico (As)	mg/kg		1,0	ICUMSA-GS 2/3-23
Cobre (Cu)	mg/kg		1,0	ICUMSA-GS 2/3-29
Plomo (Pb)	mg/kg		0,1	ICUMSA-GS 2/3-24
Residuos de Plaguicidas (3 4)				
Etoprofos	mg/kg		0,02	
Propiconazol	mg/kg		0,02	
Cihalotrin (incluye lambda-cihalotrin)	mg/kg		0,05	
2 4-D	mg/kg		0,05	
Aldicarb	mg/kg		0,1	
Carbofuran	mg/kg		0,1	
Cipermetrin	mg/kg		0,2	
Azinfos-metilo	mg/kg		0,2	
Clorantraniliprol	mg/kg		0,5	
Novaluron	mg/kg		0,5	
Tebufenozide	mg/kg		1,0	
Dicamba	mg/kg		1,0	
Glifosato	mg/kg		2,0	

NOTAS:

- (1) Es un residuo generalmente aceptado como seguro hasta 10 mg/kg.
- (2) Límites establecidos por el *Food Chemical Codex*, demostrar consistencia de cumplimiento con datos representativos e históricos, mínimo una vez por zafra, máximo dos anuales.
- (3) Límites máximos residuales de pesticidas tomados del *Codex Alimentarius* para caña de azúcar.

Fuente: elaboración propia.

2.8.5. Especificaciones de empaque

El material de empaque al momento de la recepción debe estar limpio, cerrado y con las condiciones de higiene y seguridad apropiada.

Los envases utilizados deben cumplir con los siguientes parámetros:

- Material de polipropileno 100 % aprobado para su uso en alimentos
- Para la manufactura del material de empaque, se usa materia prima virgen.

Presentación: Sacos de 50 kg y súper sacos hasta 1250 kg.

2.8.6. Información nutricional

A continuación, se proporciona la información del contenido de nutrientes del producto como alimento.

Tabla XII. **Información nutricional del azúcar refinado**

Composición aproximada	Cada porción de 100 g
	Máximo 0,04 %
Grasa total	0,0 %
Proteína	0,0 %
Fibra total	0,0 %
Cenizas	Máximo 0,01 %
Carbohidratos totales	99,7 %

Fuente: elaboración propia.

2.8.7. Forma de consumo y consumidores potenciales

Se emplea para endulzar alimentos de manera directa por el consumidor en general y como insumo para la fabricación de alimentos secundarios.

El producto es consumido por todo tipo de personas, incluyendo grupos inmune deprimidos, infantes, niños y personas de la tercera edad. Las personas que padecen diabetes tienen médicamente prohibido el consumo de edulcorantes naturales.

2.8.8. Recomendación para el almacenamiento

Después de envasado el producto se debe almacenar en lugares cerrados, frescos, con ventilación, secos, libres de polvo, higiénicos y que estén protegidos con un sistema de control de plagas. Vida de anaquel: máximo 2 años en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente, con humedad relativa controlada, en superficies secas, bajo condiciones de higiene y buenas prácticas de manufactura.

2.8.9. Forma de transporte

Los sacos se trasladan en contenedores cerrados previamente inspeccionados, evitando el contacto directo con el fondo de piso de la unidad, se recomienda usar lona o plástico transparente. Para su inspección el vehículo deberá estar exento de olores, astillas, sellado y ausencia de plagas. Cada unidad deberá se documenta con el número de sello en la caja.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la evaluación de tres escenarios de mezcla de licor clarificado y sirope para la elaboración de azúcar refinado en la etapa de cristalización y cocimiento de templa única, se utilizará la investigación cuantitativa.

3.1. Variables

Las variables que son susceptibles de ser medidas en esta evaluación son:

Tabla XIII. Variables

Variable	Independiente	Dependiente	Constante (variabilidad < 10 %)	No constante
Número de ciclos de templa		X		X
Color de licor		X		X
Color de Sirope		X		X
Color de azúcar		X		X
Eficiencia de recuperación de azúcar		X		X
Tiempo de cocimiento	X		X	
pH templa	X		X	
Presión de vapor	X		X	
Temperatura de vapor	X		X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

Este trabajo se desarrollará en la refinería del Ingenio Lázaro Cárdenas, los ensayos de laboratorio se realizarán en el laboratorio de análisis de fábrica en las mismas instalaciones, y el análisis de la información se tomará de las corridas establecidas de acuerdo con un plan de muestreo y operación rutinaria.

3.3. Recurso humano disponible

Para realizar este proyecto se tendrá disponibilidad de:

- Investigador: Mario René Hernández Lemus
- Asesor: Ing. Estuardo E. Monroy Benitez
- Coordinador de gestión de calidad: Ing. Luis Armando Angel Mendoza
- Analistas de laboratorio
- Auxiliares de laboratorio

3.4. Recurso material disponible

Para llevar a cabo la evaluación, se hace necesario el uso de diferentes equipos, material de muestreo, cristalería y reactivos, los cuales serán proporcionados en su totalidad por el Ingenio Lázaro Cárdenas.

3.4.1. Equipo de laboratorio

- Espectrofotómetro
- Refractómetro
- Medidor pH
- Bomba de vacío

- Balanza semi analítica +/-0,001 g
- Baño Ultrasónico
- Agitador magnético

3.4.2. Materiales y reactivos

- Membrana de nitrato de celulosa de 0,45 μm ,
- Agua destilada o desmineralizada filtrada.
- Papel absorbente
- Papel limpia lentes
- Parafilm
- Equipo de filtración
- Beaker de 250 mL
- Pizeta
- Tubo de ensayo
- Barras magnéticas
- Micropipeta plástica
- Kitasato
- Cápsula de pesaje
- Celda de 10 cm (100 mm) de paso de luz

3.4.3. Mediciones en planta

- Presión de vapor
- Temperatura de vapor
- Tiempo de cocimiento
- pH

3.5. Técnica cuantitativa

Las técnicas de medición sistemática que determinan las características de los productos usados en este trabajo se describen a continuación:

3.5.1. Determinación del ensayo de color en azúcar refinado

Es la técnica analítica espectrofotométrica que permite medir la pureza del azúcar en función del color. El principio de esta medición se basa en el paso de la luz en una solución acuosa de azúcar, a diferentes longitudes de onda, en un espectrofotómetro. El cálculo de las unidades ICUMSA permite dar una escala de la calidad del azúcar para su comercialización.

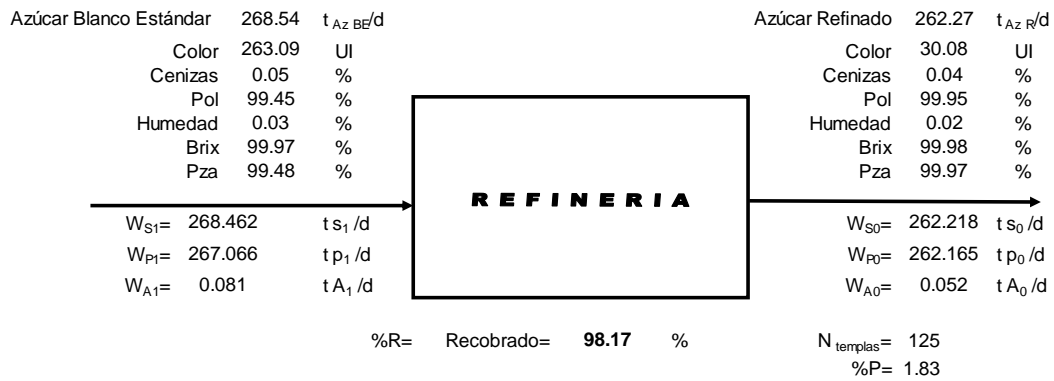
3.5.2. Determinación del ensayo de color en materiales de proceso de refinación

Para los productos del proceso de refinación se miden con la misma técnica analítica para determinar el color en azúcar refinado haciendo diluciones para establecer tendencias, pronósticos y comportamiento de los procesos de elaboración.

3.5.3. Cálculo de balance de materiales

La secuencia de cálculos que permite llevar la cuenta de los materiales que entran y salen del proceso de refinación del azúcar se muestra en la siguiente figura:

Figura 14. Balance de materiales del proceso de refinación de azúcar



Fuente: elaboración propia.

Donde:

Entrada= 1

Salida= 0

Az BE= Azúcar Blanco Estándar

Az R= Azúcar Refinado

$W_S =$ Solidos Solubles = $Az\ BE \times Brix / 100$

$W_P =$ Solidos Pol = $Az\ BE \times Pol / 100$

$W_A =$ Agua = $W_S - W_P$

$\%R =$ Recobrado = $(W_{P1} * 100) / W_{P0}$

$\%P =$ Pérdidas = $100 - \% R$

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

- Se realizará utilizando técnicas de investigación: observación, entrevista, recolección de datos, análisis estadístico y lo siguiente:

- Se observará al personal involucrado en la cadena del proceso de análisis para determinar si cumple con los procedimientos documentales y requisitos técnicos que el laboratorio para desarrollar la determinación de los ensayos.
- Se verificará que los equipos para determinar los ensayos de color cuenten con la calibración de acuerdo con el plan de metrología.
- Se verificará que los instrumentos, cristalería, reactivos, entre otros insumos necesarios para el desarrollo del método cumplan con los requisitos para poder desarrollar los ensayos.
- Se verificará los formatos, registros y procedimientos descritos por el laboratorio se cumplan con los requisitos de su sistema de gestión de calidad, donde se informará de los resultados parciales y finales de las rutinas analíticas.
- Se brindará apoyo al personal técnico y operativo dando capacitación e instrucciones al personal técnico para asegurar la comprensión en la toma de muestras, registros e información requerida.
- Se verificará los registros de toma de mediciones y variables de proceso que usaran para los cálculos de balance de materiales y de operación de acuerdo con lo establecido en corridas y rutinas de muestreo.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información se tomará de los registros de laboratorio, tablas de resumen de resultados analíticos:

Registros

Recuperación de azúcar

02-RA-FO-011 REPORTE DE TEMPERATURA DEL SECADOR

02-RA-FO-012 STOCK DE FÁBRICA

02-RA-FO-013 PRESION DE VAPOR EN EVAPORACION

02-RA-FO-014 VERIFICACION DE CAMBIAMIELES

02-RA-FO-015 CONDICIONES DE TEMPLAS DE REFINO

Laboratorio de fábrica

02-CC-FO-002 CRUDO

02-CC-FO-003 PRODUCTO

02-CC-FO-004 REFINERIA

3.8. Análisis estadístico

Las herramientas estadísticas por utilizar para el procesamiento e interpretación de datos son:

- Promedio estadístico
- Desviación estándar
- Linealidad y coeficiente de correlación
- Coeficiente de variación o desviación estándar relativa

3.8.1. Promedio estadístico

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

\bar{x} : valor promedio

x_i : valor i

n: número de datos

3.8.2. Desviación estándar

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i|}{n-1}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

S_x : desviación estándar de la variable x

\bar{x} : valor promedio

x_i : valor i

n: número de datos

3.8.3. Linealidad y coeficiente de correlación

$$y = b_1X + b_0 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Método de mínimos cuadrados

$$b_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$b_0 = \frac{\sum y - b_1 \sum x}{n} \quad (\text{Ecuación 5})$$

3.8.4. Porcentaje de recuperación o recobrado

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{\text{cantidad recuperada}}{\text{cantidad alimentada}} * 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

3.8.5. Coeficiente de variación o desviación estándar relativa

$$\% CV = \frac{S_x}{\bar{x}} * 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

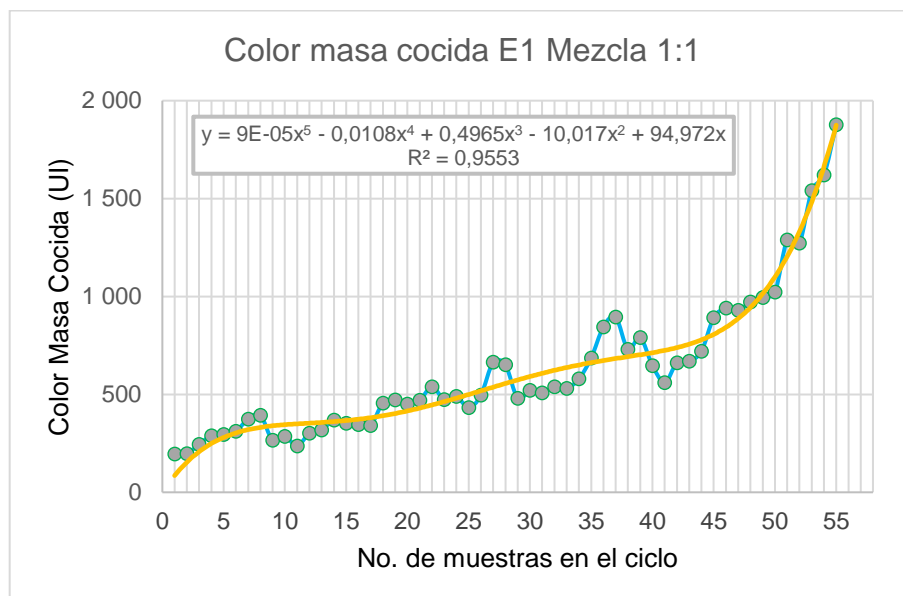
4. RESULTADOS

Se muestran los resultados de la evaluación por escenario, más adelante un comparativo con base a la información estadística agrupada y al final el balance de masa.

