



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

**EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ EN LA
FABRICACIÓN DE LICOR Y JARABE EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR**

Julio Cordón Cardona

Asesorado por el Ing. Juan Pedro Quiñonez Fernández

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ EN LA
FABRICACIÓN DE LICOR Y JARABE EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JULIO CORDÓN CARDONA

ASESORADO POR EL ING. JUAN PEDRO QUIÑONEZ FERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

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

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
EXAMINADORA	Inga. Ana Rufina Herrera Soto
EXAMINADORA	Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ EN LA FABRICACIÓN DE LICOR Y JARABE EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 20 de julio de 2020.

Julio Cordón Cardona

Guatemala 10 de octubre de 2021

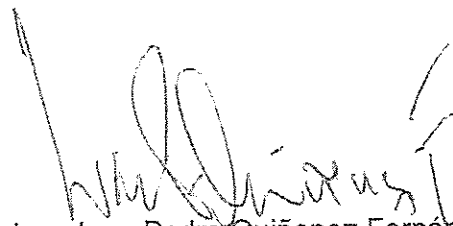
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: **"EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ EN LA FABRICACIÓN DE LICOR Y JARABE EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR"**, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, **Julio Cerdón Cardona**, quien se identifica con el registro académico **2015-04235** y con el CUI **3361 61530 1904**.

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

Atentamente,



Ing. Juan Pedro Quiñonez Fernández

ASESOR

Coordinador de Refinería

Colegiado No. 1247

Correo electrónico: jpquinonez@launion.com.gt

Juan Pedro Quiñonez Fernández
Ingeniero en Alimentos
Colegiado No. 1247



Guatemala, 02 de noviembre de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.034.2021.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **043-2020**, 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: **Julio Cordón Cardona**.
Identificado con número de carné: **3361615301904**.
Identificado con registro académico: **201504235**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

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

EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ EN LA FABRICACIÓN DE LICOR Y JARABE EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Juan Pedro Quiñonez Fernandez, profesional de la Ingeniería en Alimentos

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"

Julio David Vargas García
Ingeniero Químico

Julio David Vargas García
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Guatemala, 22 de noviembre de 2021
Ref. EIQ.270.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

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

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ EN LA FABRICACIÓN DE LICOR Y JARABE EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR** del(la) estudiante Julio Cordón Cardona, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Williams G. Álvarez Mejía M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo
WGAM/wgam



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 708-2021

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: **VALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR Y TURBIDEZ EN LA FABRICACIÓN DE LICOR Y JARABE EN UNA REFINERÍA DE AZÚCAR**, presentado por el estudiante universitario: **Julio Cerdón Cardona**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida, inteligencia y fuerza necesaria para cumplir esta meta.
Mis padres	Julio Cordón y Marisa Cardona, por ser un gran ejemplo a seguir, por su amor y apoyo incondicional y ayudarme a ser quien soy, actualmente.
Mis hermanas	Marissa y Fernanda Cordón, por siempre ser un gran apoyo y ayudarme en los momentos difíciles.
Marjeory Micheo	Por ser una gran persona en mi vida y ayudarme a mejorar cada día, por su apoyo a lo largo del tiempo en la universidad, su inmenso amor y por ser mi fortaleza en los momentos difíciles.
Familia en general	Por darme apoyo incondicional y amor. A todos mis tíos y primos.
Amigos de estudio de la Facultad	Por todos los buenos momentos que vivimos, por el inmenso apoyo y amor, sin ustedes nada hubiera sido igual.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme las puertas y darme la oportunidad de crecer académicamente.
Facultad de Ingeniería	Por formarme en mi carrera profesional.
Escuela de Ingeniería Química	Por enseñarme a amar la carrera de Ingeniería Química.
Mi asesor	Juan Pedro Quiñonez, por ser un gran profesional, enseñarme sus conocimientos y toda la amistad brindada hacia mi persona.
Ingenio La Unión	Por abrirme sus puertas, el desarrollar la investigación y todo el apoyo brindado.
Amigos ILU	Por sus enseñanzas, amistad y cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Caña de azúcar	5
2.2. Proceso de fabricación de azúcar	7
2.2.1. Recepción y manejo de la caña en patio	7
2.2.2. Preparación de la caña de azúcar	7
2.2.3. Molienda	8
2.2.4. Clarificación de jugo de caña.....	9
2.2.4.1. Sulfitación	9
2.2.4.2. Carbonatación	11
2.2.4.3. Fosfatación	11
2.2.5. Evaporación.....	12
2.2.6. Clarificación de meladura	13
2.2.7. Cristalización	14
2.2.8. Centrifugación.....	16
2.2.9. Secado	16

2.3.	Proceso de refinación de azúcar	17
2.3.1.	Fundición.....	17
2.3.2.	Clarificación.....	17
2.3.2.1.	Fosflotación.....	18
2.3.3.	Filtración.....	18
2.3.4.	Cristalización	19
2.3.5.	Centrifugación	20
2.3.6.	Secado y enfriado	21
2.3.7.	Almacenamiento.....	22
2.4.	Colorantes y formación de color en el proceso	22
2.4.1.	Características de diferentes grupos de colorantes.....	23
2.4.1.1.	Caramelización.....	23
2.4.1.2.	HADP	24
2.4.1.3.	Melanoidinas	24
2.4.1.4.	Melaninas.....	25
2.4.1.5.	Colorantes de caña de azúcar.....	25
2.4.2.	Formación de color en la refinería	25
2.4.3.	Decoloración	26
2.4.3.1.	Decoloración por carbón activo	26
2.4.3.2.	Decoloración por intercambio iónico	27
2.4.3.3.	Mecanismos de eliminación de color con resinas de intercambio iónico	28
3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1.	Variables	31
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	32
3.3.	Recursos humanos disponibles	32

3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería y equipo).....	33
3.4.1.	Reactivos	33
3.4.2.	Instrumentos de medición.....	33
3.4.3.	Equipo auxiliar	33
3.4.4.	Cristalería	34
3.4.5.	Equipo de protección personal	34
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	34
3.5.1.	Análisis de medición de color	35
3.5.2.	Análisis de medición de turbidez	36
3.5.3.	Porcentaje de remoción de color	37
3.5.4.	Porcentaje de remoción de turbidez	38
3.6.	Recolección y ordenamiento de datos.....	38
3.6.1.	Determinación de remoción de color y turbidez del licor y jarabe en condiciones estándar y con un aumento en la dosificación de adsorbente	38
3.6.2.	Determinación de remoción de color y turbidez del licor y jarabe a nivel laboratorio	39
3.6.3.	Determinación de remoción de color y turbidez del licor a nivel industrial	40
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	41
3.8.	Análisis estadístico	42
3.8.1.	Media aritmética	43
3.8.2.	Varianza	43
3.9.	Plan de análisis de los resultados	43
3.10.	Análisis de un diseño factorial	43
3.11.	ANOVA.....	44
3.12.	Programas para utilizar en el análisis de datos	44

4.	RESULTADOS.....	45
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	59
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	APÉNDICES.....	75
	ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Compuestos químicos de la caña de azúcar.....	6
2.	Configuración de las mazas en un molino.....	8
3.	Diagrama de torre de sulfitación	10
4.	Reacciones involucradas en el proceso de formación de fosfatos de calcio	11
5.	Configuración de evaporación múltiple efecto de cuatro efectos en paralelo y contracorriente	13
6.	Esquema de cocimiento de tres masas.....	15
7.	Número de tratamientos y repeticiones para la evaluación de la remoción de color y turbidez del jarabe con adsorbente	42
8.	Comportamiento del porcentaje de remoción de color del jarabe en función de la dosis de adsorbente, dosis de tierra y tipo de adsorbente a nivel laboratorio	45
9.	Comportamiento del porcentaje de remoción de turbidez del jarabe en función de la dosis de adsorbente, dosis de tierra y tipo de adsorbente a nivel laboratorio	46
10.	Comportamiento de los efectos principales en el porcentaje de remoción de color, en la prueba a nivel laboratorio.....	47
11.	Comportamiento de los efectos principales en el porcentaje de remoción de turbidez, en la prueba a nivel laboratorio.....	48
12.	Análisis de varianza del porcentaje de remoción de color del diseño factorial, a nivel laboratorio	48

13.	Análisis de varianza del porcentaje de remoción de turbidez del diseño factorial, a nivel laboratorio.....	49
14.	Comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor fundido con azúcar crudo en función del tiempo, a nivel laboratorio.....	49
15.	Comportamiento del color del azúcar y disolución en el periodo de refinación de azúcar crudo en función del tiempo.....	50
16.	Comportamiento del color del licor clarificado y licor pulido en el periodo de refinación de azúcar crudo en función del tiempo.....	51
17.	Comportamiento del color en la disolución para los tres arreglos de tratamiento de licor	52
18.	Comportamiento del color del licor clarificado para el tratamiento de clarificación y clarificación con adsorbente S-451.....	52
19.	Comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor clarificado para el tratamiento de clarificación y clarificación con adsorbente S-451	53
20.	Comportamiento del porcentaje de remoción de turbidez del licor clarificado para el tratamiento de clarificación y clarificación con adsorbente S-451	53
21.	Comportamiento del color del licor pulido para los tres sistemas de tratamiento de licor	54
22.	Comportamiento de la turbidez del licor pulido para los tres sistemas de tratamiento de licor	54
23.	Comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor pulido, para los tres sistemas de tratamiento de licor.....	55
24.	Comportamiento del porcentaje de remoción de turbidez del licor pulido, para los tres sistemas de tratamiento de licor	55
25.	Comportamiento del porcentaje de remoción total de color en función de los días del periodo postzafra	56

26.	Comportamiento del porcentaje de remoción total de turbidez en función de los días del periodo postzafra	57
-----	--	----

TABLAS

I.	Clasificación de colorantes.....	23
II.	Variables de control en la refinería.....	31
III.	Condiciones estándar de operación en refinería	39
IV.	Proporción de los materiales para los análisis a nivel laboratorio	39
V.	Condiciones de refinería para los análisis a nivel industrial	40
VI.	Medición del porcentaje de remoción de color y turbidez en el jarabe en función de la dosis de adsorbente, dosis de tierra y tipo de adsorbente, a nivel laboratorio	41
VII.	Descripción de sistemas de tratamiento en el periodo de refinación de azúcar crudo	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ABS	Absorbancia
AC	Ancho de celda
cm	Centímetro
Color 1	Color de la muestra antes de filtrar
Color 2	Color de la muestra después de filtrar
ρ	Densidad
°C	Grado Celsius
Bx	Grados brix
g	gramo
H₁	Hipótesis alterna
H₀	Hipótesis nula
kg	Kilogramo
m	Metro
ppm	Parte por millón
%	Porcentaje
IU	Unidades ICUMSA

GLOSARIO

Adsorción	Fenómeno físico donde un compuesto en fase gaseosa o líquida entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a su superficie.
Aterronamiento	Representa un problema que dificulta el manejo del azúcar almacenado, porque disminuye su fluidez debido a la formación de terrones, complicando el manejo y elevando los costos de operación.
Azúcar	Nombre común de la sacarosa, disacárido obtenido, principalmente de la caña o de la remolacha.
Báscula romana	Instrumento de medición que se utiliza para obtener el valor de la masa de un objeto.
Carbón activado	Conjunto de carbones que se caracterizan por su capacidad de adsorción.
Cruz de Cobenze	Determina la concentración requerida de dos soluciones o mezclas diferentes de concentración conocida para obtener una mezcla a una concentración deseada.
Decoloración	Remoción de coloides que aportan color por medio de tratamientos de adsorción y filtración.

Diafiltración	Es un caso específico de la filtración por membranas, donde el concentrado o retenido es diluido en agua y recirculado en el proceso, de modo tal que se reduzca la concentración de los componentes solubles del permeado y aumente la concentración en el retenido.
GAC	Carbono granular activado.
HADP	Productos de la degradación alcalina de la hexosa, la descomposición de la sacarosa, sucede bajo condiciones ácidas y temperaturas altas, hidrolizando y formando azúcares reductores.
Jarabe	Producto proveniente de la separación sólido líquido en las centrífugas continuas.
Licor clarificado	Producto resultante del tratamiento de clarificación del licor fundido.
Licor fundido	Azúcar proveniente de la fábrica que se funde con agua caliente para su refinación.
Licor pulido	Producto resultante del tratamiento de filtración por medio de un filtro pulidor del licor fundido.
PAC	Carbón activado en polvo.

Semillamiento

Acto de aplicar la semilla que consiste en una mezcla de alcohol isopropílico y azúcar, para generar que los granos de azúcar crezcan de tamaño uniforme.

Tierra diatomácea

Mineral extraído de la diatomita utilizada como medio filtrante en sistemas de filtración para la retención de carbón.

RESUMEN

Para el desarrollo de la investigación se realizaron dos experimentos, el primero con un diseño factorial de tres factores y el segundo con el mejor arreglo del diseño factorial. En el primer experimento se evaluó la dosis de adsorbente, la dosis de tierra y el tipo de adsorbente. En el segundo se evaluó la dosis de adsorbente, la dosis de tierra y el tipo de adsorbente a diferentes tiempos de residencia.

A nivel industrial se evaluó el comportamiento del área de tratamiento de licor durante el periodo postzafra, donde se refinó azúcar a partir de azúcar crudo con alta carga de color. Normalmente la que se refina es azúcar VHP (*Very High Pol*) que posee un color alrededor de 250–350 IU, mientras que el color del azúcar crudo se encuentra, incluso arriba de 1 000 IU, es por esto, que conforme el color del azúcar crudo fue aumentando, se aplicaron los siguientes sistemas de tratamientos de decoloración al licor fundido, operación estándar, operación con clarificación y operación con Ecosorb S-451, que se representan gráficamente en el apéndice de la investigación.

Por último, se espera que el comportamiento del porcentaje de remoción de color del jarabe aumente de forma lineal, cuando se le aplique una mayor dosificación de adsorbente. El porcentaje de remoción de turbidez se espera que aumente cuando se le aplica una mayor dosis de tierra diatomácea debido a que se genera una precapa para filtrar el jarabe y retirar impurezas. Por medio del diseño factorial y los análisis de varianza de tres factores, se espera obtener cuáles son significativos estadísticamente en el experimento.

OBJETIVOS

General

Evaluar el comportamiento del porcentaje de remoción de color y turbidez del licor y jarabe por medio del método de adsorción y clarificación, utilizando el método ICUMSA GS2/3-10 2011 y GS2/3-18 2013 para la medición de color y turbidez.

Específicos

1. Analizar por medio de un diseño factorial a nivel laboratorio en un sistema de contacto continuo, la influencia de dosis de adsorbente, dosis de tierra diatomácea y tipo de adsorbente en el porcentaje de remoción color y turbidez del jarabe.
2. Determinar el comportamiento del porcentaje de remoción de color y turbidez del jarabe a nivel laboratorio en función de la dosis de adsorbente, a diferentes dosis de tierra y tipo de adsorbente.
3. Determinar el porcentaje de remoción de color y turbidez del licor fundido en función del tiempo de residencia, utilizando el mejor arreglo factorial a nivel laboratorio.
4. Comparar el porcentaje de remoción de color y turbidez a nivel industrial por medio de los tres diferentes sistemas de tratamiento de licor, durante el periodo de refinación de azúcar crudo.

5. Determinar el comportamiento del color y la turbidez a nivel industrial en las áreas de tratamiento de licor, abarcando las etapas de recepción, fundición, clarificación y filtración, en función del tiempo, durante el periodo de refinación de azúcar crudo.

6. Determinar el comportamiento del porcentaje de remoción total de color y turbidez en función del tiempo, considerando el color inicial de azúcar crudo al color que se alcanzó al finalizar la etapa de filtración, durante el periodo de refinación.

HIPÓTESIS

Hipótesis conceptual

- El porcentaje de remoción de color de jarabe es directamente proporcional a la dosis de adsorbente, debido a que a mayor dosis de adsorbente existe mayor área de transferencia de masa.
- El porcentaje de remoción de color de licor es directamente proporcional al tiempo debido a que, a mayor tiempo de contacto existe una mayor cantidad de transferencia de masa por intercambio iónico y adsorción física.

Hipótesis estadística

- Hipótesis nula

H0: Las medias del porcentaje de remoción de color del licor a nivel laboratorio no varían significativamente en función del tiempo de contacto.

H0: Las medias del porcentaje de remoción de turbidez del licor a nivel laboratorio no varían significativamente en función del tiempo de contacto.

H0: Las medias del porcentaje de remoción de color del jarabe a nivel laboratorio, no varían significativamente en función de las variables del diseño factorial.

H0: Las medias del porcentaje de remoción de turbidez del jarabe a nivel laboratorio, no varían significativamente en función de las variables del diseño factorial.

H0: Las medias del porcentaje de remoción de color del licor, no varían significativamente en función del sistema de tratamiento de licor de la refinería.

H0: Las medias del porcentaje de remoción de turbidez del licor, no varían significativamente en función del sistema de tratamiento de licor de la refinería.

Hipótesis alterna

H1: Las medias del porcentaje de remoción del color del licor a nivel laboratorio varían significativamente en función del tiempo de contacto.

H1: Las medias del porcentaje de remoción de la turbidez del licor a nivel laboratorio varían significativamente en función del tiempo de contacto.

H1: Las medias del porcentaje de remoción de color del jarabe a nivel laboratorio varían significativamente en función de las variables del diseño factorial.

H1: Las medias del porcentaje de remoción de turbidez del jarabe a nivel laboratorio varían significativamente en función de las variables del diseño factorial.

H1: Las medias del porcentaje de remoción de color del licor varían significativamente en función del sistema de tratamiento de licor de la refinería.