4.1. Escenario 1

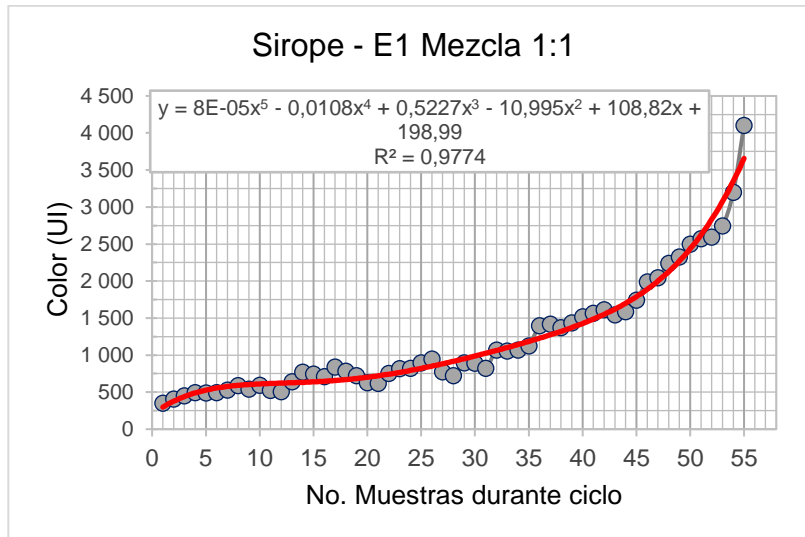
Para la elaboración de la templa se mezcló 50 % de licor virgen y 50 % de sirope. Los resultados durante el ciclo de 55 templeas se muestran a continuación:

Figura 15. **Comportamiento del color de masa cocida E1**



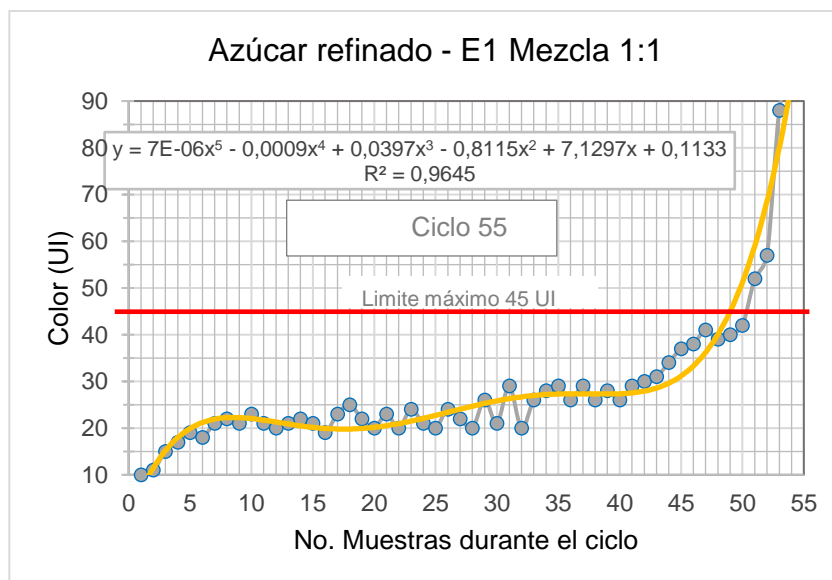
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Comportamiento del color de sirope E1**



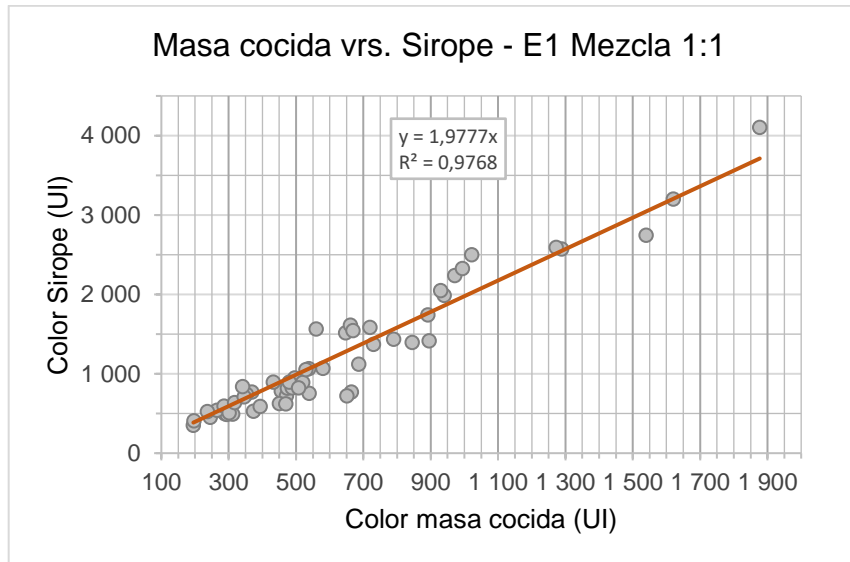
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Comportamiento del color de azúcar E1**



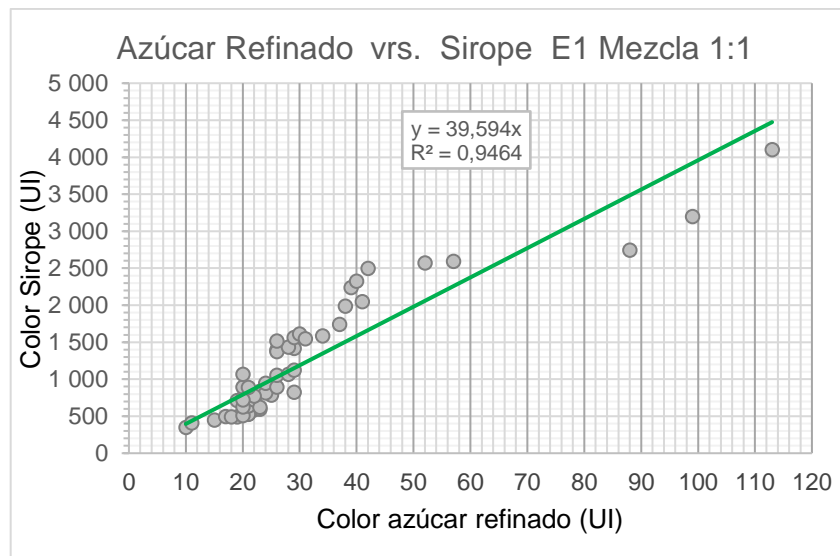
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Correlación entre masa cocida y sirope E1**



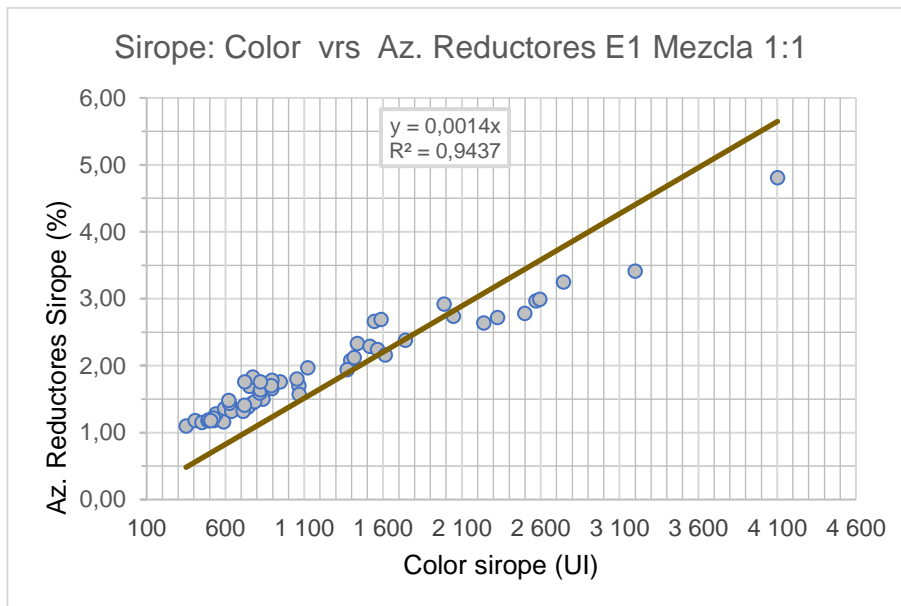
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Correlación entre azúcar refinado y sirope E1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Correlación entre color y azúcares reductores, sirope E1**

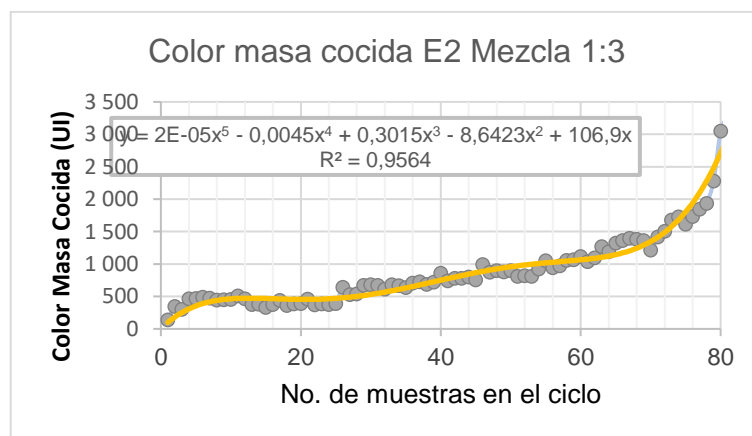


Fuente: elaboración propia.

4.2. Escenario 2

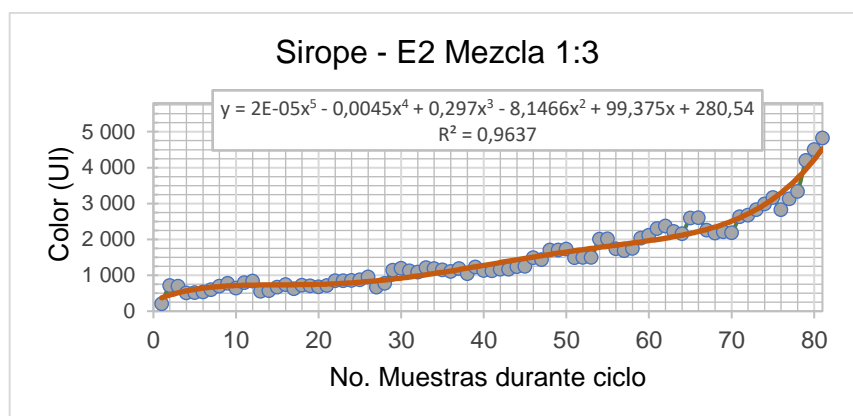
Para la elaboración de la templa se mezcló 70 % de licor virgen y 30 % de sirope. Los resultados durante el ciclo se muestran a continuación:

Figura 21. **Comportamiento del color de masa cocida E2**



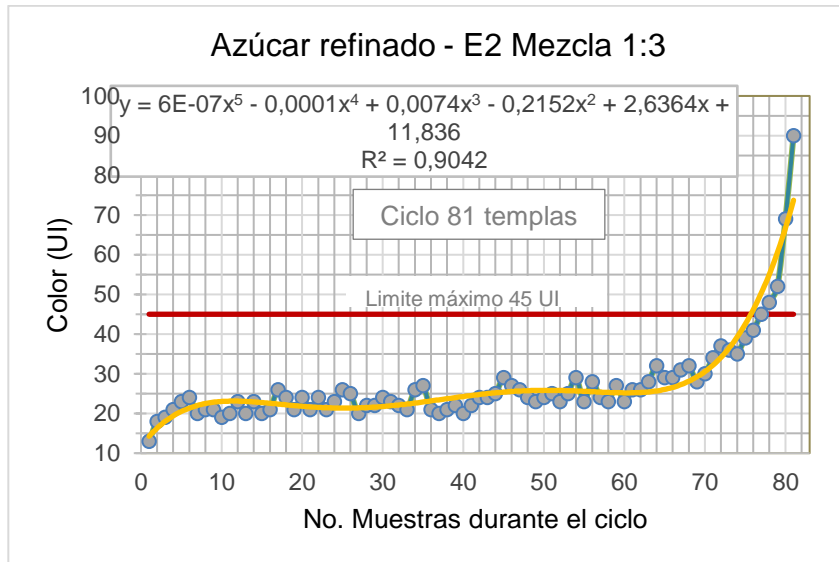
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Comportamiento del color de sirope E2**



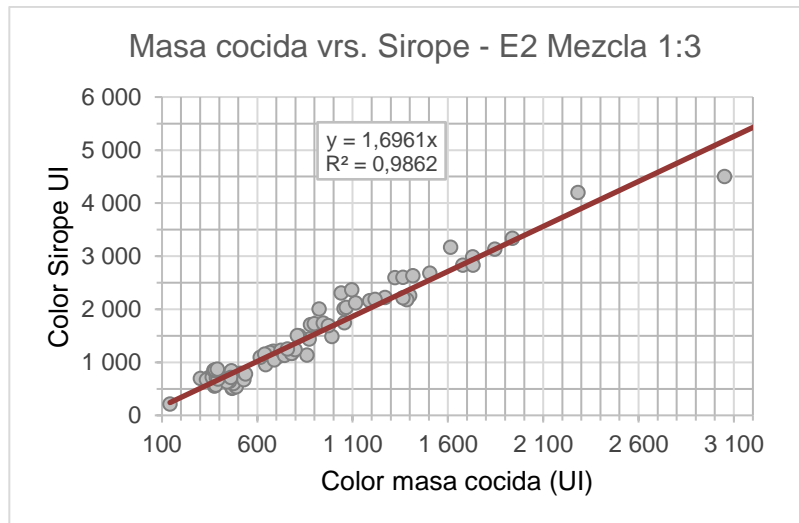
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Comportamiento del color de azúcar E2**



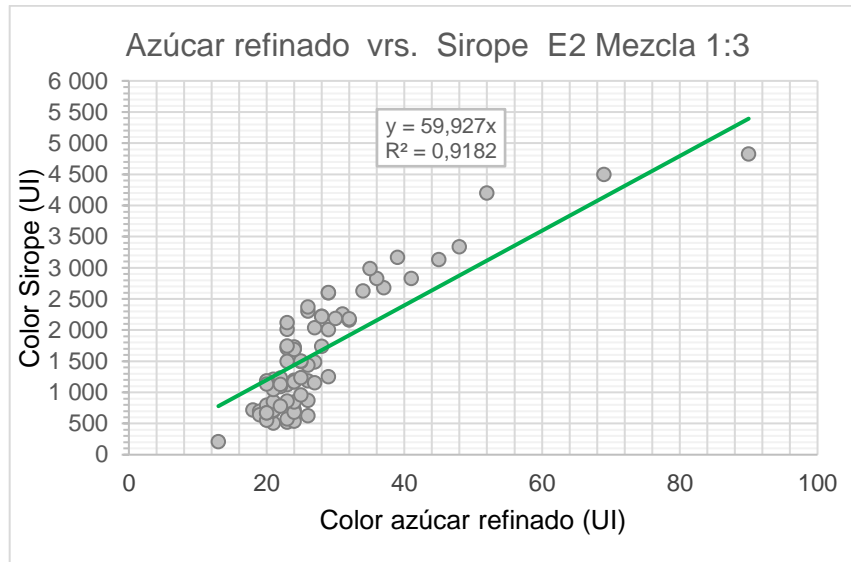
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Correlación entre masa cocida y sirope E2**



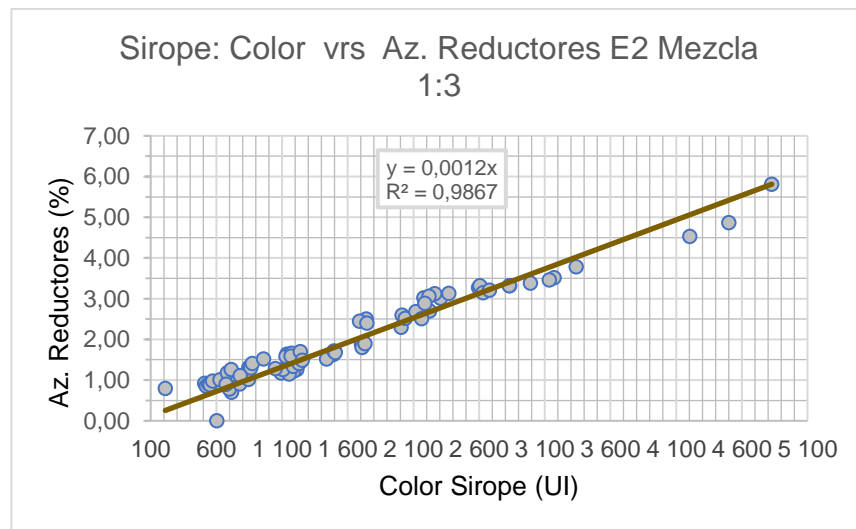
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Correlación entre azúcar refinado y sirope E2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Correlación entre color y azúcares reductores, Sirope E2**

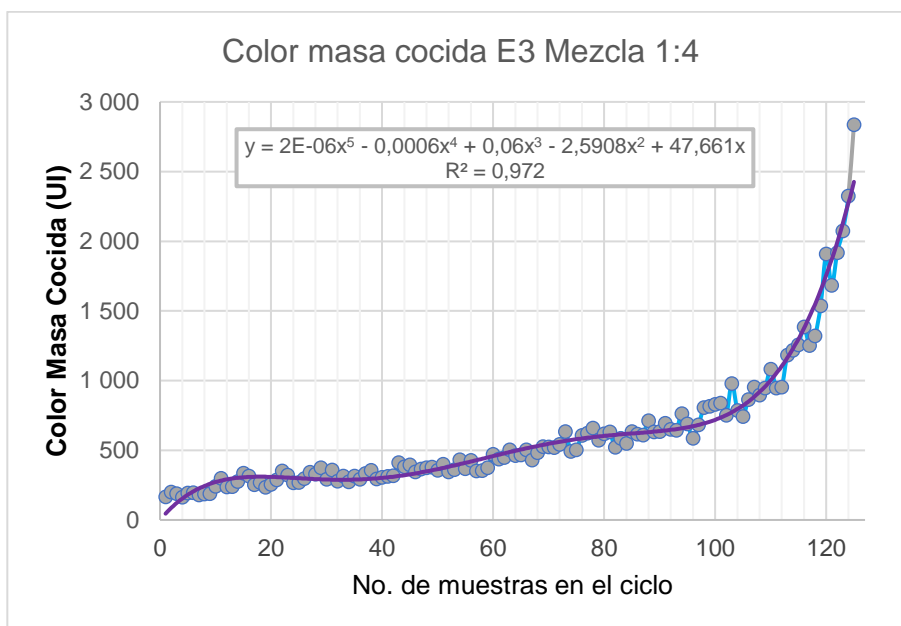


Fuente: elaboración propia.

4.3. Escenario 3

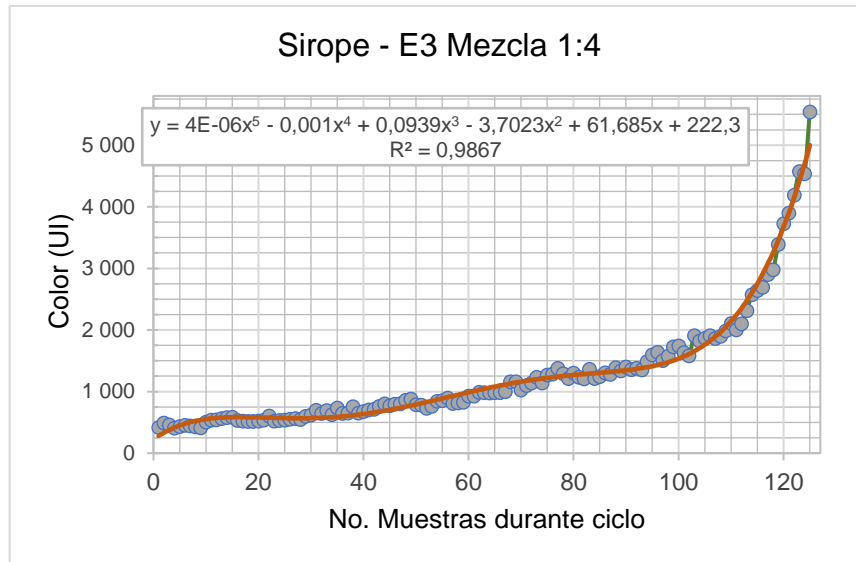
Para la elaboración de la templa se mezcló 75 % de licor virgen y 25 % de sirope. Los resultados durante el ciclo se muestran a continuación:

Figura 27. **Comportamiento del color de masa cocida E3**



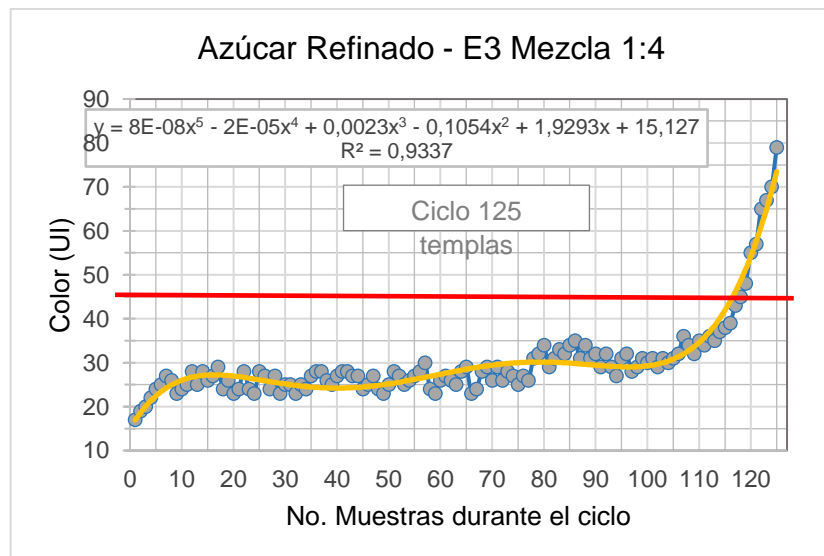
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Comportamiento del color de sirope E3**



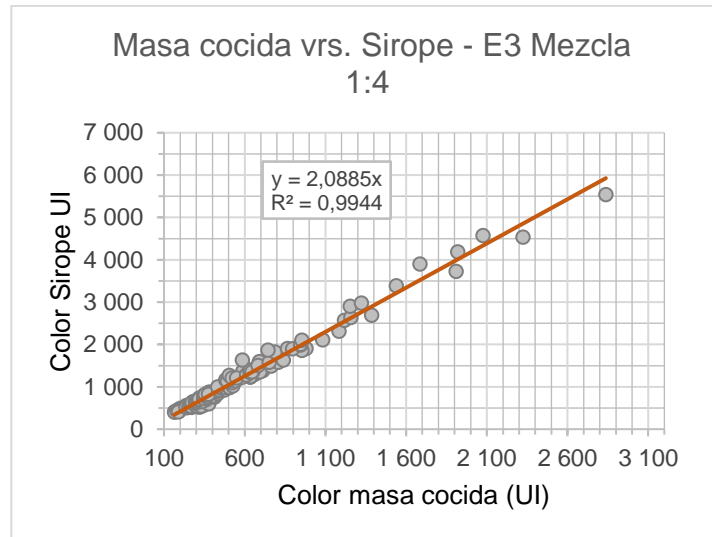
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Comportamiento del color de azúcar E3**