H1: Las medias del porcentaje de remoción de turbidez del licor varían significativamente en función del sistema de tratamiento de licor de la refinería.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria azucarera es uno de los principales pilares en la economía de la agroindustria en Guatemala. Los cuatro principales productos agroindustriales con mayor exportación son el azúcar y sus derivados, banano, café y cardamomo.

El trabajo de investigación expone que, la caña de azúcar consiste, principalmente, en *Saccharum officinarum* y otras especies de *Saccharum*, de igual forma la caña de azúcar es cultivada en zonas calurosas y húmedas, obtienen tamaños de 2 a 5 m de altura y entre 2 a 5 cm de diámetro, estos varían según la disponibilidad de agua, tipo de clima, tiempo de crecimiento y en las condiciones que el cultivo se centra.

El enfoque del trabajo de graduación es la evaluación del porcentaje de remoción de color y turbidez en la fabricación de licor y jarabe en una refinería de azúcar. Además de la evaluación del comportamiento del porcentaje de remoción de color y turbidez del licor y jarabe por medio del método de adsorción y clarificación, usando el método ICUMSA GS2/3-10 2011 y GS2/3-18 2013 para la medición de color y turbidez.

El trabajo se estructura en cinco capítulos, el primero presenta los antecedentes de estudios de la decoloración de la melaza, licor y jugo de caña. En el capítulo dos, se desarrolla el marco teórico que expone desde el proceso de fabricación de azúcar hasta los colorantes y formación del color. El capítulo tres abarca el marco metodológico, exponiendo, desde las variables de la presente investigación hasta el análisis estadístico. Seguidamente, el capítulo

cuatro, describe los resultados de la investigación; y el cinco, se expone la interpretación de los resultados. Finaliza la investigación con las respectivas conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas, que fueron la guía del trabajo.

1. ANTECEDENTES

Se han realizado estudios con base en distintos temas relacionados con el color en el azúcar.

En abril de 2019, se publicó un artículo realizado por un grupo de investigadores, Zahra Teimoui, Amin Salem & Shiva Salem; titulado *Microwave-assisted for clean and rapid fabrication of highly efficient magnetically separable activated carbon from agriculture shells for low grade industrial corn syrup decoloration: A novel strategy for impregnation of ternary catalytic composite*. En el artículo en mención se determinó, mediante una cuidadosa aplicación de contenidos de $ZnCl_2$, $FeCl_3$ y $FeCl_2$, en la impregnación catalítica de conchas agrícolas, es posible obtener un carbón activado magnético con una alta eficiencia de decoloración para la purificación de jarabe de maíz.

En septiembre de 2018, se publicó un artículo realizado por un grupo de investigadores Shiwei Jianquan, Qiangjian Xiufu & Shichao Yinhua, titulado *Decoloration of Molasses by Ultrafiltration and Nanofiltration: Unraveling the Mechanisms of High Sucrose Retention*. El objetivo fue investigar la decoloración de la melaza de caña a través de membranas de ultrafiltración y nanofiltración por medio de una diafiltración de volumen constante. A través de este procedimiento se intentó descubrir el mecanismo de alta retención de sacarosa por un estudio sistemático sobre el efecto de los componentes de la melaza y los parámetros de funcionamiento. En dicho artículo se determinó que para las membranas de polietersulfona la capa densa de incrustaciones fue fácil de formar, lo que permitió mejorar en gran medida el color de la melaza de caña.

En abril de 2018, se publicó un artículo realizado por un grupo de investigadores liderados por Shiwei Jianquan, Yuanyuan Benkun & Xiangrong Yinhua titulado *Decoloration of sugarcane molasses by tight ultrafiltration: Filtration behavior and fouling control*. El objetivo fue estudiar la decoloración por ultrafiltración de la melaza de caña a través de un módulo de membrana enrollada en espiral. Se determinó que por medio de un proceso estricto de ultrafiltración se lograba la decoloración de melaza de caña de azúcar con remoción de color y turbidez de 77 a 89 % y 100 %, respectivamente.

En diciembre de 2016, se publicó un artículo realizado por un grupo de investigadores Mahshad Nasabi, Mohsen Labbafi & Mohammadreza Khanmohammadi titulado *Optimizing nano TiO₂ assisted decoloration process for industrial date syrup utilizing response surface methodology*. En donde se determinó que la nanopartícula TiO₂ es capaz de realizar el proceso de decoloración en jarabe, obteniendo los mejores resultados al trabajar con un brix de 19,066 y un contenido de TiO₂ de 3,81 g/l.

En agosto de 2016, se publicó un artículo realizado por un grupo de investigadores Yingying Shi, Tingting Liu, Yun Han, Xiufang Zhu, Xiaojuan Zhao, Xijun Ma, Dingyun Jiang & Qianghua Zhang titulado *An efficient method for decoloration of polysaccharides from the sprouts of Toona sinensis (A. Juss.) Roem by anion exchange macroporous resins*. En este se determinó que los parámetros óptimos de decoloración de los polisacáridos de los brotes de *Toona sinensis*, se obtuvieron mediante experimentos de factor único de la siguiente manera: temperatura de 45 °C, concentración inicial de la muestra de 30 mg / ml, valor de pH de 8,50, y tiempo de decoloración estática de 90 min. En estas condiciones el índice de decoloración, así como el de recuperación PSTS y el coeficiente de selectividad fueron $91,94 \pm 1,23$ %, $90,05 \pm 2,35$ % y $10,92 \pm 0,63$, respectivamente.

En junio de 2016, Miguel Compadre Guerra publicó un trabajo titulado *Decoloración y regeneración de resinas de intercambio iónico utilizadas en el refinado de la caña de azúcar: optimización y modelado*. Su objetivo consistió en estudiar las condiciones de operación en la etapa de regeneración de resinas de intercambio iónico saturadas con colorantes del jarabe proveniente del azúcar refinado, para optimizar las condiciones del proceso y prolongar la vida útil de las resinas. Se determinó que un aumento de la carga de color durante la decoloración provoca una disminución de la eficacia de regeneración, así también, que un aumento en el tiempo de regeneración de 40 a 50 minutos genera un incremento en la liberación de colorantes retenidos.

En septiembre de 2014, Pavel Enrique Roulet Santa Cruz realizó una investigación titulada *Evaluación del porcentaje de remoción de color y turbidez de un clarificador tipo Talofloc en una refinería de azúcar*. Su objetivo fue evaluar el porcentaje de remoción de color y turbidez en condiciones estándar y compararlas en condiciones de recirculación de jarabe en un clarificador tipo Talofloc. Se determinó que la recirculación de jarabe en la estación de clarificación genera una disminución en la remoción de color y turbidez alrededor de un 5 %.

En mayo de 2014, se publicó un artículo realizado por un grupo de investigadores, Óscar Alfaro, Ricardo García y José Arrué, titulado *La generación de color en el proceso de producción de azúcar: proceso fabril*. El objetivo fue determinar el comportamiento de los principales precursores de color y otros factores relacionados con la generación de color en el proceso de producción de azúcar blanco y crudo. Los resultados indicaron que los compuestos tipo fenólicos persisten en todo el proceso de fabricación y en todos los distintos tipos de azúcar a excepción del azúcar refinado. También se determinó que el principal mecanismo de generación de color en la etapa de cristalización, son las

reacciones de Maillard debido a que se observó un considerable aumento en la relación fructosa glucosa, en donde la reacción de Maillard tiene un mayor consumo de glucosa, también se observó una disminución del contenido de aminoácidos, confirmando así las reacciones de Maillard.

En enero de 2013, José Emilio Zapparolli Zetina realizó una investigación titulada *Determinación de la dosificación óptima de carbón activado y tierra diatomácea, para la remoción de color de licores de azúcar derretida en la fabricación de azúcar refino*. El objetivo fue establecer la concentración óptima de carbón y tierra para la remoción de color en el licor fundido. Se determinó que el mayor porcentaje de decoloración se obtuvo con una dosis de 0,08 g tierra / saco azúcar y 0,04 g carbón/saco de azúcar.

En junio de 2012, un grupo de investigadores, Solís Fuentes, Morales Téllez, Durán de Bazúa y Ayala Tirado, publicaron un artículo en la revista Tecnología, Ciencia, Educación, titulado *Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña*. El objetivo fue elaborar carbón activado a partir de la cáscara de naranja, cascarilla de café y bagazo de caña. Se determinó mediante la cinética de adsorción de color del jugo de caña, que el carbón activado a partir de bagazo remueve un 80 % de compuestos cromóforos.

En 2001, el *Sugar Milling Research Institute* de la Universidad de Natal de Sudáfrica, publicó un artículo titulado *The chemistry of colour removal: a processing perspective*. El objetivo consistió en revisar los mecanismos de remoción de color comúnmente utilizados en la industria. Se determinó la importancia de conocer el tipo de color presente a remover para establecer qué mecanismo de remoción de color se debe utilizar.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Caña de azúcar

La mayoría de los autores coinciden en que el origen de la caña de azúcar fue en Nueva Guinea, alrededor de los años 755 d. C. “Llegó a las islas Canarias desde donde Colón la llevó al Nuevo Mundo en el año 1493, desde entonces, gracias a esto, su cultivo se extendió por todo Centro y Sudamérica”¹.

La caña de azúcar es un híbrido complejo de varias especies, principalmente derivadas del *Saccharum officinarum* y otras especies de *Saccharum*. Significativamente, la producción de caña varía de un área a otra, debido a los factores de disponibilidad del agua, climáticos, prácticas de cultivo y la duración del periodo de crecimiento. “Comúnmente la caña de azúcar se cultiva en zonas calurosas y húmedas, la caña logra tamaños entre 2-5 m de altura y entre 2-5 cm de diámetro”².

Las diversidades de caña están constituidas por las diferencias de alturas de sus tallos y su color. “La variedad de caña de azúcar testigo en Guatemala es la CP72-2086, esta variedad es la que más se cultiva en Guatemala, la variedad CP72-2086 cuenta con un tallo semierecto con una cantidad de follaje

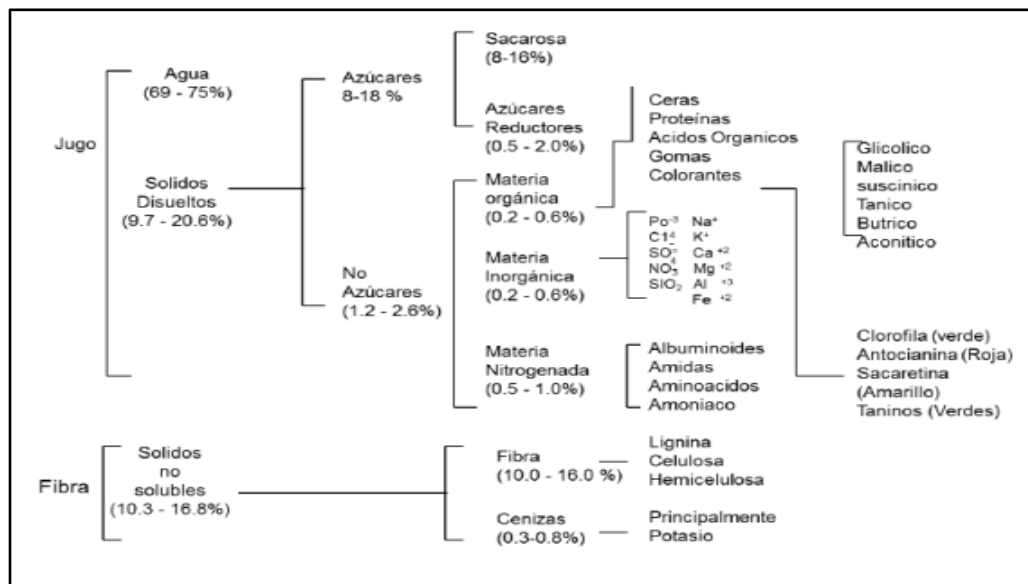
¹ ESCUDERO JARAMILLO, Fred Miguel; DIESTRA GALARRETA, Alex Gabriel. *Influencia de la concentración de dos tipos de floculantes en el color y turbidez del jugo clarificado en agroindustrias San Jacinto S. A.* p. 16.

² REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar.* p. 37.

intermedio”³. Tiene una forma de crecimiento cilíndrico un poco curvado al costado de la yema y el color del entrenudo es verde amarillento.

Un gran número de factores afecta la composición de la caña, entre ellos se encuentran, la edad de la caña, las condiciones del cultivo y crecimiento, el uso de madurantes y enfermedades. El contenido de sacarosa en la caña de azúcar puede variar entre 8 y 17 g/ 100 g de caña. El contenido de fibra puede estar entre 10 y 18 g/ 100 g de caña. En una caña de buena calidad, la pureza del jugo está alrededor de 90 % y los sólidos disueltos varían entre 10 y 19 g/100 g de caña. También posee alrededor de 70 % de agua. En la figura 1 se presentan los compuestos químicos de la caña de azúcar.

Figura 1. **Compuestos químicos de la caña de azúcar**



Fuente: MATÍAS CHÁVEZ, María Fernanda. *Evaluación de la eficiencia en una refinera de azúcar al implementar un sistema de evaporación de licor, CENGICAÑA*. p. 4.

³ OROZCO, Héctor; BUC, Rafael. *Selección de variedades cg03 y cg05 para uso comercial en la agroindustria azucarera guatemalteca*. p. 27.

2.2. Proceso de fabricación de azúcar

A continuación, se describe el procedimiento del proceso de fabricación de azúcar cuando se recibe la caña de azúcar en fábrica.

2.2.1. Recepción y manejo de la caña en patio

Con la recepción de la caña inicia el proceso industrial, tomando en cuenta los primeros dos subprocesos que se realizan. El pesaje consiste en determinar el peso de la caña que está ingresando a la fábrica por medio de la diferencia entre el peso del camión y de las jaulas, que contienen la caña y la tara del camión y las jaulas vacías. Adicional se realiza un muestreo de la caña que ingresa por medio de un equipo *core sampler*, de esta manera se obtienen los resultados de laboratorio para conocer la calidad de la caña que entra a la fábrica.

Luego se descarga la caña en las mesas donde se limpia con cortinas de aire para evitar el uso de agua, porque puede generar el arrastre de sólidos de la caña y también disminuir la contaminación ambiental que este proceso genera.

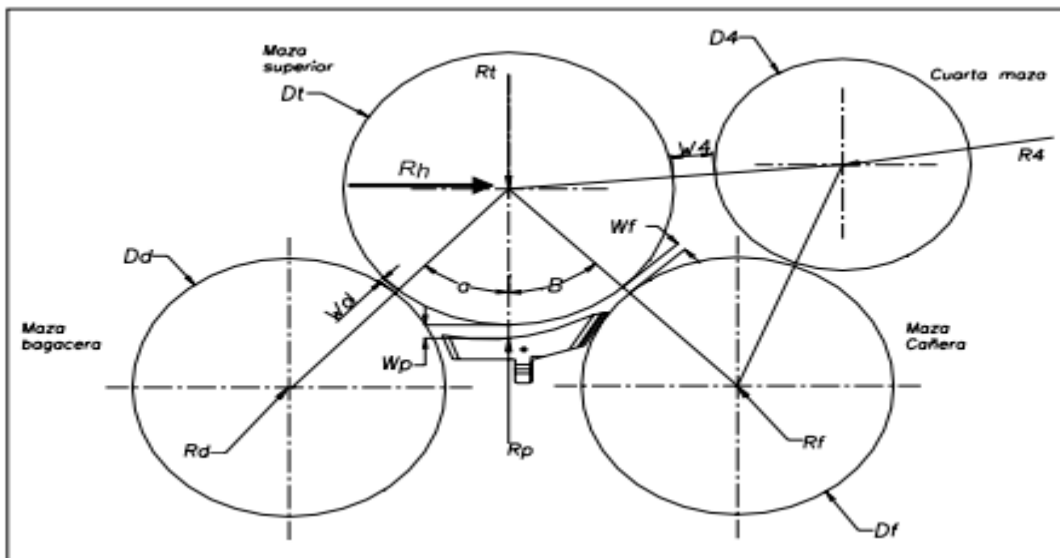
2.2.2. Preparación de la caña de azúcar

Con el fin de mejorar la imbibición, facilitar la extracción de jugo y reducir las pérdidas de sacarosa en el bagazo, la caña de azúcar pasa por un proceso de disminución del tamaño gracias a unas prepicadoras y picadoras, las cuales están provistas con cuchillas giratorias. Luego se conducen a un proceso de desintegración del tejido de la caña por medio de las desfibradoras, las cuales están provistas de machetes o martillos oscilantes sin filo.

2.2.3. Molienda

El objetivo de la molienda es lograr extraer y separar el jugo que tiene sacarosa del resto de la caña. La caña picada y desfibrada ingresa al tándem de molinos que están compuestos en arreglos de cuatro mazas, maza cañera, maza superior, maza bagacera y cuarta maza; esta cuarta maza se integra al molino junto con un alimentador donelly con el objetivo de permitir hacer *bypass* a cualquier molino cuando se requiera de reparación.

Figura 2. Configuración de las mazas en un molino



Fuente: MELGAR, Mario. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 24.

Los molinos, mediante presión, extraen el jugo de caña y el material sólido conocido como bagazo, es utilizado como combustible para las calderas y así generar el vapor que se utiliza en la fábrica. Para extraer la mayor cantidad de jugo de caña se utiliza la imbibición compuesta, consiste en añadir agua caliente 70 °C-75 °C al último molino y recircular el jugo de este molino al molino anterior;

así sucesivamente hasta llegar al segundo molino. El bagazo obtenido en el último molino debe tener un pol menor al 2 % para asegurar una buena extracción de sacarosa del bagazo.