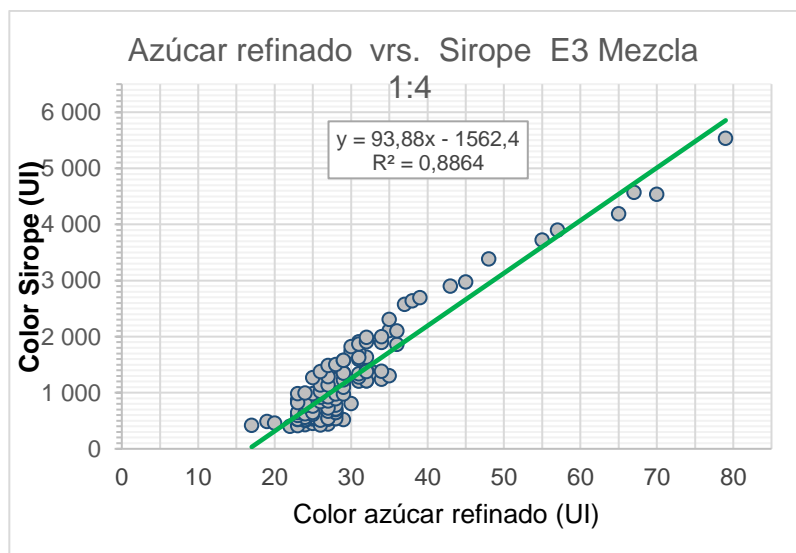
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Correlación entre masa cocida y sirope E3**



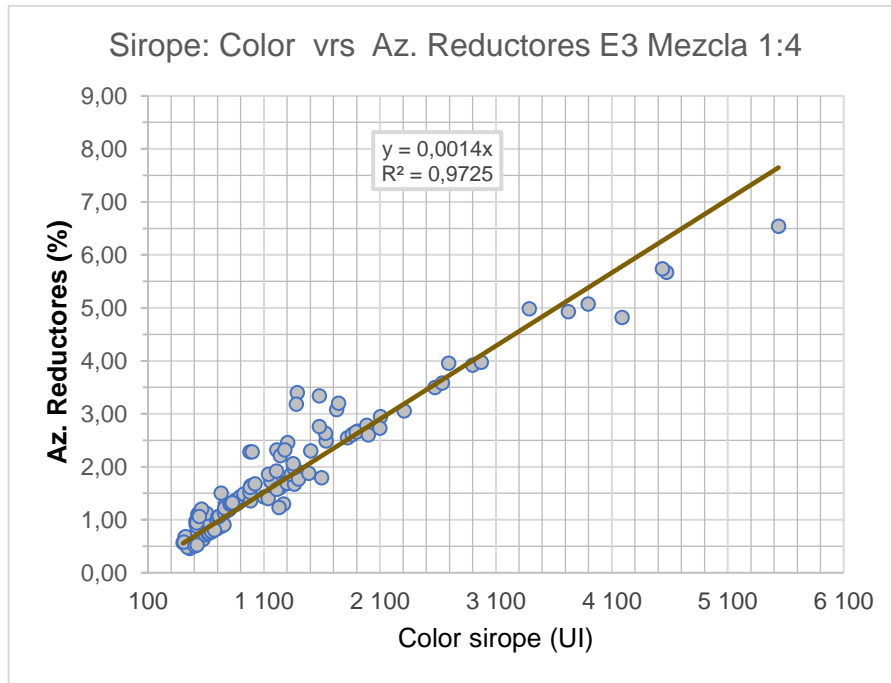
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Correlación entre azúcar refinado y sirope E3**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Correlación entre color y azúcares reductores, sirope E3**

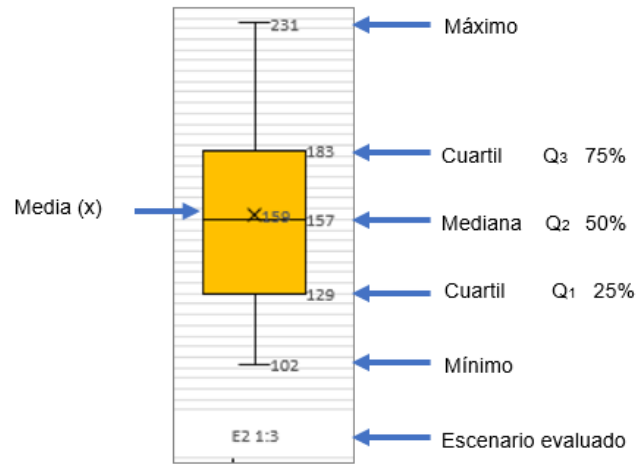


Fuente: elaboración propia.

4.4. **Comparativo de escenarios**

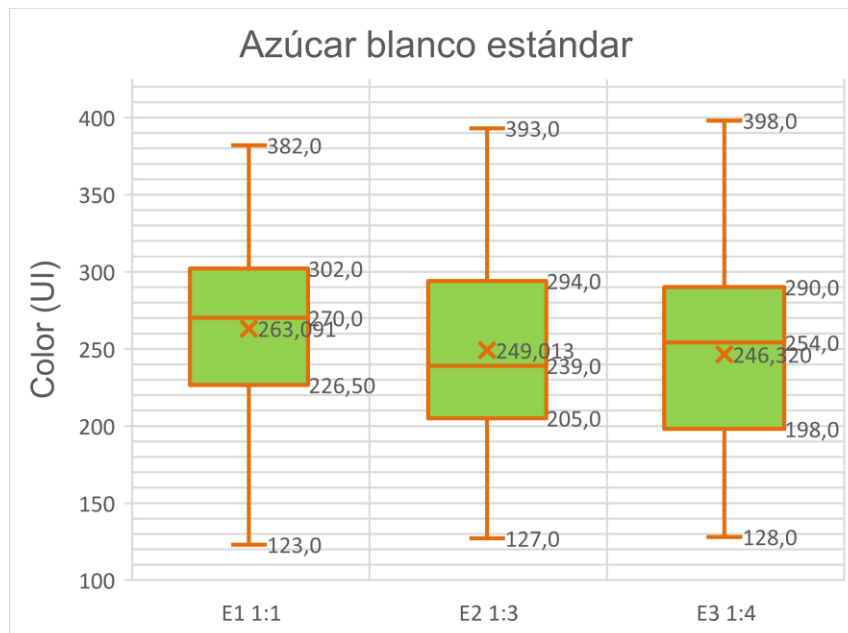
A continuación, se presentan gráficos de cajas. La caja representa la variación de datos; para mejor interpretación se muestra una descripción de los puntos representados en cada caja.

Figura 33. Diagrama para la interpretación de gráficos de cajas



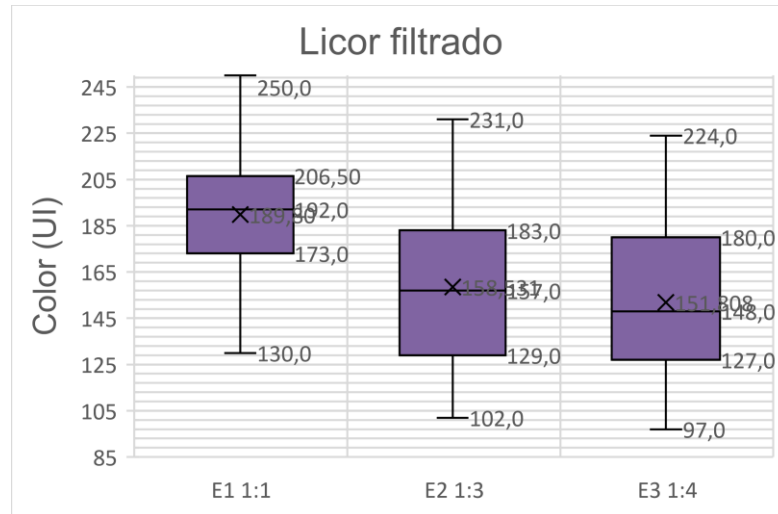
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Estadísticos de azúcar blanco estándar



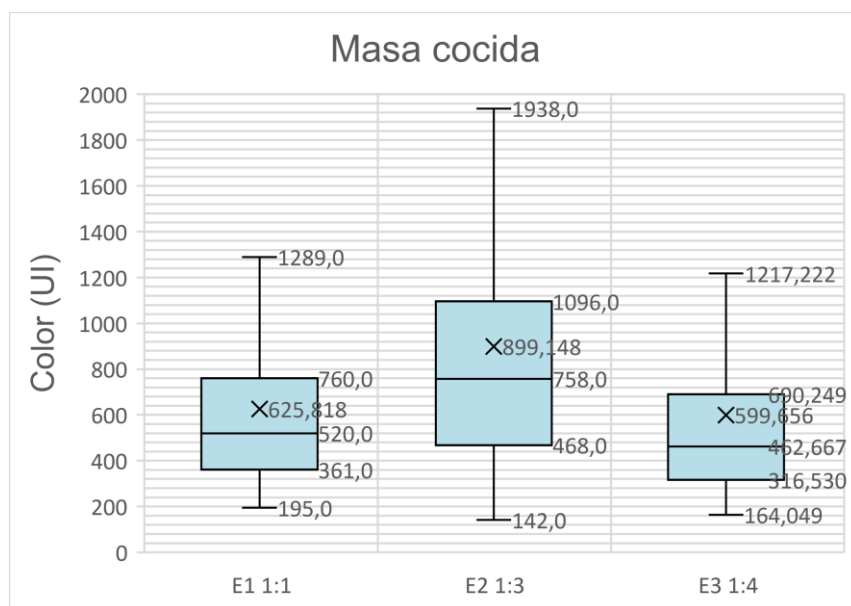
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Estadísticos de licor filtrado



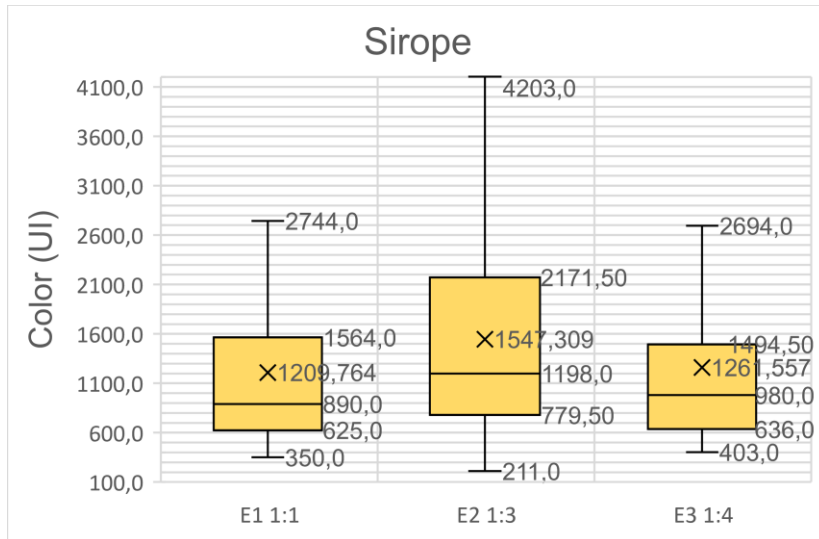
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Estadísticos de masa cocida



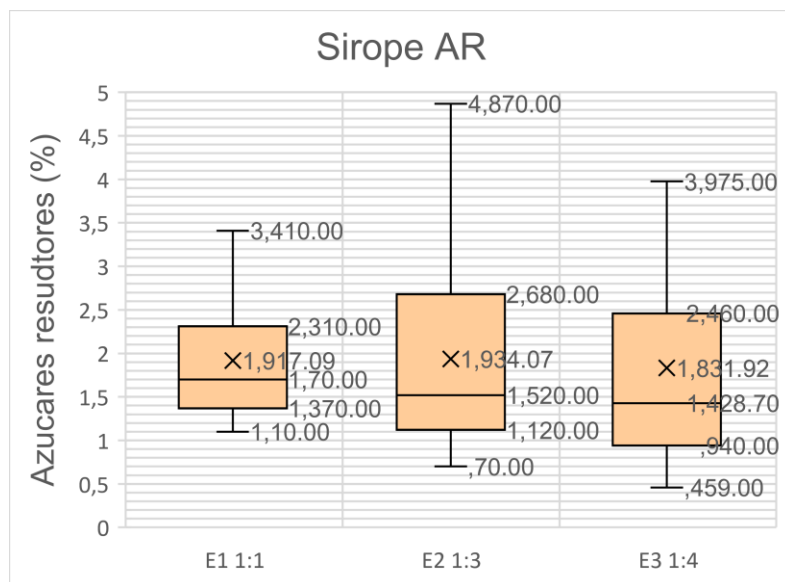
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Estadísticos de sirope



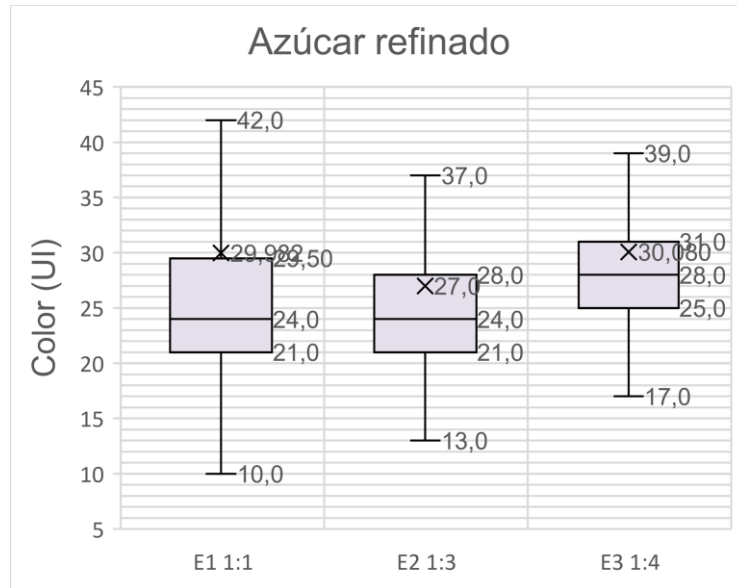
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Estadísticos de azúcares reductores en sirope



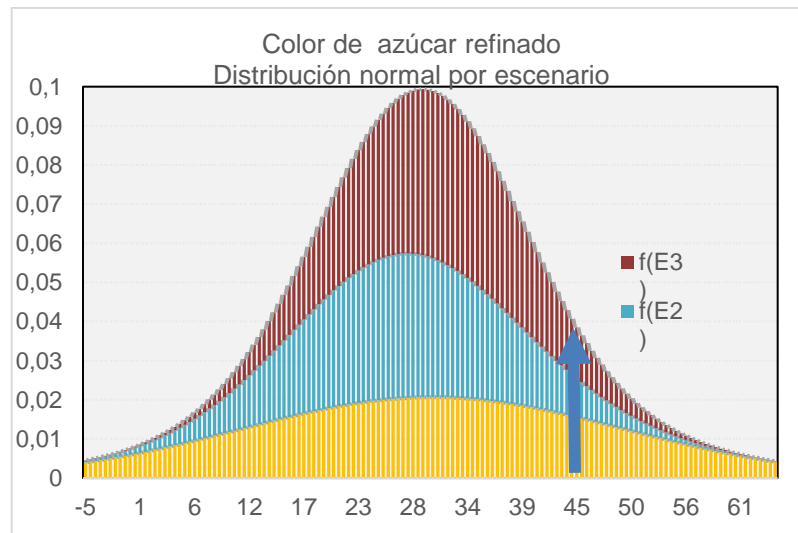
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Estadísticos de azúcar refinado



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Distribución normal Escenario todos los datos



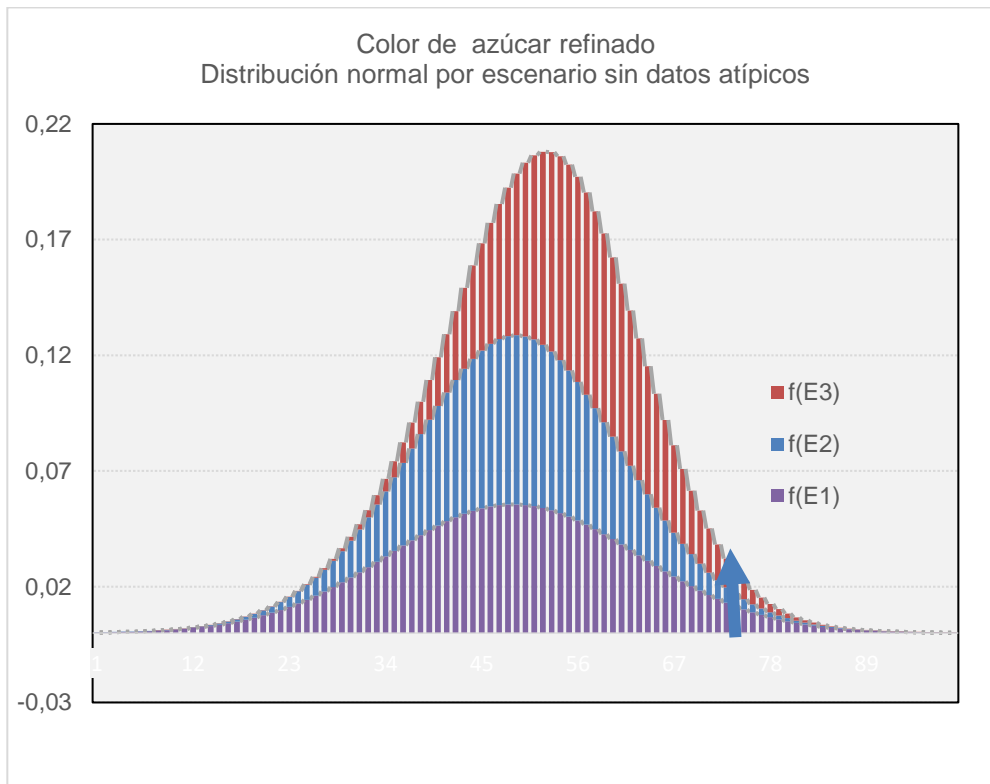
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Probabilidad de cumplimiento color en azúcar refinado**

Escenario	Probabilidad Color <45	Templas/ciclo (evaluadas)	Probabilidad Color <45	Templas/ciclo (sin datos atípicos)
E1 1:1	98,50 %	55	99,89 %	50
E2 1:3	99,15 %	81	99,99 %	77
E3 1:4	98,89 %	125	99,99 %	118

Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Distribución normal de azúcar refinado descartando datos atípicos**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Comparativo de % cenizas en azúcar refinado**

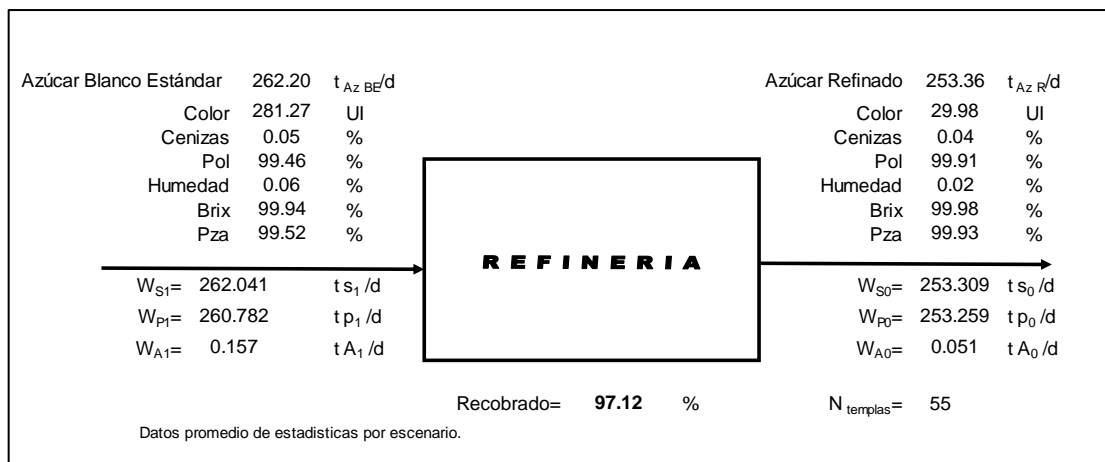
Cenizas Azúcar Refinado (%)	E1 1:1	E2 1:3	E3 1:4
Media	0,0038	0,0058	0,0044
Error típico	0,0004	0,0009	0,0004
Mediana	0,0026	0,0030	0,0030
Moda	0,0014	0,0015	0,0021
Desviación estándar	0,0032	0,0083	0,0045
Rango	0,0137	0,0465	0,0395
Mínimo	0,0013	0,0005	0,0005
Máximo	0,0150	0,0470	0,0400
Nivel de confianza (95 %)	0,0009	0,0018	0,0008

Fuente: elaboración propia.

4.5. Balance de masa

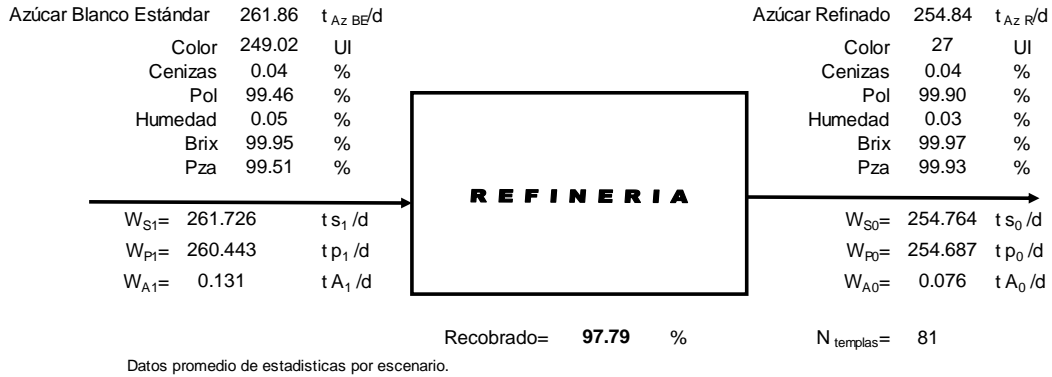
El siguiente balance de masa representa los materiales procesados, los flujos de masa que entran y salen. Mediante el cálculo se obtiene la cantidad de azúcar refinada recobrada, a partir de azúcar banco estándar.

Figura 42. **Balance de masa escenario 1**



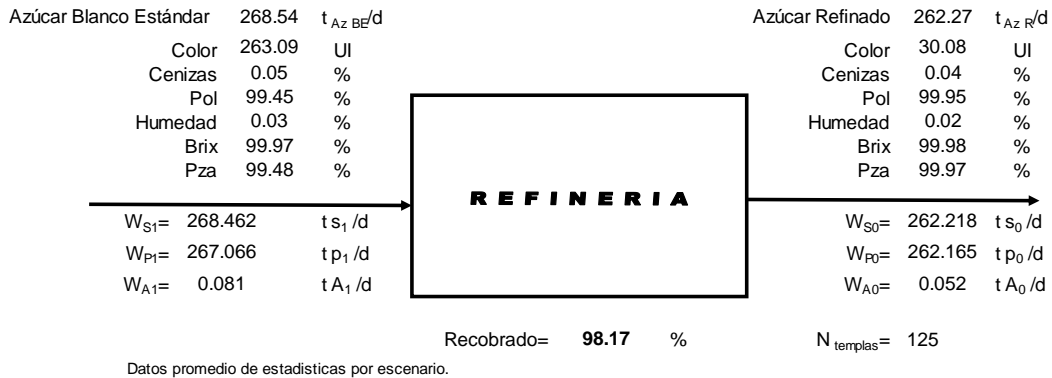
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Balance de masa escenario 2



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Balance de masa escenario 3



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante un ciclo de mezcla, el color de la masa cocida (y), aumenta de forma directamente proporcional a la cantidad de templeas por ciclo (x), manteniendo con tendencia lineal hasta un color aproximado de 1 000 UI, posteriormente el color aumenta de manera exponencial; el mismo comportamiento se observa en los tres escenarios, y se puede describir en una ecuación polinomial de grado 5 con 95 % de confianza.