2.2.4. Clarificación de jugo de caña

El jugo proveniente de los molinos contiene una gran cantidad de impurezas que afectan el proceso de evaporación si no se eliminan, por esto se debe de realizar un tratamiento previo. “El tratamiento utilizando cal como lechada de cal y luego mezclarlo con jugo para obtener el sacarato continúa siendo el método más común de clarificación conocido como defecación”⁴.

El objetivo de la clarificación consiste en formar *flocs* que capturen el material suspendido para aumentar su peso molecular y así pueda sedimentar. La velocidad de sedimentación dependerá de las condiciones como la temperatura, pH, preparación del floculante y adición de cal. Algunas variaciones de clarificación por defecación simple han buscado mejorar la remoción de color y turbidez del jugo clarificado, entre ellas se encuentran, las que se describen en el siguiente apartado.

2.2.4.1. Sulfitación

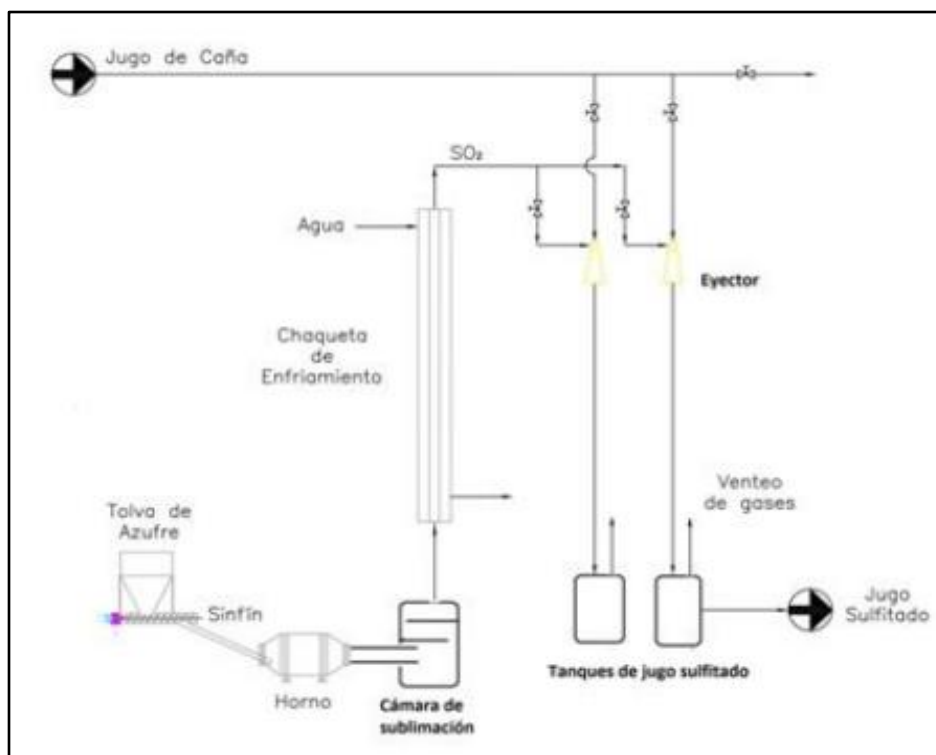
Este es el proceso comúnmente utilizado para mejorar el tratamiento por defecación básica, consiste en adicionar dióxido de azufre en una torre de sulfitación de contacto en contracorriente con el jugo de caña para eliminar cierta cantidad de materia colorante. La sulfitación, también ayuda a reducir a compuestos incoloros, a las sales férricas que se han producido por el contacto con los molinos.

⁴ REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 257.

En los quemadores de azufre elemental se forma dióxido de azufre (SO_2) el cual, después de estar en contacto con el jugo de caña produce ácido sulfuroso (H_2SO_3) por hidrólisis. Este ácido sulfuroso se puede disociar en (H^+) y el anión sulfito (SO_3^{2-}).

Este sulfito se considera como “agente reductor, por medio de la desactivación de los sistemas conjugados que adsorben la radiación electromagnética en la región del espectro visible”⁵. Por lo tanto, estos sulfitos permiten reducir los pigmentos y colorantes, eliminando precursores de color.

Figura 3. Diagrama de torre de sulfitación



Fuente: HUGOT, Emile. *Manual para ingenieros azucareros*. p.11.

⁵ MELGAR, Mario. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 334.

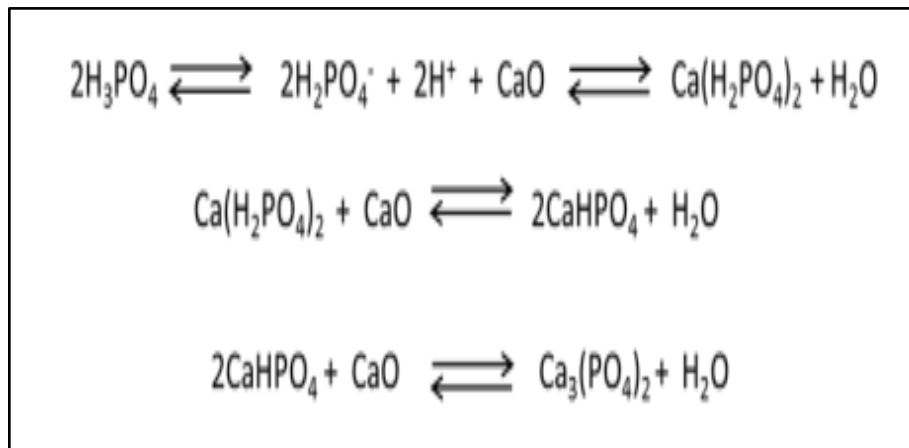
2.2.4.2. Carbonatación

“En este tratamiento se da la precipitación de calcio por medio de la adición de cal y un gas que contenga dióxido de carbono”⁶. Los cristales de carbonato de calcio ayudan a remover impurezas mediante la inclusión de los compuestos cromóforos en la masa cristalina.

2.2.4.3. Fosfatación

Consiste en “agregar cantidades de ácido fosfórico junto con la cal, para mejorar la formación de fosfatos de calcio con el fin de remover impurezas y mejorar la sedimentación”⁷. Las reacciones involucradas en la formación de fosfatos de calcio se presentan en la figura 4.

Figura 4. **Reacciones involucradas en el proceso de formación de fosfatos de calcio**



Fuente: MELGAR, Mario. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 34.

⁶ HUGOT, Emile. *Handbook of cane sugar*. p. 281.

⁷ REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 393.

2.2.5. Evaporación

El jugo clarificado que ingresa a los evaporadores se encuentra alrededor de 13-15 brix y se desea llevar a una concentración de 62 a 65 brix. El objetivo de la evaporación consiste en concentrar el jugo de caña evaporando el agua que posee hasta llegar a la concentración deseada. Gracias a las investigaciones realizadas por Norbert Rillieux en Luisiana se desarrolló la tecnología de evaporación de múltiple efecto que actualmente se utiliza, prácticamente en todos los ingenios.

Esta tecnología ha aportado gran mejora en la economía de vapor debido a que según el primer principio de Rillieux En un evaporador múltiple efecto con N efectos, un kg de vapor evaporará N kg de agua, los evaporadores múltiple efecto consisten en un grupo de evaporadores en serie o en paralelo, que dependiendo del número de efectos tendrá su diferencia de presión en cada efecto⁸.

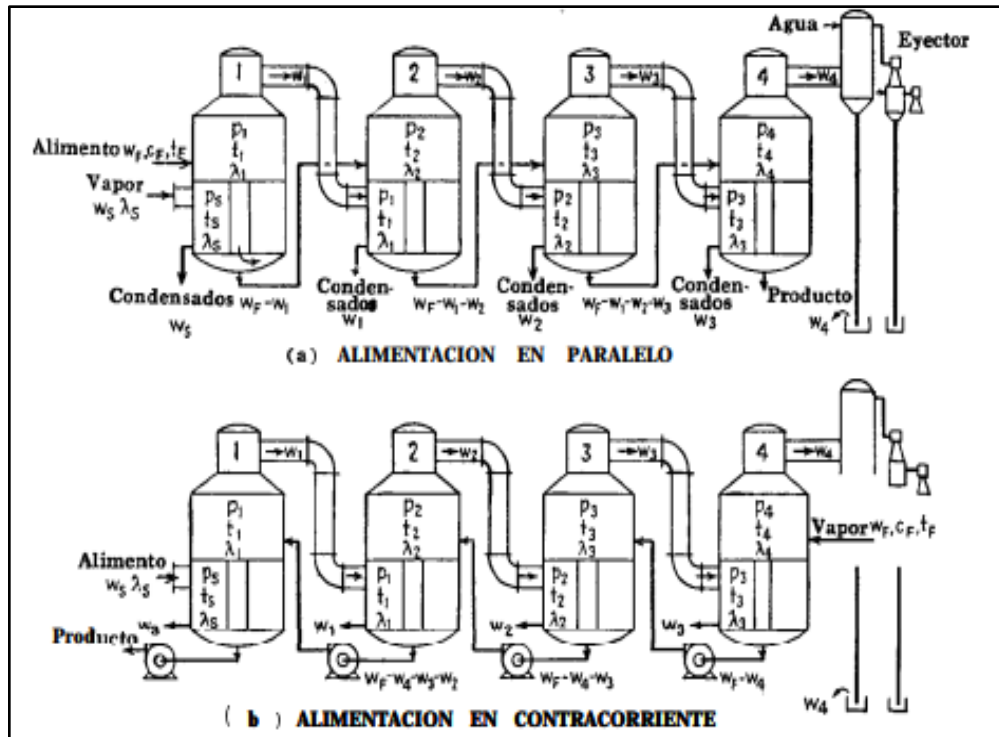
El vapor que ingresa a la calandria del primer efecto sirve para evaporar el agua del jugo de caña y produce vapor vegetal en el cuerpo del primer efecto y este se utiliza para calentar la calandria del segundo efecto, de esta forma sucesivamente se aprovecha el vapor vegetal producido en cada efecto para calentar la calandria del siguiente efecto.

El vapor que ingresa al primer efecto se considera vapor de escape que entra a una presión alrededor de 24-30 psig, el cuerpo del último efecto está al vacío con una presión entre 24 a 26 Hg. “El número óptimo de efectos para una evaporación de múltiple efecto en la industria azucarera es de 5 debido a que presenta una mejora considerable en la economía de vapor”⁹.

⁸ REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 318.

⁹ KERN, Donald. *Procesos de transferencia de calor*. p. 463.

Figura 5. Configuración de evaporación múltiple efecto de cuatro efectos en paralelo y contracorriente



Fuente: KERN, Donald. *Procesos de transferencia de calor*. p. 463.

2.2.6. Clarificación de meladura

Luego de haber llegado a la concentración deseada en los evaporadores, se obtiene la meladura, que es de consistencia más viscosa debido a su alta concentración de sólidos solubles. Debido a esta viscosidad el proceso de clarificación no puede ser por sedimentación, porque la viscosidad de la meladura es más alta que de los sólidos insolubles, es por esto que, se utiliza un proceso de flotación con aire disuelto para retirar las impurezas de la meladura, después de haber aplicado los químicos como sacarato de cal, floculante y ácido fosfórico.

2.2.7. Cristalización

La cristalización tiene lugar en los tachos que tienen una operación parecida a los evaporadores, la diferencia es que son de simple efecto y poseen un agitador para evitar que la cristalización se detenga. Una solución de sacarosa saturada se encuentra en equilibrio termodinámico con la fase sólida. Se debe aumentar su concentración por encima de su concentración correspondiente a una solución saturada para cristalizar el azúcar.

Si se sobrepasa la concentración de sacarosa a las condiciones de saturación, se llega a un punto de sobresaturación en donde el equilibrio termodinámico es inestable y para restaurar la estabilidad pueden ocurrir dos cosas: aumenta la cantidad de moléculas de sacarosa en la red de cristal, aumentando así el tamaño del cristal o se forma espontáneamente un nuevo cristal, también llamado como núcleo de cristalización¹⁰.

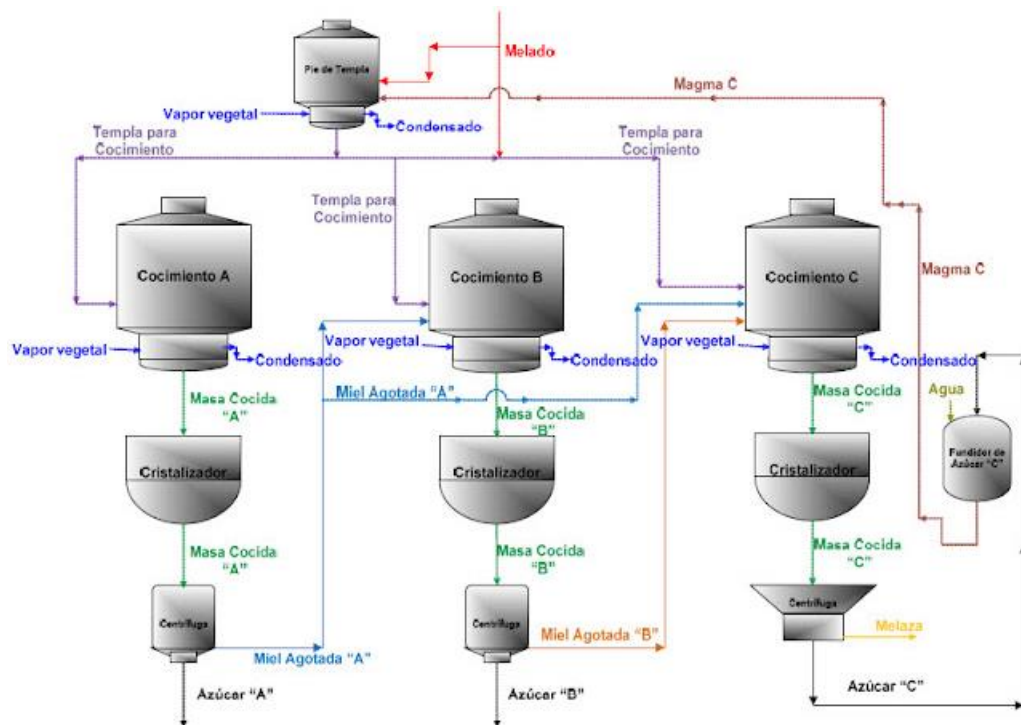
Debido a esta espontaneidad de formar cristales nuevos, se utiliza un proceso de semillamiento en el cual se le agregan cristales que ya fueron preparados y homogenizados, de tal forma que el tamaño de los granos es uniforme, de esta manera el equilibrio termodinámico se estabiliza por medio de la transferencia de masa de la sacarosa en la solución a los cristales de sacarosa, aumentando así y desarrollando su tamaño.

El proceso de cristalización es uno de los más habituales conocido como cristalización por tres cocimientos, en donde se tienen tres masas A, B y C. La masa A se forma a partir de la meladura y el magma de B (cristales desarrollados en la masa B), cuando la masa A alcanza su concentración ideal de sólidos se descarga y se dirige a centrífugas en donde se separa la miel A y los cristales de A, que ya es azúcar comercial.

¹⁰ MELGAR, Mario. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. p. 348.

La masa B se forma a partir de la miel A y el magma C (cristales desarrollados en la masa C); cuando la masa B alcanza su concentración ideal de sólidos, se descarga y se dirige a centrífugas en donde se separa la miel B y los cristales de B. Por último, la masa C se forma a partir de la miel B y la semilla (suspensión de granos de azúcar en alcohol isopropílico), cuando la masa C alcanza su concentración ideal de sólidos se dirigen a centrífugas en donde se separa la miel C conocida mejor como melaza y los cristales de C.

Figura 6. Esquema de cocimiento de tres masas



Fuente: GOLATO. Marcos. *Sistema de cocimiento tres templeas.*

<https://trapichosite.blogspot.com/2018/10/sistema-de-com>. Consulta: 5 de abril de 2020.

En el caso del Ingenio La Unión, la masa C se envía a unos cristalizadores verticales y horizontales en donde se realiza cristalización por enfriamiento, luego

de esto, la masa C se debe recalentar para enviarla a las centrifugas en donde se separan los cristales de C y la miel final (melaza).

2.2.8. Centrifugación

El objetivo de la centrifugación, así como se describió anteriormente, sirve para separar el sólido del líquido, en este caso el azúcar de la miel. Existen dos tipos de centrifugas las continuas y las discontinuas (lotes). En las centrifugas lotes se forma una torta de azúcar en la canasta que posee una malla para permitir el paso del líquido, el cual es drenado por una elevada fuerza centrífuga.

También se realiza un lavado con agua o vapor sobre los cristales para eliminar la película de líquido que queda en los intersticios de los cristales. En las centrifugas continuas, los cristales se desplazan ascendentemente sobre la malla inclinada para permitir el drenaje del líquido por medio de la fuerza centrífuga.

2.2.9. Secado

El contenido de humedad del azúcar no es el adecuado para su manipulación y almacenamiento al finalizar la separación en las centrifugas. El objetivo del secado busca reducir el contenido de humedad del azúcar hasta un valor lo bastante bajo para impedir que ocasione el deterioro por pérdidas de sacarosa o formación de color debido a la degradación microbiológica o química.

Actualmente, el equipo más utilizado para esta operación es el secador de tambor rotatorio, que consiste en un cilindro giratorio por el que se hace pasar el azúcar, al mismo tiempo que fluye una corriente de aire caliente en sentido contrario. El movimiento permite la adecuada exposición de los cristales al calor y, por ende, la disminución de la humedad.