Tabla XVII. **Correlación de la masa cocida y cantidad de templeas por ciclo**

Escenario 1	$y = 9E-05x^5 - 0,0108x^4 + 0,4965x^3 - 10,017x^2 + 94,972x$ $R^2 = 0,9553$
Escenario 2	$y = 2E-05x^5 - 0,0045x^4 + 0,3015x^3 - 8,6423x^2 + 106,9x$ $R^2 = 0,9564$
Escenario 3	$y = 2E-06x^5 - 0,0006x^4 + 0,06x^3 - 2,5908x^2 + 47,661x$ $R^2 = 0,972$

Fuente: elaboración propia.

- Durante un ciclo de mezcla el color de sirope (y), aumenta de forma directamente proporcional a la cantidad de templeas por ciclo (x), manteniendo con tendencia lineal hasta un color aproximado de 2 100 UI, posteriormente el color aumenta de manera exponencial, el mismo comportamiento se observa en los tres escenarios, y se puede describir en una ecuación polinomial de grado 5 con 95 % de confianza.

Tabla XVIII. **Correlación de color de sirope y cantidad de templeas por ciclo**

Escenario 1	$y = 4E-06x^5 - 0,001x^4 + 0,0939x^3 - 3,7023x^2 + 61,685x + 222,3$ $R^2 = 0,9867$
Escenario 2	$y = 2E-05x^5 - 0,0045x^4 + 0,297x^3 - 8,1466x^2 + 99,375x + 280,54$ $R^2 = 0,9637$
Escenario 3	$y = 4E-06x^5 - 0,001x^4 + 0,0939x^3 - 3,7023x^2 + 61,685x + 222,3$ $R^2 = 0,9867$

Fuente: elaboración propia.

- Se observó una correlación lineal entre el color del Sirope (y) y color de masa cocida (x), el comportamiento se observó en los tres escenarios de mezcla, con un nivel de confianza del 95 %.

Tabla XIX. **Correlación de color de sirope y color de masa cocida**

Escenario 1	$y = 1,9777x$ $R^2 = 0,9768$
Escenario 2	$y = 1,6961x$ $R^2 = 0,9862$
Escenario 3	$y = 2,0885x$ $R^2 = 0,9944$

Fuente: elaboración propia.

- Se observó una correlación lineal entre el color del sirope (y), y azúcares reductores (x); sin embargo, el Escenario 1, muestra una pendiente mayor a los demás Escenarios, lo que explica que, a mayor cantidad de sirope en la mezcla, por efecto de exposición al calentamiento durante el cocimiento, y su recirculación, hay una tendencia a alcanzar el aumento de color debido al incremento de los azúcares reductores. Se mantiene un nivel de confianza del 95 %.

Tabla XX. **Correlación de color de sirope y azúcares reductores**

Escenario 1	$y = 39,594x$ $R^2 = 0,9464$
Escenario 2	$y = 1,6961x$ $R^2 = 0,9862$
Escenario 3	$y = 2,0885x$ $R^2 = 0,9944$

Fuente: elaboración propia.

- Durante los ciclos de mezcla en cada escenario, el color del azúcar refinado (y) se mantiene dentro la especificación de color 45 UI cuando alcanza un número de templeas de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla XXI. **Número de templeas en función del límite de color**

Número de templeas	Azúcar Refinado por ciclo				Total
	Color < 45 UI		Color > 45 UI		
Escenario 1	50	91 %	5	9 %	55
Escenario 2	77	95 %	4	5 %	81
Escenario 3	118	94 %	7	6 %	125

Fuente: elaboración propia.

- Escenario 3 con mayor número de templeas y Escenario 2 con más templeas que produjeron azúcar refinado dentro de especificación. Se observa un comportamiento que se puede describir en una ecuación polinomial de grado 5 con 95 % de confianza. El Escenario 1, con correlación más alta, seguido de Escenario 3 y 2.

Tabla XXII. **Comportamiento y coeficientes de correlación en función de número de plantas**

Escenario 1	$y = 7E-06x^5 - 0,0009x^4 + 0,0397x^3 - 0,8115x^2 + 7,1297x + 0,1133$ $R^2 = 0,9645$
Escenario 2	$y = 6E-07x^5 - 0,0001x^4 + 0,0074x^3 - 0,2152x^2 + 2,6364x + 11,836$ $R^2 = 0,9042$
Escenario 3	$y = 8E-08x^5 - 2E-05x^4 + 0,0023x^3 - 0,1054x^2 + 1,9293x + 15,127$ $R^2 = 0,9337$

Fuente: elaboración propia.

- De acuerdo con la información estadística de datos agrupados, los escenarios 2, tiene la más alta dispersión en la mayoría de los estadísticos calculados; los escenarios 1 y 3, con menor dispersión y desviación de las medidas de tendencia central media y mediana.
- De acuerdo con la gráfica de distribución normal, la probabilidad de cumplimiento dentro de especificación se aumenta cuando se separan los datos atípicos (cuando se supera el límite de especificación de azúcar refinado).
- Del balance de masa se observa que el Escenario 3, presenta más alto promedio de producción por día, más cantidad de azúcar refinado producido a partir de azúcar blanco estándar (recobrado), con el más alto tiempo de producción y continuidad con producto dentro de especificación.

Tabla XXIII. **Cantidad de azúcar recobrado en cada escenario**

	Recobrado (%)	Promedio ponderado (t/d)	Total, Azúcar refinado		
			(t/ciclo)	color < 45 UI (t)	(d)
Escenario 1	97,12	253,36	1 741,85	1 585,08	7
Escenario 2	97,79	254,84	2 580,25	2 451,24	10
Escenario 3	98,17	262,27	4 098,00	3 852,12	16

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. De los escenarios propuestos, la mezcla 1:4, 75 % Licor filtrado y 30 % Sirope, demostró tener mejor desempeño, en esta configuración se obtuvo:
 - Mayor cantidad de templeas por ciclo
 - Mayor cantidad de azúcar refinado producido, por día y ciclo.
 - Menor recirculación de materiales
 - Continuidad para el retorno de miel refinada para reproceso evitando llenos en los tanques de almacenamiento.
 - Mayor recuperación de azúcar.

2. De acuerdo con los resultados de esta evaluación, se puede elaborar templeas únicas a partir de la mezcla de licor virgen y sirope para producir azúcar refinado dentro de especificación de acuerdo con lo siguiente:
 - Mezcla 1:1, 50 % Licor virgen y 50 % Sirope, hasta un máximo de 50 templeas por ciclo.
 - Mezcla 1:3, 70 % Licor virgen y 30 % Sirope, hasta un máximo de 81 templeas por ciclo.
 - Mezcla 1:4, 75 % Licor virgen y 30 % Sirope hasta un máximo de 121 templeas por ciclo.

3. Del cálculo de balance de masa de cada escenario planteado, la recuperación de azúcar con mayor desempeño fue 98,17 %, la mezcla es 1:4, 75 %, licor virgen y 30 % sirope. Esta eficiencia es atribuible a la correlación entre color de sirope y azúcares reductores.

4. Se descarta la Hipótesis nula y se comprueba la Hipótesis alternativa, determinándose que la evaluación permitió que al menos en uno de los escenarios propuestos se aumentó el ciclo de temple y la eficiencia de recuperación de azúcar.

RECOMENDACIONES

1. Elaborar templa única con la mezcla 1:4,75 % licor virgen, 30 % sirope, y dar seguimiento al color de la masa cocida, verificar cuando los valores aumenten por encima de las 1000 UI. A medida que se aumenta el uso del sirope para la mezcla durante el ciclo, se acerca al factor limitante, debido al aumento exponencial al finalizar el ciclo. El ciclo de templeas con mezcla 1:4, se debe detener cuando el color del Sirope aumente de 2 100 UI.
2. Mantener el azúcar refinado dentro especificación obteniendo el mayor número de templeas por ciclo requiere operar con la mezcla 1:4,75 % licor virgen y 30 % sirope, esta práctica facilita la continuidad del proceso de producción de azúcar refinando, aumentando las posibilidades de ofrecer un producto con valor agregado con mayor beneficio económico.
3. Incorporar un sistema de intercambio iónico puede ayudar a reducir el color del licor clarificado y filtrado, como el color en el azúcar refinado, por lo que es recomendable evaluar la factibilidad de una inversión para obtener mayor recuperación de azúcar. Las cenizas en azúcar refinado no aumentaron significativamente, por lo tanto, este parámetro no es considerado un factor limitante, y no afecta en la recuperación de azúcar.

4. Evaluar cualquier cambio en la proporción de la mezcla 1:4. De la comparación estadística entre los escenarios planteados, se observó que a medida que la cantidad de sirope aumenta en la mezcla, la dispersión de los datos es mayor. Cada escenario de una mezcla permite producir azúcar refinado dentro de especificación, la diferencia radica en la cantidad de templeas por ciclo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Azúcar de Guatemala. *El azúcar de Guatemala llega a los cinco continentes*. [en línea]. <<https://www.azucar.com.gt/2020/09/11/el-azucar-de-guatemala-llega-a-los-cinco-continentes/>>. [Consulta: 27 de marzo de 2021].
2. DEVORE, Jay. *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. 7ª ed. México: CENGAGE Learning, 2008. 742 p.
3. FAO. *Los desafíos de la seguridad alimentaria*. [en línea]. <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAODG/docs/1_2012-25-03.ES.Clarin.pdf>. [Consulta: noviembre 2020].
4. FAO. *Perspectivas alimentarias resúmenes de mercado*. [en línea]. <<http://www.fao.org/home/es/>>. [Consulta: noviembre 2020].
5. HIMMELBLAU, David. *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. México D.F.: Prentice Hall, 1997. 752 p.
6. HONIG, Pieter. *Principios de tecnología azucarera*. New York: Elsevier Publishing Company, 1968. 332 p.
7. JAMES, Chen. *Manual del azúcar de caña*. México: Editorial Limuza S.A. de C.V., 2004. 1200 p.

8. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. 7ª ed. North Carolina: McGraw Hill, 2007. 736 p.
9. Naciones Unidas. *Convenio Internacional del azúcar, 1992*. [en línea]. <<https://aplicaciones.sre.gob.mx/tratados/ARCHIVOS/CONVENIO-AZUCAR.pdf>>. [Consulta: 27 de marzo de 2021].
10. Organización internacional del azúcar. *Acerca del azúcar*. [en línea]. <<https://www.isosugar.org/sugarsector/sugar>>. [Consulta: 27 de marzo de 2021].
11. Organización internacional del azúcar. Anuario ISO Sugar 2020. [en línea]. <<https://www.isosugar.org/publication/209/iso-sugar-yearbook-2020>>. [Consulta: 27 de marzo de 2021].
12. RAIN, Peter. *Ingeniera de la caña de azúcar*. Alemania: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 2012. 850 p.
13. Sugar Milling Research Institute and University of Natal, Durban, South Africa. *The chemistry of colour removal: a processing perspective*. [en línea]. <<https://fliphtml5.com/ftsa/ebnt/basic>>. [Consulta: 27 de marzo de 2021].
14. TCCC. *Especificaciones de la sacarosa granulada*. [en línea]. <<https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>>. [Consulta: 27 de marzo de 2021].

15. TCCC. *Especificaciones de la sacarosa líquida y el jarabe simple*. [en línea]. <<https://tsapps.ko.com/sites/koretechnical/default.aspx>>. [Consulta: 27 de marzo de 2021].

16. USDA. *Sugar and sweeteners outlook No. (SSS-M-390)*. [en línea]. <<https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=100533>>. [Consulta: noviembre de 2020].