Por lo regular, el azúcar sale de las centrífugas a una humedad de 0,56 % y se desea llevar a una humedad por debajo de 0,03 % para una adecuada manipulación y almacenamiento. El azúcar VHP (*Very High Pol*) que se envía a refinería no necesita pasar por el proceso de secado, este se envía directo de las centrífugas hacia un conductor de VHP, para luego abastecer la báscula romana de refinería.

2.3. Proceso de refinación de azúcar

El proceso de refinación de azúcar comienza desde la recepción de materia prima, que en este caso consiste en azúcar ya procesada en fábrica con un color alrededor de 250-350 IU.

2.3.1. Fundición

El objetivo de la fundición es disolver el azúcar que ingresa a refinería y producir un licor fundido a un brix y temperatura controlada. El azúcar que se alimenta en la refinería pasa por una báscula romana para controlar la cantidad de azúcar que ingresa a refinería y esta pasa a una tolva que dosifica el azúcar al tanque disolutor # 1 y este a su vez, rebalsa al tanque disolutor # 2. La disolución de azúcar se realiza con agua dulce, la cual es agua que ha sido utilizada para limpieza de tachos o filtros y que contiene cierta cantidad de sacarosa.

2.3.2. Clarificación

Debido a la densidad y viscosidad del licor fundido que se encuentra a concentraciones de azúcar relativamente altas, el método más común de clarificación es el de fosflotación, aunque este actualmente se encuentra

deshabilitado debido a que se utiliza otro proceso de tratamiento que consiste en decoloración por adsorción.

2.3.2.1. Fosflotación

En palabras de Peter Rein, en su obra *Ingeniería de la caña de azúcar* en el 2012, expuso que el proceso fosflotación se caracteriza porque remueve los flóculos de fosfato de calcio a través de la filtración o sedimentación. Con base en lo antes mencionado, este proceso consiste en el mecanismo de separación por flotación con aire disuelto, depende de la formación de flóculos generados después de adicionar ácido fosfórico y cal. Estos flóculos atrapan las impurezas y material coloidal fino que presenta el licor o jarabe, por medio del aire disuelto se elevan para retirarlas por un sistema mecánico.

2.3.3. Filtración

Es un proceso de separación de fases, consiste en fluir una solución por un medio poroso donde se retiene la mayor parte de los componentes sólidos de la solución. Luego de haber obtenido el licor fundido, este se envía a la primera filtración, que consiste en filtros de presión horizontales de placas verticales que ya poseen una precapa de tierra diatomácea, la cual ayuda a mejorar la filtración y se encuentra saturado de adsorbente que se aplica posteriormente en los filtros secundarios.

En esta primera filtración se espera obtener un 30 % de remoción de color. Luego el licor de primera filtración se envía a un tanque donde se dosifica tierra diatomácea como filtro adsorbente, esto con el objetivo de remover color por un método de adsorción e intercambio iónico.

El licor se mantiene de 30 a 40 minutos en los tanques de contacto continuo y luego se envía a los filtros secundarios, que ya poseen una precapa de tierra diatomácea, la tierra aparte de actuar como medio filtrante, también sirve para remover turbidez, el mayor porcentaje de turbidez se remueve por medio de la tierra diatomácea.

Los filtros secundarios al llegar a una presión máxima de 30 psig se cambia como filtro primario y debido a esto, los filtros primarios ya poseen una capa de tierra y adsorbente. Por último, el licor final que se obtuvo de la segunda filtración se envía a los filtros pulidores, los cuales consisten en filtros horizontales de cuatro cartuchos cilíndricos.

2.3.4. Cristalización

Los cocimientos en refinería son similares a los realizados en fábrica, con la diferencia que la pureza es más alta, lo que permite una ebullición y cristalización más rápida. Otra diferencia es que los diseños de los tachos de refinería tienen una mayor relación entre el área de calentamiento y el volumen. Comúnmente las refinerías trabajan con un sistema de agotamiento de mieles de cuatro templeas que en promedio alcanzan recuperaciones de cristales de aproximadamente 50 %.

Actualmente, la refinería cuenta con un sistema de una sola templea, en donde se alimenta con jarabe (subproducto de centrífugas) y licor pulido, el porcentaje de volumen que se utiliza de cada uno depende del color que estos poseen y por medio de la cruz de Cobenze se determina cuánto debe utilizarse de cada uno.

La mezcla se concentra hasta que alcanza su punto de sobresaturación y se le aplica la semilla para promover la formación de cristales, desarrollando el tamaño de estos por la alimentación de licor y jarabe. Cada tacho cuenta con una capacidad de 2 000 pies cúbicos y son de simple efecto.

2.3.5. Centrifugación

De igual forma que en fábrica, las centrífugas tienen como objetivo separar los cristales de azúcar de las mieles, en este caso del jarabe. Para realizar esta operación se cuenta con cuatro centrífugas lotes que reciben material del recibidor de templeas, que consiste en un cilindro horizontal rotatorio para evitar que se solidifique la masa cocida.

En las centrífugas lotes se forma una torta de azúcar en la canasta que posee una malla para permitir el paso del líquido, el cual es drenado por una elevada fuerza centrífuga, luego se le agregan los tiempos de lavado al cristal con el objetivo de eliminar la película de jarabe que queda en los intersticios del cristal.

Una vez separado el jarabe del cristal, se le agrega agua para reducir su brix y se envía a los tanques de jarabe en el área de cristalización. El azúcar refinado húmedo se envía al secador por medio de un transportador vibratorio.

2.3.6. Secado y enfriado

De igual forma que en fábrica, el azúcar refino no posee una humedad adecuada para su manipulación y almacenamiento, por eso se debe reducir su humedad por debajo de 0,04 % a una temperatura de 28-36 °C para evitar el deterioro del producto por el desarrollo de microorganismos y compactación o aterronamiento de los cristales.

El secador es rotatorio inclinado, donde en la primera mitad del cilindro se realiza el secado. El azúcar ingresa por la parte superior del secador y el aire seco ingresa por el otro extremo para obtener un flujo en contracorriente. El aire del ambiente ingresa a un calentador que está conectado a una tubería de vapor de 10 psig.

Luego, el azúcar caliente se enfría para llegar a la temperatura deseada de 28-36 °C, es por esto que el azúcar refino ingresa al segundo compartimiento del secador rotatorio en donde se pone en contacto en contraflujo con aire del ambiente enfriado.

Por último, el azúcar refino enfriado ingresa a un tamiz vibratorio Rotex con el objetivo de separar los cristales de tamaño muy pequeño que se denominan polvillo <180 micrones. El polvillo fluye a través de la malla del tamiz y los cristales a una báscula romana, es decir, una balanza que descarga directamente en una tolva de alimentación, donde se pesa la producción de azúcar refino y luego se envía al silo por un conductor neumático.

2.3.7. Almacenamiento

“El almacenamiento es vital en la calidad del azúcar refinado, las bodegas deben mantener un control de temperatura, humedad y presión dentro del mismo”¹¹. Para mantener estas condiciones controladas se cuenta con un silo en forma semiesférica denominado domo. En el domo, el azúcar refinado es conservado a granel.

El almacenamiento de azúcar refinado, por lo general, se realiza de cuatro diferentes formas:

- Bodegas de azúcar empacada en sacos.
- Silos a granel de almacenaje a corto plazo, de construcción cilíndrica alta, con capacidades típicas de 1 000 a 3 000 toneladas.
- Contenedores y tolvas de almacenamiento de corta duración.
- Silos a granel de almacenaje a largo plazo de baja relación de altura y ancho, con capacidades típicas de 20 000 a 80 000 toneladas.

2.4. Colorantes y formación de color en el proceso

La sacarosa de por sí, en estado puro es incolora, pero esta obtiene color debido a la inclusión de pequeñas cantidades de compuestos cromóforos. Los colorantes del azúcar son una mezcla de compuestos orgánicos que se pueden clasificar en dos tipos: los colorantes naturales, resultado de la planta de caña de azúcar y los generados en el procesamiento de la caña para obtener el azúcar.

¹¹ REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 550.

Tabla I. **Clasificación de colorantes**

COLORANTES NATURALES HIDROSOLUBLES	
Curcumina (E100)	Riboflavina, lactoflavina o B2 (E101)
Cochinilla o ácido carmínico (E120)	Caramelo (E150)
Betanina o rojo de remolacha (E162)	Antocianos (E163)
COLORANTES NATURALES LIPOSOLUBLES	
Clorofilas (E140 y 141)	Carotenoides (E160)
Xantofilas (E161)	
MINERALES	
Carbón vegetal (E153)	Carbonato cálcico (E170)
Dióxido de titanio (E171)	Óxidos e hidróxidos de hierro (E172)
Aluminio (E173)	Plata (E174)
Oro (E175)	

Fuente: ARAMAYO. *Técnicas para la refinación de azúcar*. p. 55.

2.4.1. **Características de diferentes grupos de colorantes**

A continuación, se describen las características de los grupos principales de colorantes presentes en el proceso de fabricación de azúcar.

2.4.1.1. **Caramelización**

La formación de color por caramelización es promovida por la temperatura a la que se expone el jugo, jarabe o licor fundido. Está constituida de compuestos poliméricos con una masa molecular mayor a 10 000. Estos colorantes se dan

por la descomposición térmica de sacarosa a temperaturas mayores de 120 °C, poseen una carga leve ionizado a pH 7,20, una polaridad intermedia y es fácilmente removible por carbón activado.

2.4.1.2. HADP

Estos son productos de la degradación alcalina a elevados valores de pH y temperaturas menores que en el caso de los caramelos, poseen una masa molecular intermedia menor a 10 000. El origen se debe a reacciones de hexosas a elevado pH (>8), presenta una carga catiónica por debajo de pH 5 y aniónica arriba de pH 6, es polar y es removible por un proceso de fosfatación e intercambio iónico estirénico. “Los compuestos HADP y las melanoidinas se forman más fácilmente que los caramelos sin necesitar un calentamiento significativo”¹².

2.4.1.3. Melanoidinas

Estos compuestos se forman en las reacciones de Maillard que ocurren prácticamente, en toda la fábrica debido a que los azúcares reductores, aminoácidos y aminos se encuentran, casi siempre presentes, a excepción de las soluciones con una pureza muy elevada¹³.

Asimismo, las reacciones de Maillard aumentan con alta temperatura, baja pureza y un alto contenido de sólidos solubles.

¹² COMPADRE GUERRA, Miguel. *Decoloración y regeneración de resinas de intercambio iónico*. p. 13.

¹³ *Ibíd.* p. 14.

2.4.1.4. Melaninas

Estos compuestos se generan por un oscurecimiento enzimático de fenoles; también por reacciones de fenólicos más aminoácidos, poseen una masa molecular muy elevada, presentan una carga negativa y son removibles por carbón activado. Gross y Coombs, descubrieron: “que las familias de enzimas oxidasas polifenólicas catalizan la oxidación de fenoles a productos que en presencia de aire se oxidan con grupos aminos para formar pigmentos de melanina altamente coloreados”¹⁴.

2.4.1.5. Colorantes de caña de azúcar

Estos son compuestos monoméricos con una masa molecular menor a 1 200. Su origen son flavonoides, productos fenólicos extraídos del tallo de la caña y complejos de hierro con fenoles. Por lo tanto, muchos de los compuestos polifenólicos pueden producir complejos de hierro altamente coloreados. Estos compuestos son ionizados a alto pH, su polaridad es baja y son eliminados en la clarificación de jugo, carbonatación o por carbón activado.

2.4.2. Formación de color en la refinera

Bardwell mostró: “que el 60 a 90 % de la formación de color que ocurre en refinera es debido al color del azúcar que ingresa”¹⁵. Los compuestos de la degradación alcalina HADP se forman durante los procesos de carbonatación debido a un alto valor de pH y temperaturas. El tiempo entre la adición de cal al licor y el inicio de la producción de gas sea el mínimo, para evitar exponer por

¹⁴ REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 620.

¹⁵ *Ibíd.*

tiempos prolongados el licor a altos valores de pH, de lo contrario ocasionarían un rápido rompimiento de monosacáridos formando color.

2.4.3. Decoloración

Actualmente existen diversos mecanismos para la decoloración de azúcar, entre ellos se encuentran, decoloración por adsorción, por intercambio iónico y por precipitación. Como se describió anteriormente, no todos los compuestos cromóforos tienen las mismas características, es por esto que existen diversos métodos para retirarlos.

2.4.3.1. Decoloración por carbón activo

La primera aplicación industrial que se realizó con el carbón activado fue en 1794, realizada por la industria azucarera como agente decolorante, no obstante, en 1812 se dio a conocer la primera patente. Actualmente existen muchos tipos de carbón activado y de muchos orígenes. Los más comunes para la decoloración en la industria azucarera son los carbones activados en polvo PAC y el carbón activado granular GAC.

La naturaleza no polar de la superficie es una de las características del carbón activado. Por esto las fuerzas superficiales que posee el carbón generan una mayor atracción de las moléculas del colorante que las fuerzas que generan entre el colorante y el licor o jarabe. El principio de estas fuerzas son por la adsorción física que se produce entre las moléculas del colorante y del carbón por medio de fuerzas de Van der Waals.

El aumento de la temperatura reduce considerablemente la adsorción, pero es necesaria debido a las altas viscosidades que presenta el licor fundido o

jarabe. “Las temperaturas no deben superar los 80 °C para evitar la formación de color”¹⁶.

Debido a que el carbón activado posee una alta relación de área superficial volumen, el carbón activado adsorbe grandes cantidades de colorante antes que se agote. Por otro lado, luego de la adsorción física, el carbón posee grupos funcionales oxigenados y estos generan una adsorción química que ayuda a retirar compuestos cromóforos polares.

Algunos componentes, como los productos de la degradación alcalina HADP, no se eliminan mediante el carbón, también el carbón no obtiene buenos resultados con compuestos de hierro o amino nitrogenados.

De igual manera, para que pueda adsorber el colorante en el carbón, este mediante difusión debe alcanzar una superficie apropiada y orientarse en el interior de los poros, por lo tanto, compuestos poliméricos muy grandes pueden verse afectados en que no se difundan lejos y esto ocasiona limitaciones en los sitios disponibles para su adsorción¹⁷.

Debido a esto el tamaño y la distribución de los poros es de suma importancia para la eliminación de diferentes tipos de colorantes.

2.4.3.2. Decoloración por intercambio iónico

Generalmente, las resinas utilizadas son de intercambio aniónico de base fuerte en forma de cloruro. La matriz de la resina puede estar formada por dos tipos de material polimérico, poliacrílico con enlaces cruzados de divinil benceno

¹⁶ REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. p. 627.

¹⁷ COMPADRE GUERRA, Miguel. *Decoloración y regeneración de resinas de intercambio iónico*. p. 10.

que genera una matriz más hidrofílica y poliestireno con enlaces cruzados de divinil benceno que genera una matriz hidrofóbica.

- Resinas acrílicas: el nivel de decoloración no es tan alto, se utilizan cuando la carga de color es alta, pueden ser regeneradas completamente por disoluciones de cloruro sódico debido a un carácter más hidrofílico en la matriz de la resina.
- Resinas estirénicas: tienen una mayor capacidad en la decoloración que las resinas acrílicas, debido a su mecanismo de fijar los colorantes por medio de enlaces iónicos con los grupos activos catiónicos de la resina y generar con la matriz de la resina interacciones hidrofóbicas. Por otro lado, necesitan frecuentemente regeneraciones ácidas especiales debido a que tienden a contaminarse con compuestos orgánicos más fácilmente que las resinas acrílicas.

2.4.3.3. Mecanismos de eliminación de color con resinas de intercambio iónico

Son dos mecanismos los encargados de fijar los colorantes en las resinas de intercambio iónico de base fuerte, los enlaces iónicos entre las cargas fijas y los colorantes que usualmente son aniónicos y las interacciones hidrofóbicas entre la matriz de la resina y las partes no polares del colorante. Los parámetros que influyen en la capacidad de remoción de color en las resinas de intercambio iónico son: el peso molecular del colorante, la densidad de la carga, el tipo de carga (débilmente catiónica, altamente aniónica o débilmente aniónica), grado de hidrofobicidad y pH.

Los adsorbentes poliméricos tienen una polaridad en su superficie, los colorantes son prácticamente hidrofóbicos, por lo que no son solubles en agua y

estos tienden a ser adsorbidos en la parte hidrofóbica de la resina, este es el principal mecanismo en la remoción de color.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Es necesario definir las variables presentes en dicha investigación, así como la importancia de estas en los ensayos a realizar.

Tabla II. **Variables de control en la refinería**

Variable	Unidad de dimensión	Factor potencial de diseño	
		Constante	Variable
Temperatura del licor	°C	X	
Brix disolución	Bx	X	
Color disolución	IU	X	
Turbidez disolución	IU	X	
Color licor pulido	IU		X
Color jarabe	IU		X
Brix masa	Bx	X	
Color masa	IU	X	
pH licor	-	X	
Dosis floculante	ppm	X	
Dosis ácido fosfórico	ppm	X	
Color VHP	IU		X
Dosis adsorbente	kg/Tm azúcar		X
Dosis tierra filtro ayuda	kg/Tm azúcar		X
% remoción de color	%		X
% remoción de turbidez	%		X

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La presente investigación se enfoca en el campo de estudio de la ingeniería del azúcar, es decir, en el proceso de producción de azúcar refinado. El estudio busca analizar el efecto de la decoloración del licor y jarabe con el objetivo de mejorar sus propiedades de color y turbidez.

La decoloración se llevará a cabo por diferentes mecanismos, únicamente por dosificación de adsorbente al licor, dosificación de adsorbente al jarabe a un nivel de laboratorio, adicionalmente se tratará el licor proveniente del azúcar crudo con un sistema de clarificación y adsorción. Al licor, licor pulido y jarabe se les realizarán análisis de medición de color y turbidez por la metodología ICUMSA GS7-21 2007. La experimentación se llevará a cabo en las instalaciones del Ingenio La Unión.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Julio Cordón Cardona
- Asesorado por: Ing. Juan Pedro Quiñonez Fernández, colegiado No. 1247.
- Profesional de la empresa Ingenio La Unión:
 - Gerente industrial: Ing. Elfego Arturo Bautista Sandoval
 - Superintendente de fabricación: Ing. Mynor Rolando Estrada
 - Jefe de Refinería: Lic. Maynor Cupertino Mejía Rion
 - Análisis externos: personal del Laboratorio de Control de Calidad
 - Operadores del área de Refinería

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería y equipo)

En el siguiente apartado se presentan los materiales disponibles, los reactivos, los instrumentos de medición, el equipo auxiliar, la cristalería y el equipo de protección personal.

3.4.1. Reactivos

- Azúcar VHP
- Licor de azúcar
- Tierra diatomácea
- Sacarato de cal
- Ácido fosfórico
- Floculante
- Adsorbente
- Jarabe de azúcar
- *Slurry*

3.4.2. Instrumentos de medición

- Potenciómetro
- Refractómetro
- Termómetro
- Espectrofotómetro
- Balanza analítica

3.4.3. Equipo auxiliar

- Bomba de vacío

- Equipo de filtración al vacío
- Agitador
- Equipo de ultrasonido de baja potencia

3.4.4. Cristalería

- *Beaker*
- *Kitasato*
- *Erlenmeyer*
- Vidrio de reloj

3.4.5. Equipo de protección personal

- Botas industriales
- Bata
- Guantes de neopreno
- Guantes látex
- Mascarilla química
- Lentes de protección
- Casco

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La elaboración de un azúcar de alta pureza, como en el caso de azúcar refino, conlleva el estudio de sus propiedades: el color, turbidez, brix, pol y pureza; en cada una de las etapas del proceso, desde la disolución del licor hasta la cristalización de la sacarosa en los tachos.

3.5.1. Análisis de medición de color

Según el método ICUMSA 2011, la medición de color en una solución de sacarosa se puede aplicar para jarabe, jugo y licor, la medición se realiza en un espectrofotómetro a 420 nm debido a que es el punto visual de mayor presencia de la sacarosa. Para analizar el color del jarabe y licor tratado con adsorbente y clarificación, se analizará el color por el método ICUMSA GS2/3-10 2011.

- Realizar una dilución 1:1 pesando la misma cantidad muestra como de agua desmineralizada, agregando 50 g de licor y adicionar 50 g de agua en un *beaker* de 250 ml, en el caso del jarabe agregar 30 g con 70 g de agua.
- Colocar la solución en una plancha de agitación magnética para disolver completamente la muestra.
- Colocar la solución en un baño ultrasónico por 3 min.
- Ajustar el pH de la solución en el caso del jarabe a $7 \pm 0,02$, aumentando o disminuyendo el pH con hidróxido de sodio o ácido clorhídrico.
- Filtrar entre 40 a 60 ml la solución con un filtro porta membrana de 0,45 micrones.
- Colocar la solución en un baño ultrasónico por 3 min.
- Medir brix de la solución filtrada en un refractómetro.
- Llenar celda con la solución filtrada, leer absorbancia en el espectrofotómetro y anotar.
- Determinar la densidad de la solución con el brix de esta.
- Calcular el color ICUMSA por la siguiente ecuación.

$$Color\ ICUMSA = \frac{Abs * 100\ 000}{Bx * AC * \rho}$$

Donde:

Color ICUMSA = color ICUMSA (IU)

ABS = absorbancia (ABS)

Bx = sólidos solubles (oBx)

AC = ancho de celda

P = densidad (g/cm³)

3.5.2. Análisis de medición de turbidez

La turbidez del licor y jarabe se analizará por el método ICUMSA GS2/3-18 2013.

- Realizar una dilución 1:1 pesando la misma cantidad muestra como de agua desmineralizada, agregando 50 g de licor y adicionar 50 g de agua en un *beaker* de 250 ml, en el caso del jarabe agregar 30 g con 70 g de agua.
- Colocar la solución en una plancha de agitación magnética para disolver completamente la muestra.
- Colocar la solución en un baño en un baño ultrasónico por 3 min.
- Medir el brix de la solución en un refractómetro y anotar brix 1.
- Ajustar el pH de la solución en el caso del jarabe a $7 \pm 0,02$, aumentando o disminuyendo el pH con hidróxido de sodio o ácido clorhídrico.
- Limpiar la celda, llenarla con agua desmineralizada y ajustar la longitud de onda del espectrofotómetro a 420 nm para calibrar el equipo y así ajustar el blanco.
- Llenar celda con la solución, leer absorbancia en el espectrofotómetro y anotar abs 1.
- Filtrar entre 40 a 60 ml la solución con un filtro porta membrana de 0,45 micrones.

- Colocar la solución en un baño ultrasónico por 3 min.
- Medir el brix de la solución en un refractómetro y anotar brix 2.
- Llenar celda con la solución, leer absorbancia en el espectrofotómetro y anotar abs 2.

Determinar los colores antes y después de filtrar.

$$Color\ 1\ ICUMSA = \frac{Abs\ 1 * 100\ 000}{Bx\ 1 * AC * \rho}$$

$$Color\ 2\ ICUMSA = \frac{Abs\ 2 * 100\ 000}{Bx\ 2 * AC * \rho}$$

Por lo tanto, la turbidez se calcula con la siguiente ecuación.

$$Turbidez = color\ 1\ ICUMSA - color\ 2\ ICUMSA$$

Donde:

Color 1 ICUMSA = color de la muestra antes de filtrar

Color 2 ICUMSA = color de la muestra después de filtrar

3.5.3. Porcentaje de remoción de color

La remoción de color es un parámetro de control para garantizar la eficiencia del tratamiento que se está realizando. Para determinar el porcentaje de remoción de color se utiliza la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Remoción de color} = \frac{color_{no\ tratado} - color_{tratado}}{color_{no\ tratado}} * 100$$

3.5.4. Porcentaje de remoción de turbidez

La remoción de turbidez es otro de los parámetros de control para garantizar la eficiencia del tratamiento que se está realizando. Para determinar el porcentaje de remoción de turbidez se utiliza la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Remoción de turbidez} = \frac{\text{turbidez}_{\text{no tratado}} - \text{turbidez}_{\text{tratado}}}{\text{turbidez}_{\text{no tratado}}} * 100$$

3.6. Recolección y ordenamiento de datos

El estudio principal de esta investigación fueron las mejoras del color en el jarabe y el licor. En el caso de las pruebas a nivel laboratorio del porcentaje de remoción de color y turbidez, se prepararan las muestras jarabe a 67 de brix a partir del jarabe que se obtiene en refinería. Por otro lado, para el caso de los análisis a nivel industrial del porcentaje de remoción de color y turbidez, se toman muestras de licor en los tanques disolutores, primera filtración, muestras de licor pulido en la salida de los filtros pulidores.

3.6.1. Determinación de remoción de color y turbidez del licor y jarabe en condiciones estándar y con un aumento en la dosificación de adsorbente

Actualmente, debido a que es un proceso más sencillo y elegante, se está tratando el licor con un adsorbente que cuenta con dos mecanismos de decoloración, como carbón activo y resina de intercambio iónico. Las condiciones estándar de esta operación se muestran en la tabla III.

Tabla III. **Condiciones estándar de operación en refinería**

Variable	Unidad de dimensión	Rango de operación
Temperatura del licor	°C	85-80
Brix disolución	Bx	68-64
Color disolución	IU	450-250
Turbidez disolución	IU	250-50
Brix masa	Bx	90-88
Color masa	IU	1 000-700
pH licor	-	7,30-6,70
Dosis adsorbente	kg/tm azúcar	1,00
Dosis tierra filtro ayuda	kg/m ² azúcar	0,80

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

3.6.2. Determinación de remoción de color y turbidez del licor y jarabe a nivel laboratorio

Con el objetivo de analizar el efecto del adsorbente en la remoción de color y turbidez del licor y jarabe, se decidió realizar pruebas a nivel laboratorio para analizarlas en un entorno más controlado. En la tabla IV se indica la cantidad de los materiales a utilizar.

Tabla IV. **Proporción de los materiales para los análisis a nivel laboratorio**

Variable	Unidad de dimensión	Valor
Temperatura del licor	°C	85
Brix disolución	Bx	67
pH licor	-	6,8
Dosis adsorbente	g/kg jarabe	0, 0,50, 1,00 y 1,50
Dosis adsorbente	g/kg azúcar	0, 0,5, 1,0 y 1,5

Continuación de la tabla IV.

Tipo de adsorbente	-	Ecosorb S-504 y ecosorb S-451
Brix jarabe	Bx	74
Jarabe	g	100

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

3.6.3. Determinación de remoción de color y turbidez del licor a nivel industrial

De la determinación de remoción de color y turbidez del licor a nivel industrial, en la tabla V se presentan las condiciones de refinera para los análisis a nivel industrial.

Tabla V. **Condiciones de refinera para los análisis a nivel industrial**

Variable	Unidad de dimensión	Valor
Temperatura del licor	°C	85
Brix disolución	Bx	64
pH licor	-	6,90-7,10
Dosis adsorbente ecosorb S-504	kg/TM refino	0,80-1,50
Dosis adsorbente ecosorb S-451	kg/TM refino	1,20
Brix jarabe	Bx	74
Dosis ácido fosfórico	ppm	275-300
Floculante	ppm	9-10
Decolorante	ppm	75

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Una vez obtenidos los datos implicados en la experimentación se procede a tabularlos, se muestran en la tabla VI.

Tabla VI. **Medición del porcentaje de remoción de color y turbidez en el jarabe en función de la dosis de adsorbente, dosis de tierra y tipo de adsorbente, a nivel laboratorio**

Dosis adsorbente (g/kg jarabe)	Dosis tierra (kg/m²)	Tipo adsorbente	Porcentaje de remoción de color	Porcentaje de remoción de turbidez
0,00	0,80	S-504	-0,05	57,83
0,00	0,80	S-451	-1,23	68,08
0,00	1,20	S-504	0,21	64,29
0,00	1,20	S-451	1,12	68,27
0,50	0,80	S-504	2,76	57,37
0,50	0,80	S-451	9,83	60,04
0,50	1,20	S-504	5,45	67,51
0,50	1,20	S-451	10,07	67,04
1,00	0,80	S-504	9,14	53,16
1,00	0,80	S-451	14,27	63,63
1,00	1,20	S-504	10,40	65,88
1,00	1,20	S-451	15,76	71,14
1,50	0,80	S-504	12,12	59,64
1,50	0,80	S-451	19,55	66,83
1,50	1,20	S-504	11,78	70,84
1,50	1,20	S-451	21,22	69,00
0,00	0,80	S-504	-0,75	67,87
0,00	0,80	S-451	1,92	66,13
0,00	1,20	S-504	-0,60	69,10
0,00	1,20	S-451	-0,12	67,04
0,50	0,80	S-504	4,54	63,25
0,50	0,80	S-451	8,55	62,96
0,50	1,20	S-504	4,15	69,10
0,50	1,20	S-451	9,84	67,21
1,00	0,80	S-504	9,88	58,58

Continuación de la tabla VI.

1,00	0,80	S-451	13,86	69,14
1,00	1,20	S-504	9,19	67,91
1,00	1,20	S-451	15,84	66,69
1,50	0,80	S-504	11,39	66,09
1,50	0,80	S-451	19,02	66,13
1,50	1,20	S-504	11,80	67,58
1,50	1,20	S-451	20,44	65,61

Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 2019.

3.8. Análisis estadístico

Con referencia al análisis estadístico, se presenta a través de la media aritmética y varianza, en la figura 7 se muestra el número de tratamientos y repeticiones para la evaluación de la remoción de color y turbidez del jarabe con adsorbente.

Figura 7. **Número de tratamientos y repeticiones para la evaluación de la remoción de color y turbidez del jarabe con adsorbente**

Multilevel Factorial Design			
Factors:	3	Replicates:	2
Base runs:	16	Total runs:	32
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Number of levels: 4, 2, 2			

Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 2019.

3.8.1. Media aritmética

La media aritmética de un conjunto de valores $\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$ de una variable x viene determinada por la suma de dichos valores, dividida por el número de la muestra (n), representada matemáticamente de la siguiente forma:

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

3.8.2. Varianza

Es la media de las desviaciones (x) al cuadrado respecto a la media aritmética (\bar{x}) de una distribución estadística.

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

3.9. Plan de análisis de los resultados

El análisis de los resultados cuantitativos se realizará utilizando métodos gráficos, para determinar el comportamiento de la remoción de color y turbidez del licor y jarabe en función de las diferentes dosificaciones de adsorbente.

3.10. Análisis de un diseño factorial

En el análisis del diseño factorial se investigarán todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores, para examinar las interacciones entre ellos por medio del programa estadístico Minitab 19.

3.11. ANOVA

Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales, mientras que la hipótesis alternativa establece que, al menos una es diferente.

3.12. Programas para utilizar en el análisis de datos

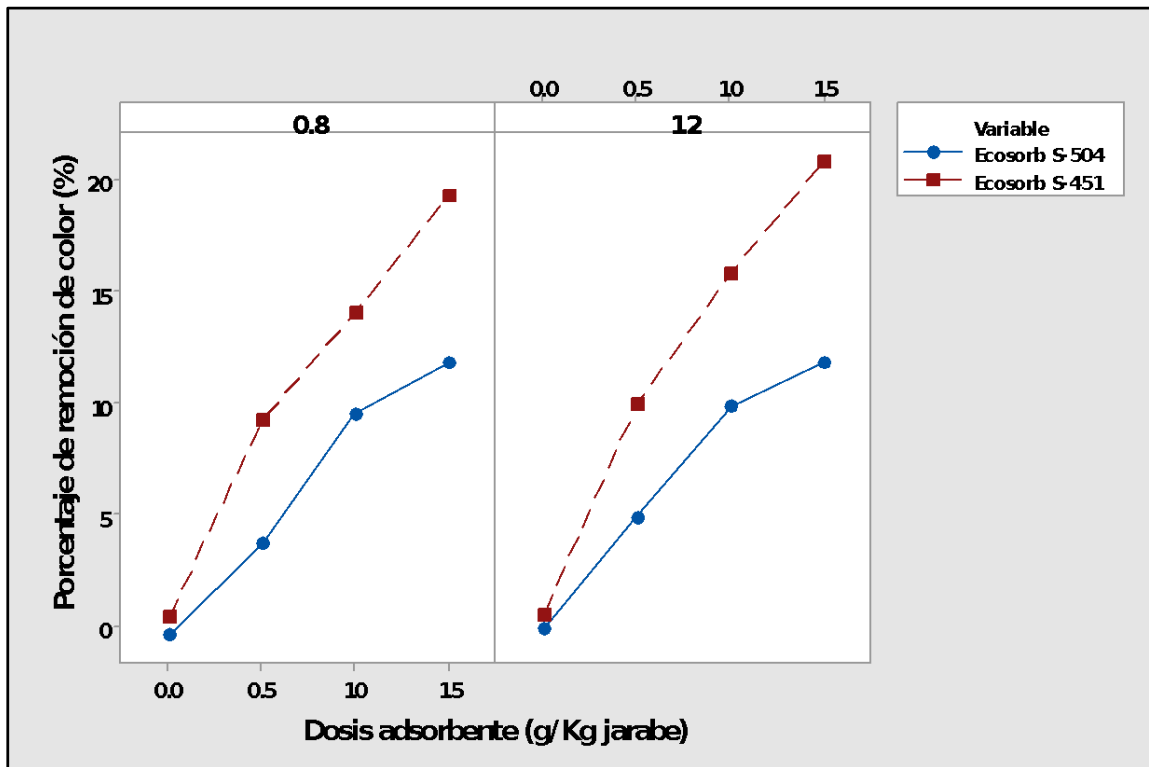
Los programas a usar en el análisis de datos son:

- Microsoft Excel 2016, para la realización de los cálculos, tablas y análisis de varianza.
- Microsoft Word 2016, a utilizar para la agrupación de la información gráfica y la redacción de la interpretación.
- Programa estadístico Minitab 19, a utilizar para los análisis estadísticos.