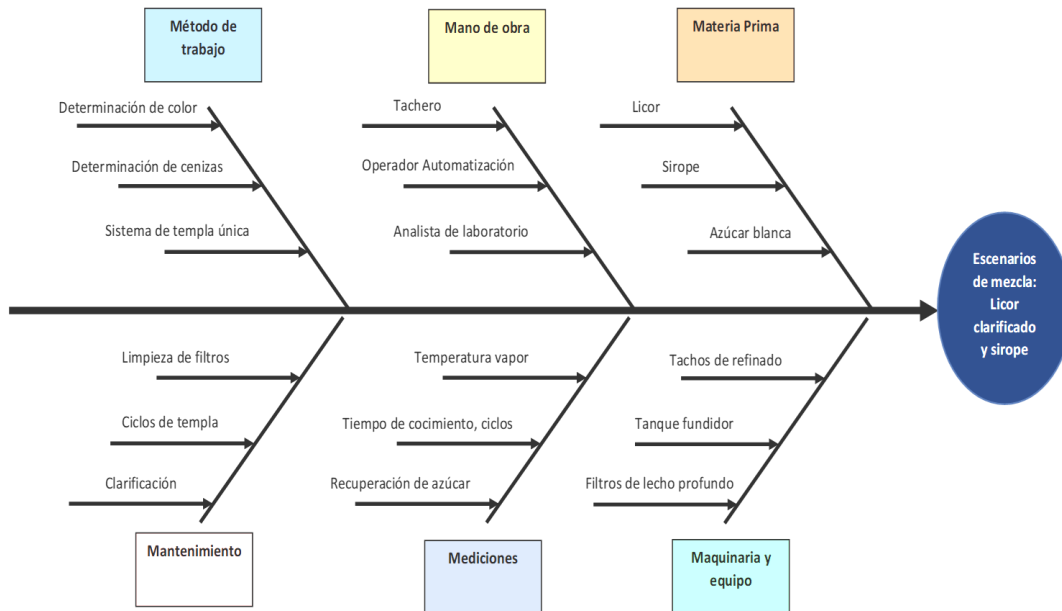
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Licenciatura en Ingeniería Química	Área de Química	Química III
		Química IV
		Análisis Cualitativo
		Análisis Cuantitativo
Área de Físicoquímica	Técnicas de estudio y de investigación	Físicoquímica 2
		Laboratorio de Físicoquímica 2
Área de Especialización	Ingeniería Azucarera	
		Procesos Químicos Industriales
Área de Ciencias Básicas y Complementarias	Estadística 1	
		Seminario Investigación

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Estadísticos escenario 1

E1 1:1	AZ BE	Pol Az BE	Color LF	Color MC	Pza MC	AR MC
Media	281,27	99,46	189,80	625,82	98,41	1,46
Error típico	10,48	0,0110	3,49	49,33	0,13	0,05
Mediana	278	99,44	192	520,00	98,54	1,48
Moda	398	99,43	169	#N/D	98,00	1,10
Desviación estándar	77,71	0,0814	25,85	365,88	0,97	0,38
Variabilidad	27,63	0,07	13,62	58,46	0,99	26,16
Curtosis	-0,88	10,27	-0,17	2,39	3,70	2,52
Coefficiente de asimetría	-0,18	-2,86	-0,16	1,51	-1,64	0,90
Rango	275	0,39	120	1682	5	2
Mínimo	123	99,30	130	195	94,58	0,84
Máximo	398	99,69	250	1877	99,66	2,95
Cuenta	55	55	55	55	55	55
Nivel de confianza (95,0 %)	21,01	0,02	7,79	98,91	0,26	0,10

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Estadísticos escenario 1 (continuación)**

E1 1:1	Color Az R	Pol Az R	Cenizas Az R	Color SP	Pza SP	AR SP
Media	29,98	99,91	0,0038	1209,76	94,73	1,92
Error típico	2,60	0,002	0,0004	108,09	0,28	0,10
Mediana	24	99,92	0,0026	890,00	95,00	1,70
Moda	21	99,91	0,0014	#N/D	94,70	1,18
Desviación estándar	19,29	0,02	0,0032	801,63	2,05	0,74
Variabilidad	64,35	0,02	84	66,26	2,17	38,44
Curtosis	9,21	11,89	4,34	2,28	48,64	3,02
Coefficiente de asimetría	2,92	-3,18	2,11	1,52	-6,77	1,47
Rango	103	0,06	0,0137	3752	16	3,71
Mínimo	10	99,89	0,0013	350	80,20	1,10
Máximo	113	99,95	0,0150	4102	96,30	4,81
Cuenta	55	55	55	55	55	55
Nivel de confianza (95,0 %)	5,22	0,01	0,0009	216,71	0,56	0,20

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Estadísticos escenario 2**

E2 1:3	AZ BE	Pol Az BE	Color LF	Color MC	Pza MC	AR MC
Media	249,02	99,46	159,85	899,15	96,94	1,49
Error típico	7,45	0,0138	4,06	63,62	0,20	0,09
Mediana	239	99,47	157	758	97	1,21
Moda	234	99,28	130	1364	96	0,88
Desviación estándar	67,06	0,1243	36,50	572,56	1,83	0,78
Variabilidad	26,93	0,12	22,83	63,68	1,89	52,55
Curtosis	-0,50	9,34	-0,95	4,78	3,43	2,92
Coefficiente de asimetría	0,40	-1,94	0,08	1,88	-1,47	1,56
Rango	266	0,40	129	3134	9	4
Mínimo	127	99,25	102	142	90,20	1
Máximo	393	99,65	231	3276	99,50	5
Cuenta	81	81	81	81	81	81
Nivel de confianza (95,0 %)	14,83	0,03	8,07	126,60	0,41	0,17

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Estadísticos escenario 2 (continuación)**

E2 1:3	Color Az R	Pol Az R	Cenizas AR	Color SP	Pza SP	AR SP
Media	27,00	99,90	0,0058	1 547,31	95,23	1,93
Error típico	1,20	0,00	0,0009	106,58	0,22	0,12
Mediana	25	99,90	0,0030	1198	95,60	1,52
Moda	23	99,89	0,0015	#N/D	95,20	1,01
Desviación estándar	10,81	0,02	0,0083	959,20	1,94	1,07
Variabilidad	40,05	0,02	143	61,99	2,03	55,11
Curtosis	16,32	45,90	3,41	1,68	25,93	1,34
Coefficiente de asimetría	3,56	-6,07	3,4877	1,30	-4,71	1,23
Rango	77	0,10	0,0465	4617	14	5
Mínimo	13	99,87	0,0005	211	83,40	0,70
Máximo	90	99,97	0,0470	4828	97,70	5,81
Cuenta	81	81	81	81	81	81
Nivel de confianza (95,0 %)	2,39	0,01	0,0018	212,10	0,43	0,24

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Estadísticos escenario 3**

E3 1:4	Az BE	Pol Az BE	Color LF	Color MC	Pza MC	AR MC
Media	263,09	99,46	150,58	599,66	97,99	1,51
Error típico	8,35	0,0063	4,38	40,50	0,11	0,05
Mediana	270	99,45	145	463	98,39	1,40
Moda	298	99,52	127	#N/D	98,39	1,18
Desviación estándar	61,93	0,0710	32,47	452,76	1,25	0,53
Variabilidad	23,54	0,07	21,56	75,50	1,28	34,85
Curtosis	-0,24	7,38	-0,27	6,77	-0,05	-0,56
Coefficiente de asimetría	-0,35	-2,86	0,27	2,36	-0,84	0,52
Rango	259	0,24	162	2673	5	2
Mínimo	123	99,35	62	164	94,58	0,66
Máximo	382	99,59	224	2837	99,88	2,96
Cuenta	125	125	125	125	125	125
Nivel de confianza (95,0 %)	10,39	0,04	5,99	80,15	0,22	0,09

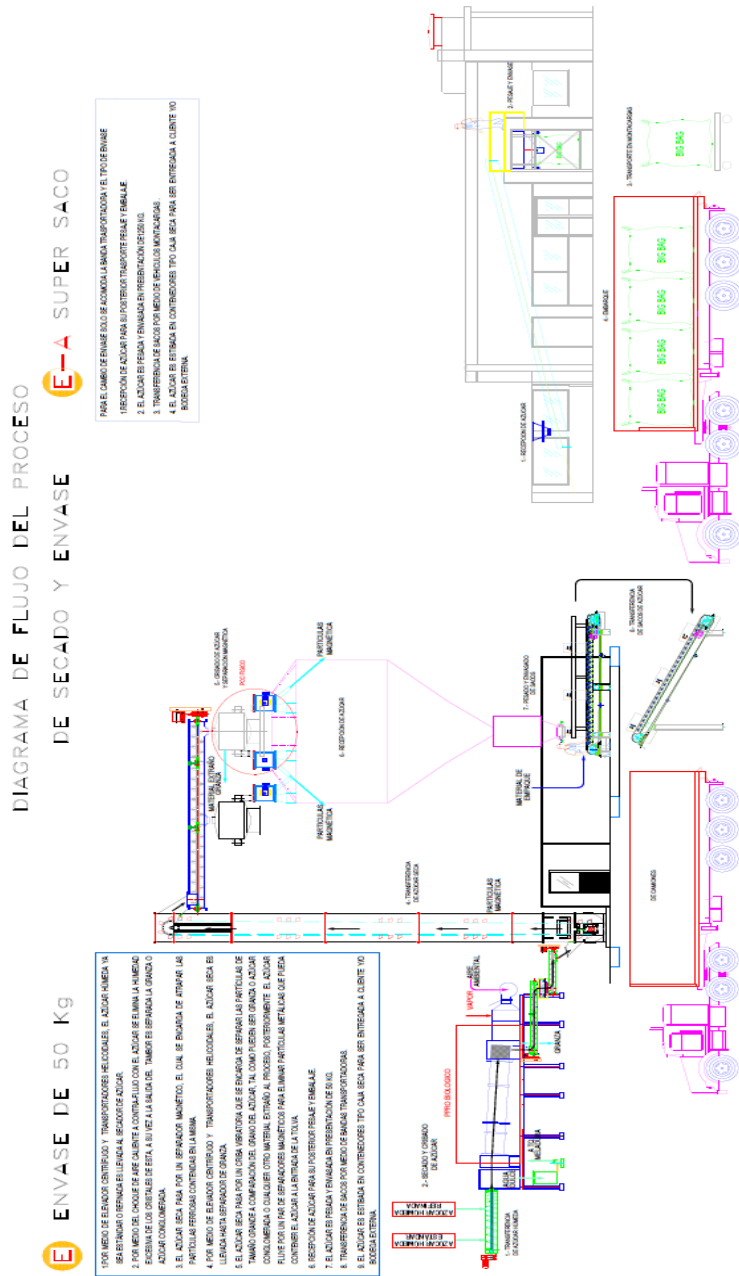
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Estadísticos escenario 3 (continuación)**

E3 1:4	Color Az R	Pol Az R	Cenizas AzR	Color SP	Pza SP	AR SP
Media	30,08	99,95	0,0044	1261,56	95,63	1,83
Error típico	0,84	0,00	0,0004	84,14	0,12	0,11
Mediana	28	99,95	0,0030	980,00	95,40	1,43
Moda	27	99,93	0,0021	647,00	95,00	1,12
Desviación estándar	9,43	0,0205	0,0045	940,66	1,34	1,22
Variabilidad	31,36	0,02	103	74,56	1,40	66,83
Curtosis	10,64	11,41	3,18	5,48	6,19	2,53
Coefficiente de asimetría	3,02	-2,89	4,52	2,19	-0,51	1,57
Rango	62	0,06	0,0395	5135	10	6
Mínimo	17,0	99,92	0,0005	403	88,40	0,46
Máximo	79,0	99,98	0,0400	5538	98,60	6,54
Cuenta	125	125	125	125	125	125
Nivel de confianza (95,0 %)	1,67	0,01	0,00	166,53	0,24	0,22


Fuente: elaboración propia.

Continuación del anexo 1.



Fuente: Ingenio Lázaro Cárdenas. Área de dibujo, 02-HP-DG-005 DF ILC-ENV.

Anexo 2. Método para la determinación de color en azúcar refino

	DETERMINACION DE COLOR DE AZUCAR	02-CC-PR-022
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 1 de 5

1.0 OBJETO.

Este procedimiento establece los lineamientos para la determinación de color en muestras de azúcares cristalizados.

2.0 SIGLAS Y DEFINICIONES.

- a).-IU: Icumsa Units, es equivalente a la traducción UI: Unidades Icumsa.
b).-nm: Nanómetro

2.1.1.-N/A

- a).- Brx: Porcentaje de sólidos disueltos en una solución.
b).-Color: Fenómeno físico-químico asociado a las infinitas combinaciones de la luz, relacionado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectrofotómetro. En la Industria azucarera es el resultado de la filtración de una muestra a 420 nanómetros (nm) a través de un filtro 0.45 micrómetros.
c).- Turbidez: Se entiende por turbidez a la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, más alta será la turbidez. En la Industria azucarera es la diferencia de la muestra filtrada y sin filtrar a 420 nm.
d).- Nanómetro: Es la unidad de longitud que equivale a una milmillonésima parte de un metro. Comúnmente se utiliza para medir la longitud de onda de la radiación ultravioleta, radiación infrarroja y la luz. $1\text{nm} = 1 \times 10^{-9}\text{m}$


3. ASPECTOS BREVES DE SALUD OCUPACIONAL

- Peligros asociados a la tarea
 - Mecánico
- Instrucciones y/o equipos de seguridad específicas
 - Conocer el manejo de material de vidrio del laboratorio.
 - Conocer el manejo de espectrofotómetro
 - .
- Equipo de Protección Personal (EPP)
 - Bata

Tabla 1. Cuadro de salud ocupacional

Elaborado por: Auditor de análisis especiales	Revisado por: Superintendente de calidad	Aprobado por: Superintendente de calidad
---	---	---

Continuación del anexo 2.