4. RESULTADOS

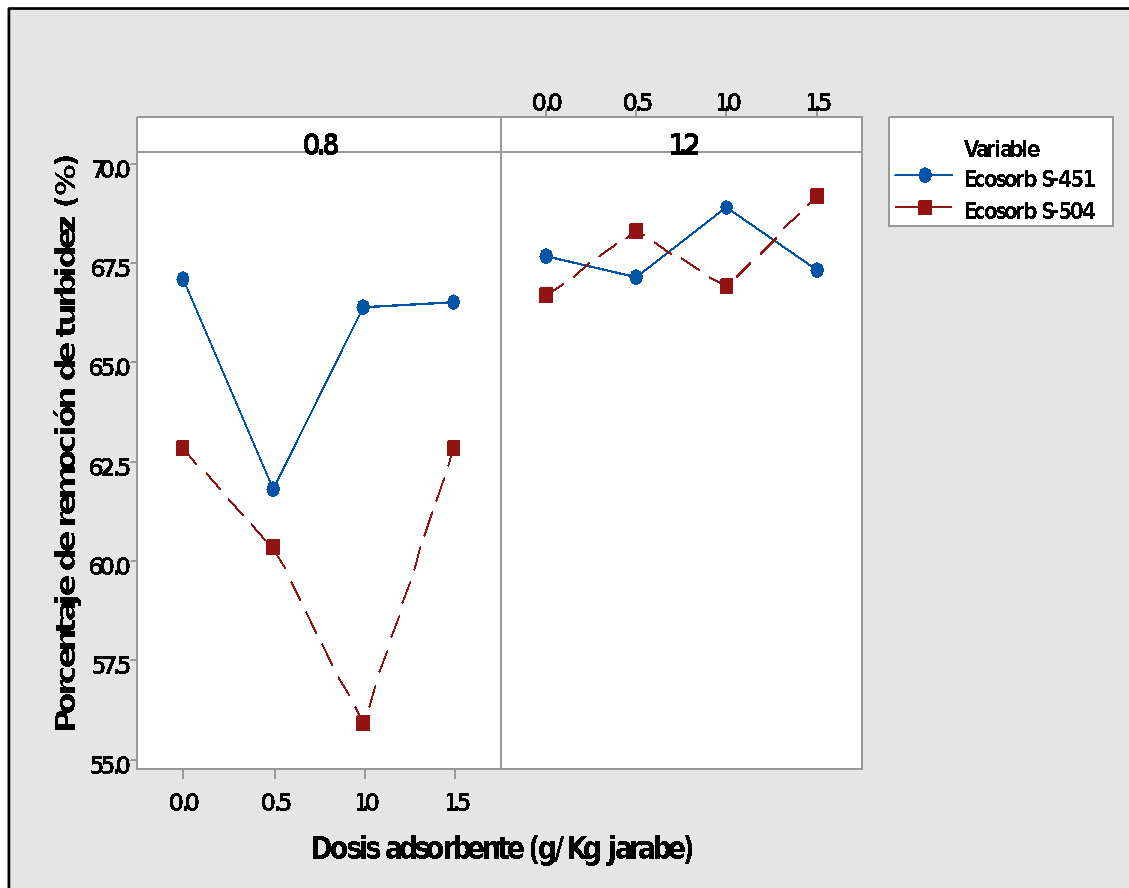
A continuación, en la figura 8 se presentan cada uno de los comportamientos obtenidos en la investigación.

Figura 8. **Comportamiento del porcentaje de remoción de color del jarabe en función de la dosis de adsorbente, dosis de tierra y tipo de adsorbente a nivel laboratorio**



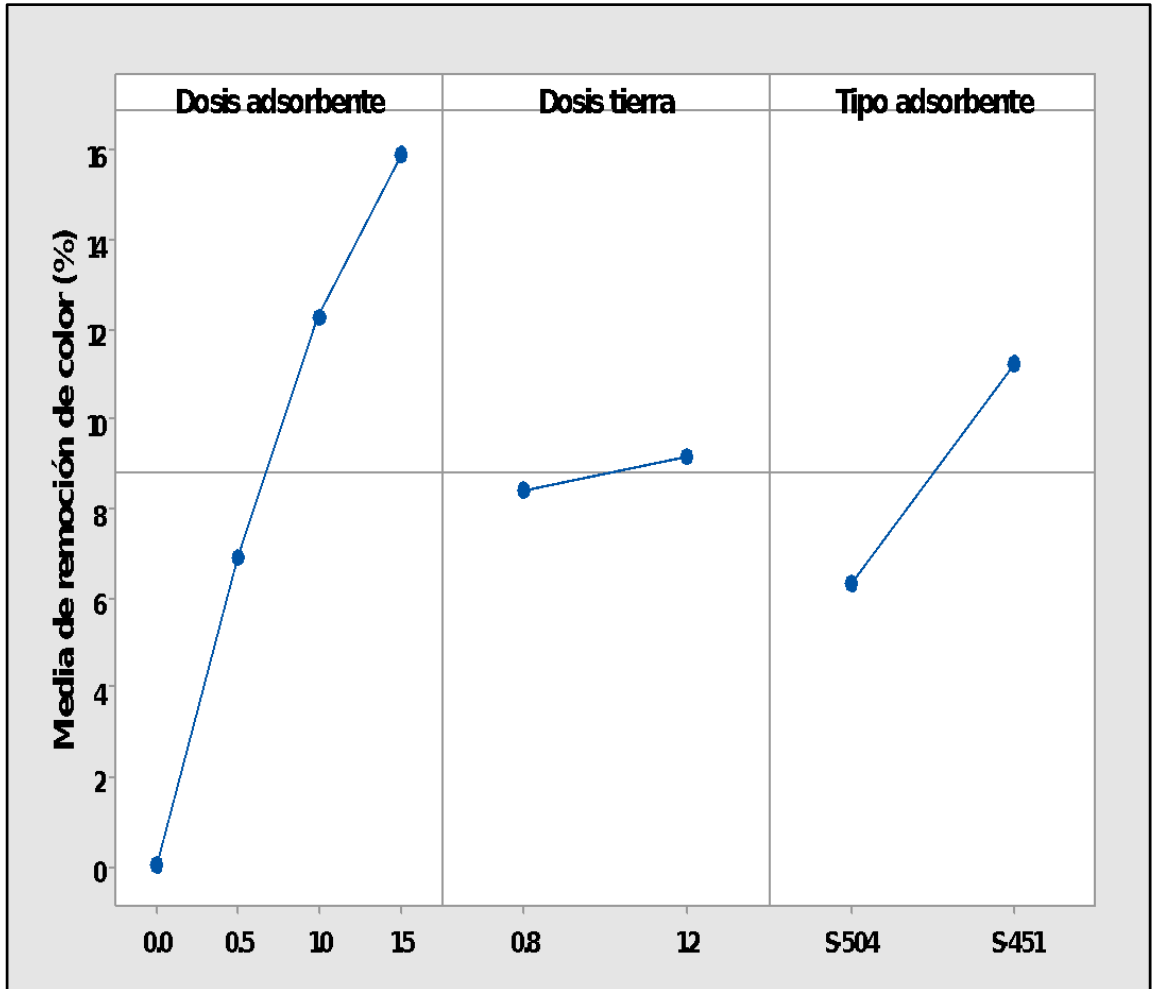
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 9. **Comportamiento del porcentaje de remoción de turbidez del jarabe en función de la dosis de adsorbente, dosis de tierra y tipo de adsorbente a nivel laboratorio**



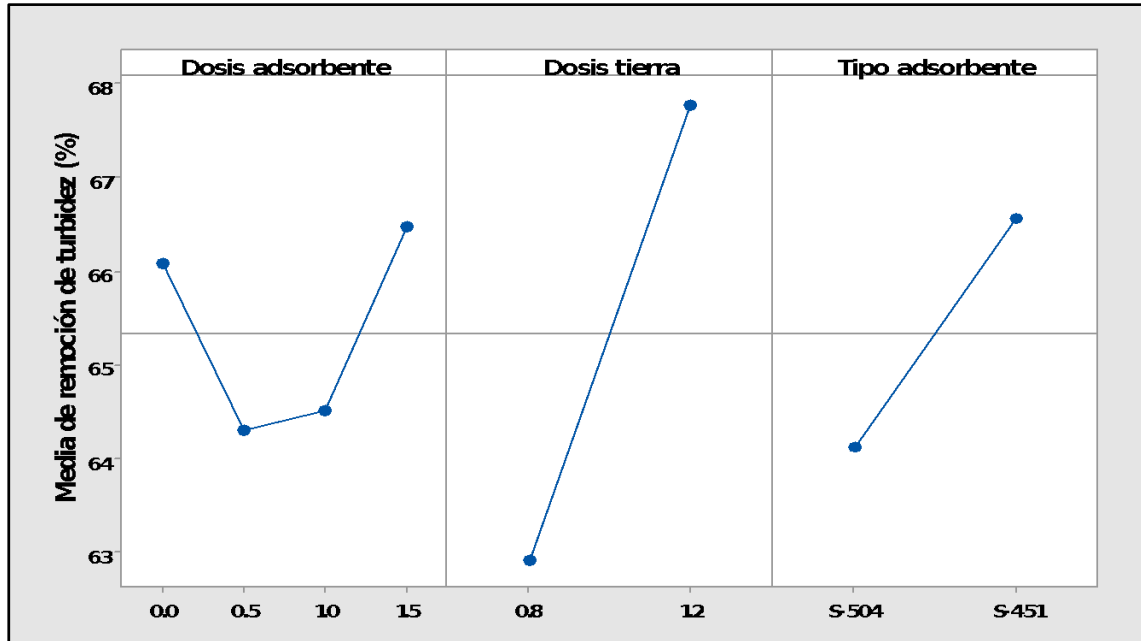
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 10. Comportamiento de los efectos principales en el porcentaje de remoción de color, en la prueba a nivel laboratorio



Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 11. Comportamiento de los efectos principales en el porcentaje de remoción de turbidez, en la prueba a nivel laboratorio



Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 12. Análisis de varianza del porcentaje de remoción de color del diseño factorial, a nivel laboratorio

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	1339.27	267.853	95.31	0.000
Linear	5	1339.27	267.853	95.31	0.000
Dosis adsorbente	3	1142.23	380.745	135.48	0.000
Dosis tierra	1	4.31	4.314	1.54	0.226
Tipo adsorbente	1	192.72	192.718	68.57	0.000
Error	26	73.07	2.810		
Lack-of-Fit	10	61.69	6.169	8.67	0.000
Pure Error	16	11.38	0.711		
Total	31	1412.34			

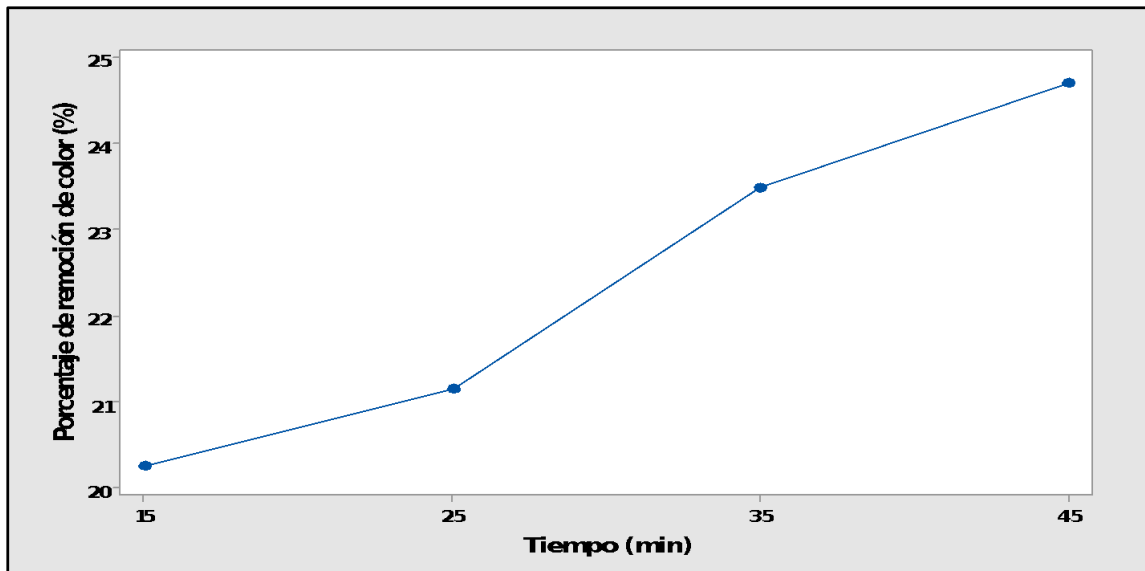
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 13. **Análisis de varianza del porcentaje de remoción de turbidez del diseño factorial, a nivel laboratorio**

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	263.36	52.672	4.57	0.004
Linear	5	263.36	52.672	4.57	0.004
Dosis adsorbente	3	28.38	9.459	0.82	0.494
Dosis tierra	1	187.60	187.598	16.28	0.000
Tipo adsorbente	1	47.39	47.385	4.11	0.053
Error	26	299.57	11.522		
Lack-of-Fit	10	138.18	13.818	1.37	0.277
Pure Error	16	161.39	10.087		
Total	31	562.93			

Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 14. **Comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor fundido con azúcar crudo en función del tiempo, a nivel laboratorio**



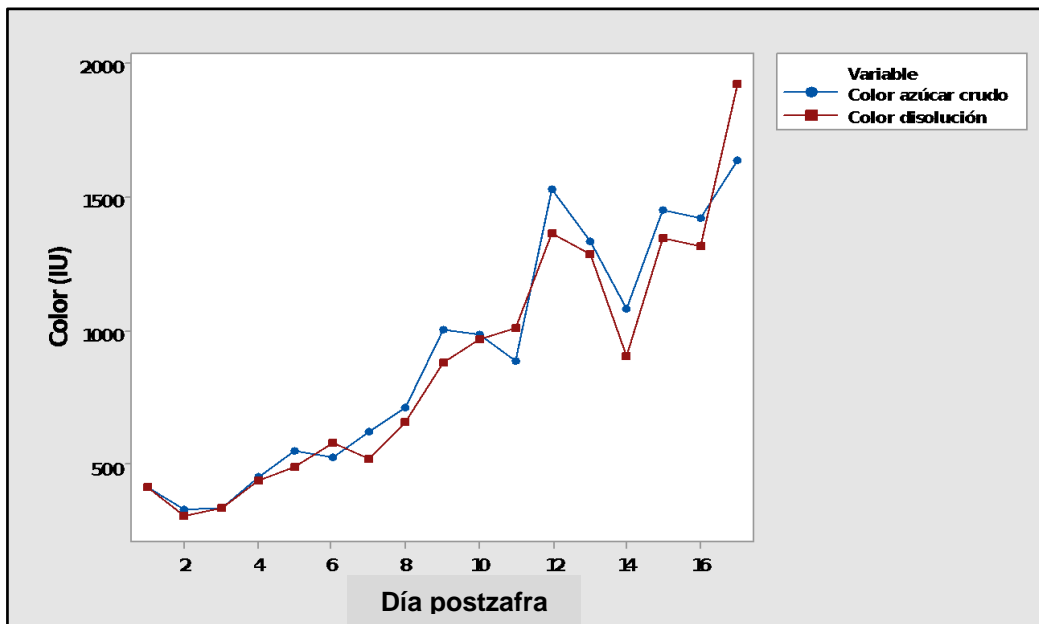
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Tabla VII. Descripción de sistemas de tratamiento en el periodo de refinación de azúcar crudo

Sistema	Implementación (días postzafra)	Apéndice
Operación estándar	01-jun	3
Operación con clarificación	07-no	4
Operación con clarificación + Ecosorb S-451	13-16	5

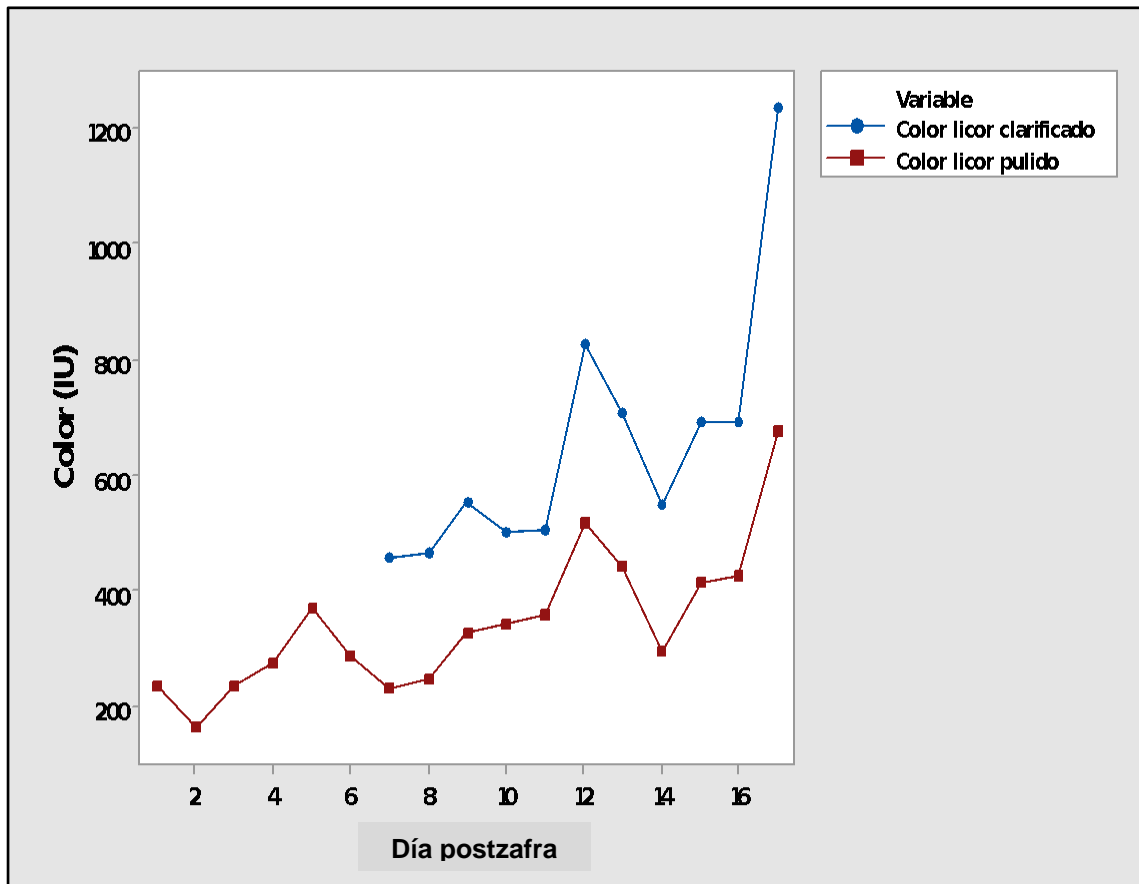
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Figura 15. Comportamiento del color del azúcar y disolución en el periodo de refinación de azúcar crudo en función del tiempo



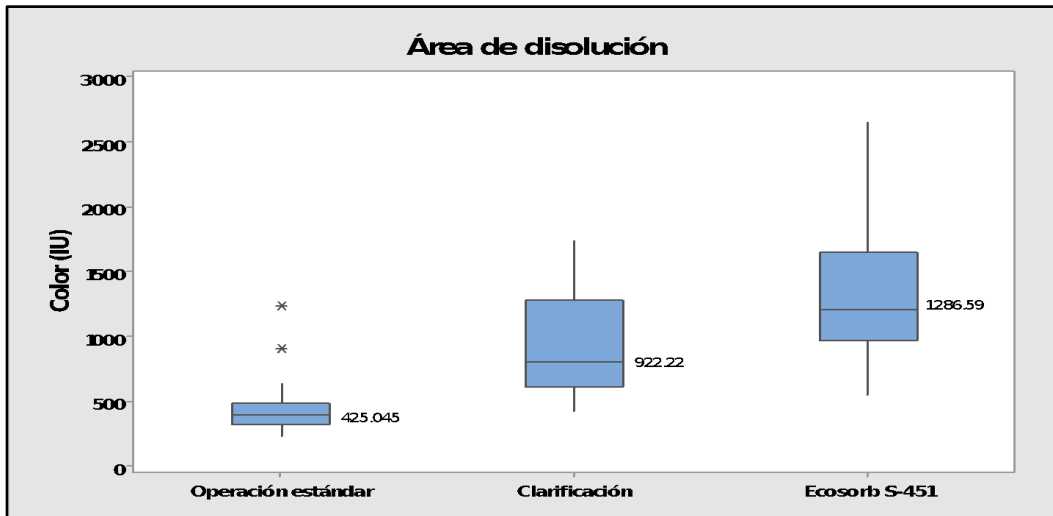
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 16. **Comportamiento del color del licor clarificado y licor pulido en el periodo de refinación de azúcar crudo en función del tiempo**



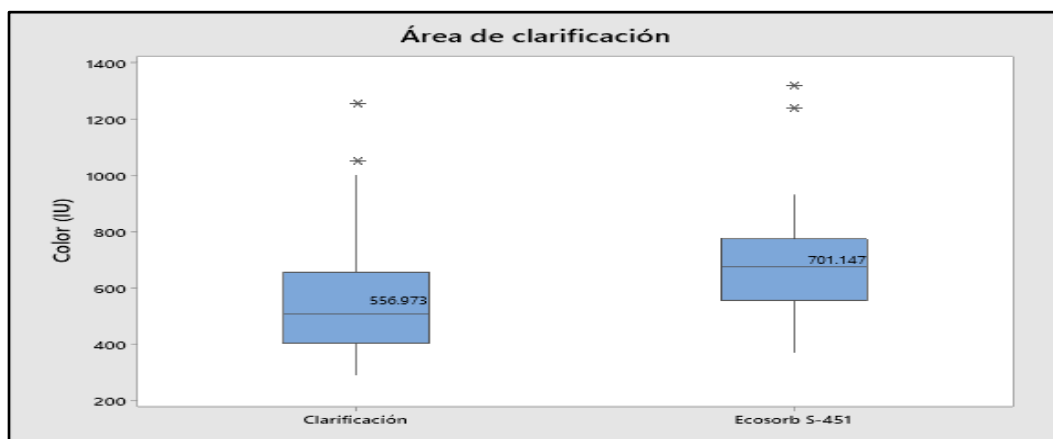
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 17. **Comportamiento del color en la disolución para los tres arreglos de tratamiento de licor**



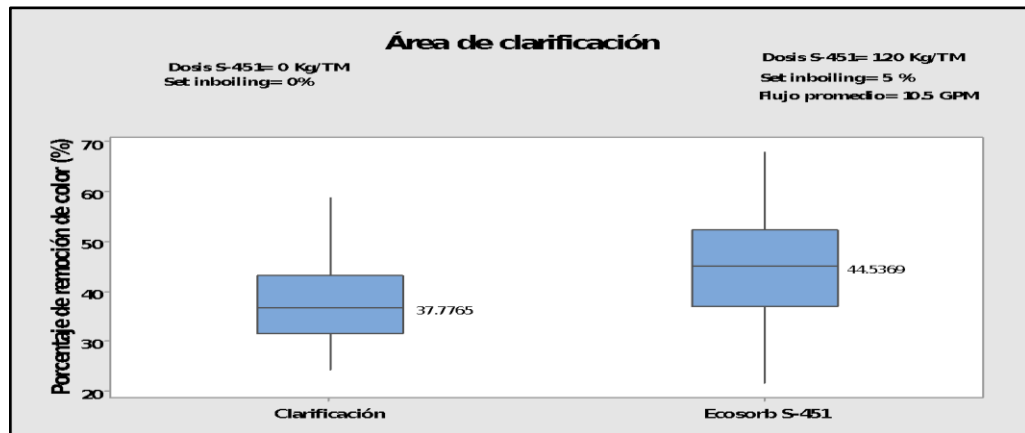
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 18. **Comportamiento del color del licor clarificado para el tratamiento de clarificación y clarificación con adsorbente S-451**



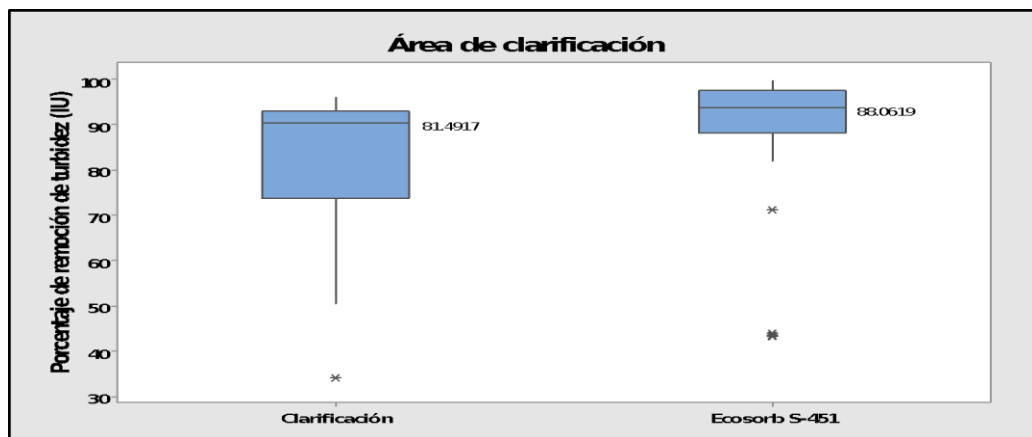
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 19. **Comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor clarificado para el tratamiento de clarificación y clarificación con adsorbente S-451**



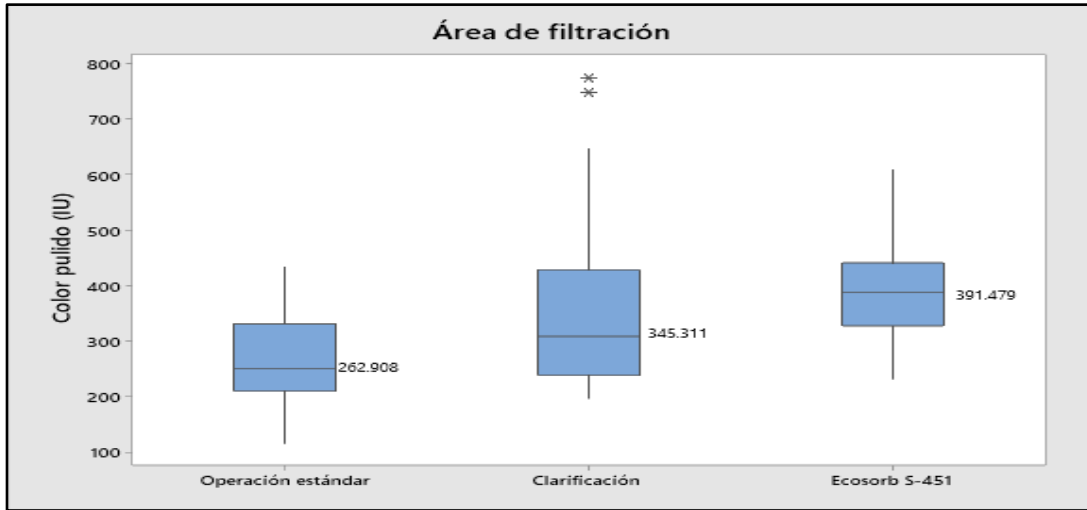
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 2019.

Figura 20. **Comportamiento del porcentaje de remoción de turbidez del licor clarificado para el tratamiento de clarificación y clarificación con adsorbente S-451**



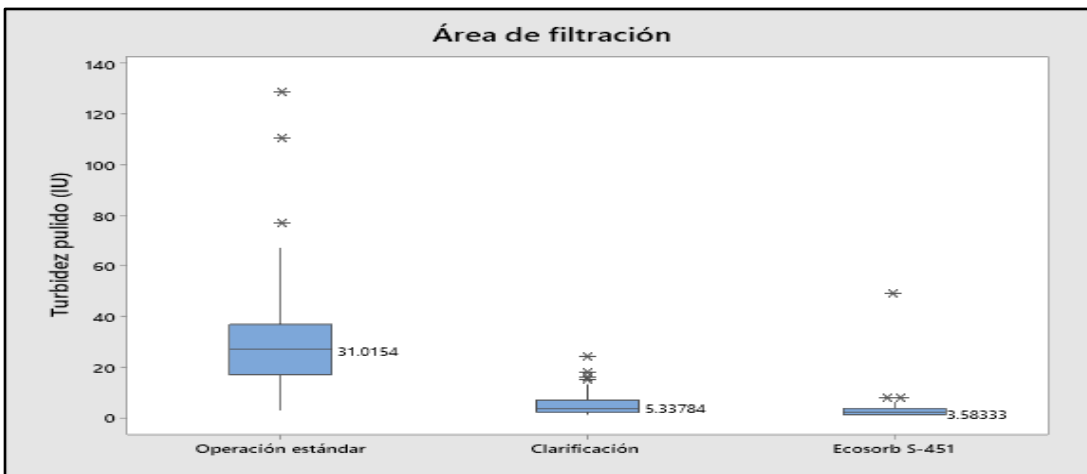
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 2019.

Figura 21. **Comportamiento del color del licor pulido para los tres sistemas de tratamiento de licor**



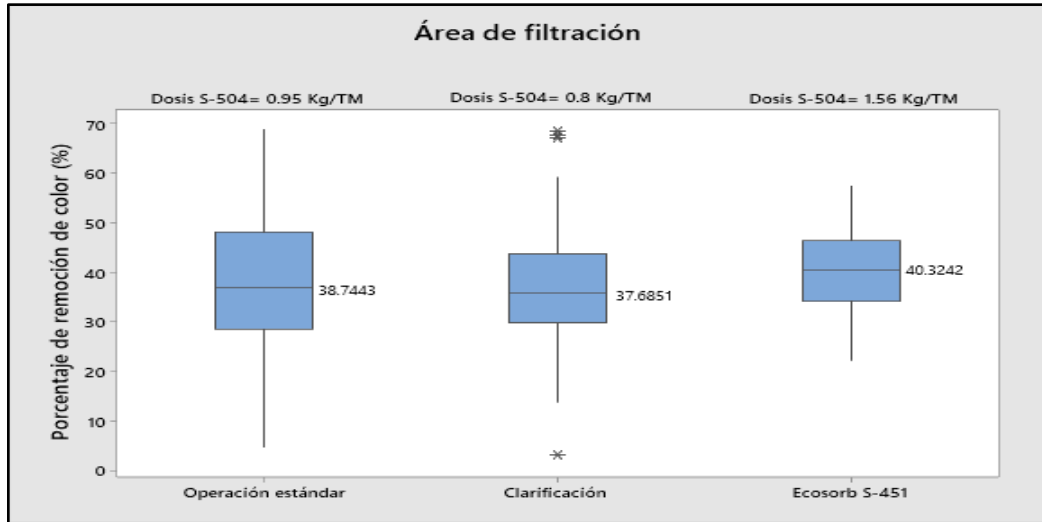
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 22. **Comportamiento de la turbidez del licor pulido para los tres sistemas de tratamiento de licor**



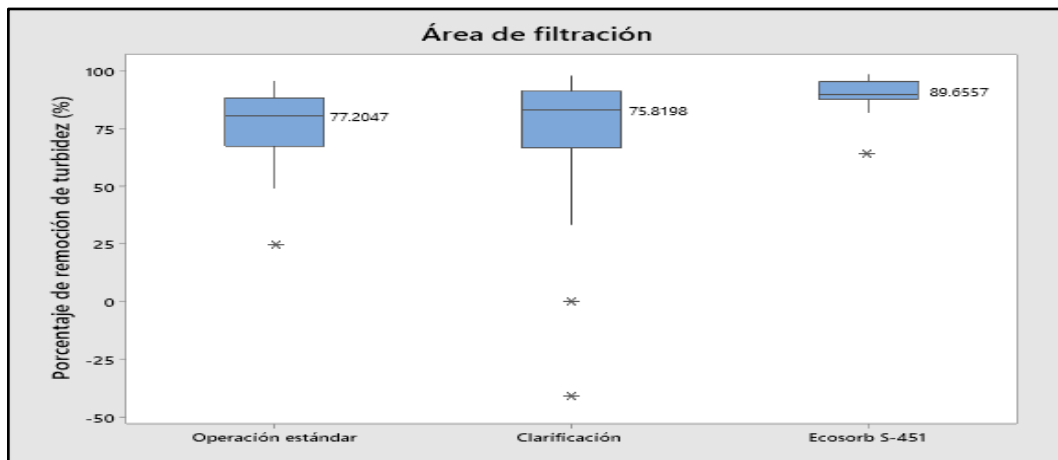
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 23. **Comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor pulido, para los tres sistemas de tratamiento de licor**



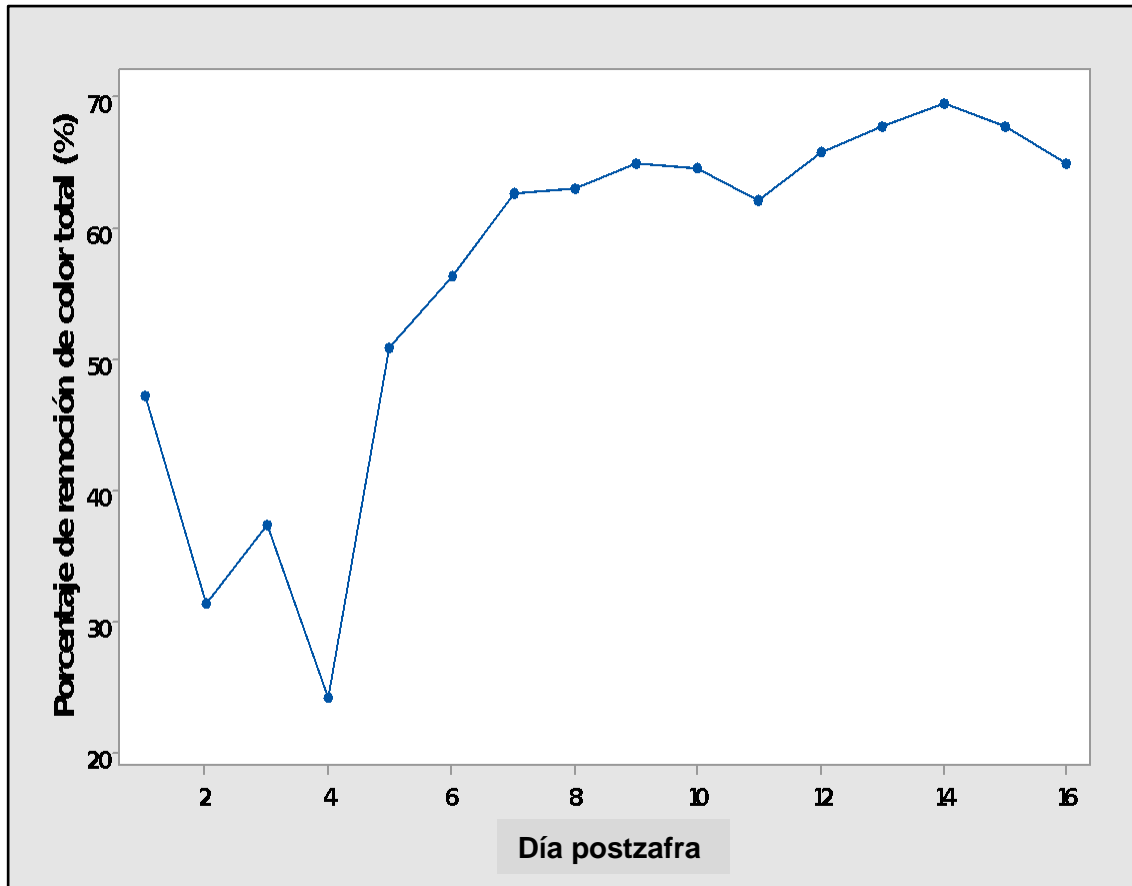
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 24. **Comportamiento del porcentaje de remoción de turbidez del licor pulido, para los tres sistemas de tratamiento de licor**