	DETERMINACION DE COLOR DE AZUCAR	02-CC-PR-022
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 2 de 5

4. CONDICIONES GENERALES

4.1 N/A

5. DESCRIPCION DEL INSTRUCTIVO

5.1 Campo de aplicación.

5.1.2.-Este instructivo se emplea para la determinación del color. En muestras de azúcar refinado, con colores de 10 a 45 UI.

5.2. Principio del método.

5.2.1.-Se disuelve azúcar refinado en agua hasta tener una solución. Se filtra para eliminar la turbidez, se mide la absorbancia de la solución filtrada y la absorbancia de la solución sin filtrar a una longitud de onda de 420 nm, se calcula el color a partir de la medición de la absorbancia de la muestra filtrada. La turbidez se calcula de la diferencia de la medición de absorbancia de la muestra filtrada y de la muestra sin filtrar.

6.- REACTIVOS Y MATERIALES

- 6.1.-Membrana de nitrato de celulosa de 0.45 µm,
- 6.2.-Agua destilada o desmineralizada filtrada.
- 6.3.-Papel absorbente
- 6.4.-Papel limpia lentes
- 6.5.-Papel toalla.
- 6.6.-Equipo de filtración
- 6.7.-Vaso de precipitado de 250 ml
- 6.8.-Plzeta
- 6.9.-Tubo de ensayo
- 6.10.-Barras magnéticas
- 6.11.-Micropipeta plástica
- 6.12.-Kitasato
- 6.13.-Cápsula de pesaje
- 6.14.-Celda de 10 cm (100 mm) de paso de luz
- 6.15.-Equipo de filtración (millipore)

7.- APARATOS E INSTRUMENTOS

- 7.1.-Espectrofotómetro
- 7.2.-Refractómetro
- 7.3.-Medidor pH
- 7.4.-Bomba de vacío

Continuación del anexo 2.

	DETERMINACION DE COLOR DE AZUCAR	02-CC-PR-022
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 3 de 5

- 7.5.-Balanza ± 0.001 g
- 7.6.-Baño ultrasónico
- 7.7.-Agitador magnético

8.- PREPARACION DE LA MUESTRA.

- 8.1.- Homogeneizar bien la muestra en el recipiente que la contenga.
- 8.2.- Pesar 50 gramos de la muestra homogénea, transferirlos cuantitativamente a un vaso de precipitado de 250 ml y pesar 50 ml de agua destilada, disolver en su totalidad.

9.- PROCEDIMIENTO

9.6.- Pasos

9.6.1.- Lectura de blanco

El químico de turno del laboratorio debe:

- a) Llenar la celda de 10 cm con agua destilada o desmineralizada filtrada. Este es el blanco.
- b) Limpiar las paredes de la celda con papel absorbente y papel limpia lentes cuando sea necesario. Verificar la limpieza mediante Inspección visual.
- c) Colocar el espectrofotómetro en modo absorbancia a 420 nm y poner a cero.
- d) Tomar lectura en espectrofotómetro, anotar lectura como "Absorbancia blanco".


9.6.2.- Solución sin filtrar

El químico de turno del laboratorio debe:

- a) Homogeneizar la muestra.
- b) Talar un beaker de 250 mL limpio y seco, pesar aproximadamente 50 ± 0.1 g de muestra, retarar y pesar 50 ± 0.1 g de agua. Anotar la masa.
- c) Disolver con agitación hasta completar disolución. Medir pH y anotar "pH de la solución".
- d) Colocar en baño ultrasónico como mínimo 2 a 3 minutos.
- e) Tomar una alícuota medir brix y anotar lectura "Brix solución sin filtrar".
- f) Llenar una celda de 10 cm con la solución del inciso d), y descartar los lavados, lavar con agua las paredes de la celda cuando sea necesario y secar con papel absorbente, papel limpia lentes o papael toalla. Verificar la limpieza mediante Inspección visual.
- g) Colocar y/o verificar que el espectrofotómetro este en modo absorbancia con longitud de onda de 420 nm y poner a cero.
- h) Tomar lectura de espectrofotómetro y anotar "Absorbancia solución sin filtrar".
- i) Calcular Absorbancia corregida, restando "Absorbancia blanco" menos "Absorbancia solución sin filtrar".

9.6.3.- Solución filtrada

Continuación del anexo 2.

	DETERMINACION DE COLOR DE AZUCAR	02-CC-PR-022
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 4 de 5

El químico de turno del laboratorio debe:

- a) Preparar el equipo de filtración con membrana 0.45 µm.
- b) Filtrar la solución del inciso c) de la sección 9.6.2.
- c) Tomar una alícuota del filtrado y medir brix, anotar la lectura "Brix solución filtrada". Colocar la solución filtrada en baño ultrasónico como mínimo 2 a 3 minutos. Lavar la celda de 10 cm con la solución del inciso b), y descartar los lavados, lavar con agua las paredes de la celda cuando sea necesario y secar con papel absorbente, papel limpia lentes o papel toalla. Verificar la limpieza mediante inspección visual. Colocar y/o verificar que el espectrofotómetro este en modo de absorbancia con longitud de onda de 420 nm, poner a cero. Tomar lectura en espectrofotómetro y anotar, "Absorbancia solución filtrada". Calcular Absorbancia corregida, restando "Absorbancia blanco" menos "Absorbancia solución filtrada".

10.- EXPRESION DE RESULTADOS


$$10.1.- \text{Color ICUMSA} = \frac{(ABS_{\text{m}}) * (1000)}{(b) * (c)}$$

En donde:

- ABS_m - Absorbancia a 420 nm de la muestra turbia o sin filtrar.
- ABS_f - Absorbancia a 420 nm de la muestra filtrada.
- b - Longitud de la celda, expresada en centímetros.
- c - Concentración de sólidos, expresada en grs/cm³. Consultar la tabla "Valores de densidad de soluciones puras de azúcar a 20 °C, para emplearse en la fórmula de color ICUMSA".

Brix	Densidad (kg/m ³)
49.50	1225.893
49.60	1226.442
49.70	1226.991
49.80	1227.540
49.90	1228.090
50.00	1229.656
50.10	1230.206
50.20	1230.757
50.30	1231.308
50.40	1231.860
50.50	1232.412

Continuación del anexo 2.

	DETERMINACION DE COLOR DE AZUCAR	02-CC-PR-022
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 5 de 5

11.- VERIFICACIÓN

Para azúcares con valores de turbidez ICUMSA hasta 25 IU la diferencia absoluta entre dos resultados, obtenidos bajo condiciones de repetibilidad no deberá ser mayor que 3 IU.


12.-CONTROL DE CAMBIOS

BITÁCORA DE CAMBIOS

Revisión	Fecha	Comentarios
03	05 10 2020	Se revisa y se actualiza la fecha

Fuente: Laboratorio, Ingenio Lázaro Cárdenas.

Anexo 3. Método para la determinación de cenizas en azúcar

	DETERMINACION DE CENIZAS EN AZUCAR POR METODO CONDUCTIMETRO	02-CC-PR-033
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 1 de 3

1.0 OBJETO.

Este procedimiento establece los lineamientos para la determinación de cenizas en muestras de fundidos, licores, siropes, azúcares cristalizados y materiales afines, por el método conductimétrico.

2.0 SIGLAS Y DEFINICIONES.

2.1 Siglas

2.1.1.-N/A

2.2 Definiciones.

3. ASPECTOS BREVES DE SALUD OCUPACIONAL

<ul style="list-style-type: none"> • Peligros asociados a la tarea <ul style="list-style-type: none"> - Mecánico • Instrucciones y/o equipos de seguridad específicas <ul style="list-style-type: none"> - Conocer el manejo de material de vidrio del laboratorio. - Conocer el manejo de conductímetro - • Equipo de Protección Personal (EPP) <ul style="list-style-type: none"> - Bata

Tabla 1. Cuadro de salud ocupacional


4. CONDICIONES GENERALES

4.1 N/A

5. DESCRIPCION DEL INSTRUCTIVO

Elaborado por: Auditor de análisis especiales	Revisado por: Superintendente de calidad	Aprobado por: Superintendente de calidad
---	---	---

Continuación del anexo 3.

	DETERMINACION DE CENIZAS EN AZUCAR POR METODO CONDUCTIMETRO	02-CC-PR-033
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 2 de 3

5.1 Campo de aplicación.

5.2.-Este instructivo es aplicable para la determinación de cenizas por conductividad en azúcar crudo, azúcar moreno, jugo, jarabe y melazas, para muestras con rango de cenizas mayor a 0.015%. Para el azúcar blanco y refino con cenizas entre 0.001 y 0.10%.

5.2. Principio del método.

5.2.1.-En esta determinación se asume que la conductividad de una solución, tiene una relación directa con su contenido de cenizas, y las mismas se calculan por su aplicación de un factor constante que las relaciona. Las cenizas conductimétricas permiten medir la concentración de sales solubles ionizadas presentes.

5.2.2.-Las cenizas determinadas por conductividad no se pueden comparar directamente con las cenizas gravimétricas determinadas por incineración ya que tienen su propio significado. Los factores se han seleccionado de tal manera que las conductimétricas corresponden aproximadamente a los valores de cenizas sulfatadas, este coeficiente es convencional y no puede ser verificado experimentalmente.

6.- REACTIVOS Y MATERIALES

6.1.- Reactivos

6.1.1.-Agua destilada con una conductividad menor de 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

6.1.2.-Solución de cloruro de potasio 0.01 M.

6.2.- Materiales

6.2.1.-Vaso de precipitados de 250 ml.

6.2.2.-Material común de laboratorio.

7.- APARATOS E INSTRUMENTOS

Los instrumentos deben contar con certificado de calibración vigente.


7.1.1.- Balanza con sensibilidad de ± 0.01 gramo.

7.1.2.- Conductímetro.

7.1.3.- Agitador magnético.

7.2.4.- Termómetro.

Continuación del anexo 3.

	DETERMINACION DE CENIZAS EN AZUCAR POR METODO CONDUCTIMETRO	02-CC-PR-033
		ILC
		Fecha de actualización 05-10-2020 Versión 01
		Hoja: 3 de 3

8.- PREPARACION DE LA MUESTRA.

8.1.- Calibrar el conductímetro, según su instructivo.

8.2.- Medir la conductividad de la solución azucarada a una temperatura de 20 °C y registrar la lectura.

8.3.- Medir la conductividad del agua destilada a una temperatura de 20 °C y registrar la lectura.

9.- PROCEDIMIENTO

9.1.0.- Calibrar el conductímetro, según su instructivo.

9.1.2.- Medir la conductividad de la solución azucarada a una temperatura de 20 °C y registrar la lectura.

9.1.3.- Medir la conductividad del agua destilada a una temperatura de 20 °C y registrar la lectura.

10.- EXPRESION DE RESULTADOS

$$C_{20} = (C_v) - (0.35 * C_{agua})$$

En donde:

C_{20} - Es la conductividad de la solución a 20 °C corregida, expresada en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

C_v - Es la conductividad de la solución a 20 °C, expresada en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

C_{agua} - Es la conductividad específica del agua a 20 °C, expresada en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

$$\% \text{ Cenizas conductimétricas} = (C_{20}) * (0.0006)$$

Si la determinación no puede efectuarse a la temperatura de 20 °C, deberá hacerse una corrección por temperatura, siempre que no exceda el límite de ± 5 °C, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_{20} = \frac{\text{Conductividad de la solución a temperatura } T \text{ } ^\circ\text{C}}{1 + 0.025 (T - 20)}$$

CONTROL DE CAMBIOS

BITÁCORA DE CAMBIOS

Revisión	Fecha	Comentarios
03	05 10 2020	Se revisa y se actualiza la fecha

Fuente: Laboratorio, Ingenio Lázaro Cárdenas.