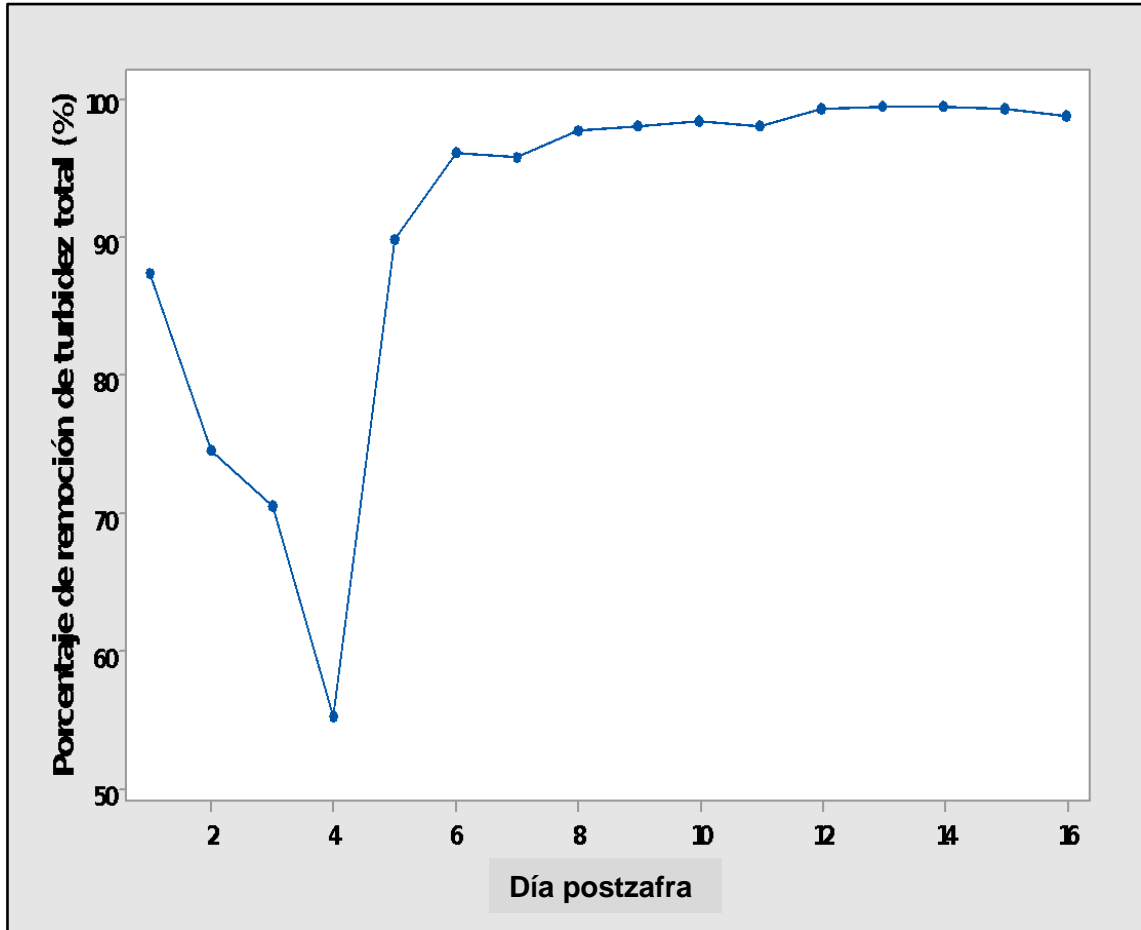
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 25. **Comportamiento del porcentaje de remoción total de color en función de los días del periodo postzafra**



Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Figura 26. **Comportamiento del porcentaje de remoción total de turbidez en función de los días del periodo postzafra**



Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el trabajo de graduación se evaluaron los efectos generados por diversas variables en el área de tratamiento de licor en una refinería de azúcar, este inició desde la evaluación del porcentaje de remoción de color y turbidez del jarabe a nivel laboratorio, para determinar las condiciones óptimas de dosis de adsorbente, dosis de tierra y tipo de adsorbente.

Posteriormente, con estos parámetros óptimos se prosiguió a realizar un análisis a nivel laboratorio para remoción de color y turbidez del azúcar crudo que presentó alta carga de color y, por último, se decidió aplicar a nivel industrial, un tratamiento previo a la clarificación para mejorar el porcentaje de remoción de color y turbidez del licor.

En las figuras 8 y 9, se puede observar el comportamiento del porcentaje de remoción de color y turbidez del jarabe en función de la dosis de adsorbente, tipo de adsorbente y dosis de tierra. En la figura 8, claramente se puede notar un comportamiento lineal con una pendiente positiva en todos los casos, se determinó que el adsorbente Ecosorb S-451 obtuvo mejores resultados, debido a que este presenta una mayor cantidad de resina de intercambio iónico, lo que permite una mejor adsorción de los compuestos HADP (productos de la degradación alcalina de la hexosa).

En la figura 9, se puede observar que al aumentar la dosis de tierra se obtiene una mejora en el porcentaje de remoción de turbidez, debido a que se tiene una mayor cantidad de tierra diatomácea por metro cuadrado de superficie, permitiendo así retener mayor cantidad de partículas de impurezas del jarabe.

En la figura 10, se determinó el comportamiento de los efectos principales en el porcentaje de remoción de color, para evaluar cuál de los tres factores implicados en el diseño factorial presenta una mayor influencia en la variable respuesta, porcentaje de remoción de color. Como se puede observar, la variable que presenta un mayor cambio en la remoción de color es la dosis de adsorbente, seguida del tipo de adsorbente y la dosis de tierra, prácticamente no tiene un efecto significativo.

Esto se puede comprobar en la figura 12, análisis de varianza del porcentaje de remoción de color, en donde se determinó que el valor p para la dosis de adsorbente y el tipo de adsorbente fue de 0 menor al valor crítico de 0,05 y la dosis de tierra obtuvo un valor p de 0,226 mayor al valor crítico, aceptando así la hipótesis alterna para las variables de tipo de adsorbente y dosis de adsorbente; y aceptando la hipótesis nula para la variable de dosis de tierra en el diseño factorial.

En el caso de la figura 11, se observan los efectos principales en el porcentaje de remoción de turbidez. Aquí sucede todo lo contrario al porcentaje de remoción de color. En este caso es la tierra el factor que fue estadísticamente más significativo, como era de esperarse debido a que el adsorbente no remueve turbidez.

Lo antes mencionado puede comprobarse en la figura 13, análisis de varianza del porcentaje de remoción de turbidez, en donde la dosis de tierra fue el único factor que obtuvo un valor p menor al valor crítico de 0,05, aceptando así la hipótesis alterna para la variable de dosis de tierra en el porcentaje de remoción de turbidez en el diseño factorial.

La figura 14 presenta el comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor fundido con azúcar crudo en función del tiempo de residencia, esta prueba se realizó disolviendo azúcar crudo con una carga de color de aproximadamente 1 432 IU, aplicando una dosis de adsorbente Ecosorb S-451 de 1,50 g/kg azúcar y una dosis de tierra diatomácea de 1,20 kg/m² de superficie de contacto en el filtro. Se determinó que el porcentaje de remoción de color es directamente proporcional al tiempo de residencia, con una tendencia lineal y un coeficiente de correlación $R = 0,9855$ mayor al coeficiente de correlación crítico $R_c = 0,95$.

Posteriormente al periodo de zafra se realizó un proceso completamente nuevo, el cual consistía en refinar azúcar crudo con una alta carga de color, el azúcar que usualmente ingresaba a refinería era de un color de 250-350 IU, y en el caso del azúcar crudo que estuvo ingresando en el periodo postzafra tuvo incluso colores por encima de 1 500 IU. Debido a esta situación se decidió utilizar los recursos disponibles para reducir el color y la turbidez.

En la figura 15, se puede observar el comportamiento del color del azúcar crudo que estaba ingresando a la refinería y el color del azúcar disuelto, conforme se fue agotando el azúcar de buena calidad de la bodega empezó a aumentar el color del ingreso de azúcar y, por ende, aumentaba el de la disolución.

La figura 16 muestra el comportamiento del color del licor clarificado y licor pulido, como se puede observar la clarificación entró a operación el día 7 postzafra, debido a que el color del licor pulido iba en aumento por el alto color de azúcar crudo que estaba ingresando para las condiciones de operación estándar, cabe resaltar que en condiciones estándar de operación, el rango permisible de color del ingreso de azúcar es de 250-350 IU y estuvo ingresando azúcar con un color promedio de 436,61 IU.

Teniendo la estación de tratamiento de licor con clarificación para luego darle un tratamiento por adsorción y filtración, como se puede observar en el apéndice 5, se controló la operación, a pesar de que el ingreso del color de azúcar era muy por encima de lo permisible, con un color promedio de azúcar crudo de 982,72 IU.

Por último, en el día 13 postzafra se decidió ayudar la operación de clarificación con un tratamiento previo de adsorción, como se puede observar en el apéndice 6, debido a que nuevamente el color del licor pulido iba incrementándose, gracias a los extremadamente altos colores de azúcar que estaban ingresando, que en promedio tuvieron un color de azúcar crudo con valor de 1 362,34 IU.

Como se puede observar en las figura 17 y 18, debido a los altos colores de azúcar que estuvo ingresando durante el periodo postzafra, los colores en la disolución y clarificación para cada una de las operaciones (revisar apéndice 4 al 6 para ver los diagramas de operación) que se tuvieron durante dicho periodo fueron aumentando, pero a pesar de ello, el porcentaje de remoción de color del licor clarificado que se obtuvo en la operación con clarificación + Ecosorb S-451 fue un 6,76 % mejor que la obtenida con la operación con clarificación, como se puede observar en la figura 19.

Esta mejora fue gracias a que se estuvo aplicando el adsorbente Ecosorb S-451, como se puede observar en el apéndice 6, lo que permitió una mayor remoción de color debido a que ciertos compuestos como los HADP, melaninas y caramelos son fácilmente removibles con adsorbentes.

En la figura 21, se puede interpretar, cómo a pesar de los aumentos de color drástico en el azúcar que estaba ingresando a la refinería, el color del licor pulido

con la operación clarificación + Ecosorb S-451 se mantuvo a una distancia no muy lejana del color del licor pulido con la operación estándar (ver apéndice 4 y 6).

Por lo tanto, el color del azúcar que ingresa a la refinería se puede aumentar cuando se trabaja con este tipo de operación, gracias a la remoción de color y turbidez que genera el clarificador junto con el adsorbente en el tratamiento del licor pulido, así como se puede observar que hay una mejora considerable al momento de meter la clarificación, según la figura 22, en donde la turbidez del licor pulido descendiendo a valores promedio de 5,34 IU y 3,58IU para la operación con clarificación y la operación con clarificación y Ecosorb S-451 respectivamente.

Por último, en las figuras 25 y 26, se puede observar cómo al momento de ingresar la operación con clarificación hubo un aumento en el porcentaje de remoción de color y turbidez, manteniendo un porcentaje de remoción total de color por encima de un 60 % y con máximos de hasta un 70 %, debido a que existieron más tratamientos de decoloración en el tratamiento de licor, removiendo así una gama amplia de colorantes que posee el azúcar.

A su vez, obteniendo valores constantes por arriba del 95 % de remoción de turbidez de licor, debido a la gran cantidad de impurezas y sólidos insolubles que remueve el clarificador.

CONCLUSIONES

1. Por medio del análisis del diseño factorial, se determinó que el factor más influyente en el porcentaje de remoción de color fue la dosis de adsorbente. Según la gráfica de efectos principales y los dos factores estadísticamente significativos fueron la dosis de adsorbente y tipo de adsorbente debido a que obtuvieron un valor p menor al valor crítico de 0,05, aceptando así la hipótesis alterna en que estas dos variables influyen en porcentaje de remoción de color.
2. Por medio del análisis del diseño factorial, se determinó que el factor más influyente en el porcentaje de remoción de turbidez fue la dosis de tierra y, estadísticamente, fue significativo debido a que obtuvo un valor p menor al valor crítico de 0,05, aceptando así la hipótesis alterna que las medias del porcentaje de remoción de color varían en función de dicha variable.
3. Se determinó que el porcentaje de remoción de color es directamente proporcional a la dosis de adsorbente para los dos tipos de adsorbentes y a diferentes dosis de tierra diatomácea, dando como mejor resultado la aplicación de adsorbente Ecosorb S-451, como se pudo observar en la figura 8.
4. Se determinó que el comportamiento del porcentaje de remoción de color del licor es directamente proporcional al tiempo de residencia, con un comportamiento lineal positivo y un $R^2=0,9712$ mayor al coeficiente de correlación crítico $R_c=0,95$.

5. Se determinó que el sistema de clarificación + Ecosorb S-451 que se llevó a cabo del día 13 postzafra al 16, fue el mejor sistema de tratamiento de licor durante el periodo de refinación de azúcar crudo, obteniendo como resultado un porcentaje de remoción total de color promedio de 68,90 %, como se pudo observar en la figura 26.

6. En las figuras 25 y 26 se determinó que el porcentaje de remoción de color y turbidez tiene un comportamiento lineal positivo en función de los días de periodo postzafra, debido a que al pasar el tiempo se fueron aplicando mayores tratamientos con la clarificación y el adsorbente, que ayudaron a mejorar dichos resultados.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis a nivel industrial del porcentaje de remoción de color y turbidez en función de la dosis de adsorbente, manteniendo el color de azúcar VHP de entrada lo más constante posible.
2. Realizar una separación del jarabe que se extrae de las centrífugas y el agua de lavado de las centrífugas, para evitar que esta agua aumente su color cuando entra en contacto con el jarabe en el tanque de jarabe.
3. Realizar un estudio de cómo afecta el color de la masa cocida y el brix, en el jarabe que se extrae de las centrífugas cuando se cargan con dicha masa cocida.
4. Comprar un tanque nuevo para utilizar en el sistema de tratamiento de licor, utilizando la operación estándar para aprovechar la doble filtración y la operación con la clarificación + Ecosorb S-451, como se observa en el apéndice 5, de esta manera se estaría mejorando el porcentaje de remoción de color y turbidez, lo que permitiría un ingreso de azúcar VHP de mayor color.
5. Realizar un estudio del efecto que tiene aplicar más tratamientos de adsorción y cómo afecta en el color y turbidez del agua dulce producida en las centrífugas.

6. Realizar un análisis del comportamiento del color y turbidez del desendulzado de espuma utilizando sistema clarificación + Ecosorb S-451.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO HERRERA, Óscar Fernando; GARCÍA CÁRCAMO, Ricardo Antonio; RENDEROS ARRUÉ, José. Carlos. *La generación de color en el proceso de producción de azúcar: proceso fabril*. El Salvador: UCA, 2014. 210 p.
2. BIENAIMÉ, Tereos; NIELSEN, Buchholz. *White sugar colour in solution: comparison of laboratory and in-line methods.*, Bélgica: Proc CITS Conference, Antwerp. 1999. 160 p.
3. BUCHHOLZ, Kelly; BRUHNS, Mridul. *The 1994/95 campaign in Germany and new technological developments*. New York: CECSA, 1995. 358 p.
4. CARDONA QUINTANA, Elmar. Giovanni. *Estudio de un caso en la industria azucarera, en relación con el proceso de clarificación del jugo de caña, con base a una técnica alternativa para la sulfitación convencional*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2013. 98 p.
5. CHEN, James. *Manual del azúcar de caña*. México D. F.: Limusa, 1985. 1200 p.

6. CLARKE, Mary Ann; NIELSEN, Bjarne Chr. *On-line measurement of colour in raw and refined sugars*. Estados Unidos: Edye LA. 1995. 68 p.
7. COMPADRE GUERRA, Miguel. *Decoloración y regeneración de resinas de intercambio iónico*. Trabajo de graduación de maestría en Ing. Industrial. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. España. 2016. 201 p.
8. ESCUDERO JARAMILLO, Fred Miguel; DIESTRA GALARRETA, Alex. Gabriel. *Influencia de la concentración de dos tipos de floculantes en el color y turbidez del jugo clarificado en Agroindustrias San Jacinto S.A.A. Nuevo Chimbote, Perú*. Trabajo de graduación de Ing. Agroindustrial. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Santa. Perú. 2016. 110 p.
9. GÁLVEZ TAUPLER, Luis. *La industria de los derivados de la caña de azúcar*. La Habana: Científico Técnica, (s.f.) 130 p.
10. GOLATO, Marcos. *Sistema de cocimiento tres templeas*. [en línea]. <<https://trapichosite.blogspot.com/2018/10/sistema-de-cocimiento-tres-templas.html>>. [Consulta: noviembre de 2020].
11. HONIG, Pieter. *Principios de tecnología azucarera*. New York: CECSA, 1953. 645 p.
12. HUGOT, Emile. *Handbook of cane sugar*. New York: Elsevier, 1986. 3 600 p.

13. KERN, Donald. *Procesos de transferencia de calor*. México: Continental. 1965. 981 p.
14. KING, Marron. *Experience and utilisation of an on-line sugar colorimeter in a raw cane mill*. [en línea]. <https://www.neltec.dk/get_file.php?d=docs/papers&v=1&f=2009-M-15-King-Marron.pdf>. [Consulta: noviembre de 2020].
15. LUIS SAN, Miguel Bento. *Colourants through cane sugar production and refining*. [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/299021841_Colorants_through_cane_sugar_production_and_refining_Part_1>. [Consulta: noviembre de 2020].
16. MATÍAS CHÁVEZ, María Fernanda. *Evaluación de la eficiencia en una refinería de azúcar al implementar un sistema de evaporación de licor*, CENGICAÑA. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2015.110 p.
17. MELGAR, Mario. *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter. 2012. 180 p.
18. OROZCO, Héctor; BUC, Rafael. *Selección de variedades CG03 y CG05 para uso comercial en la agroindustria azucarera guatemalteca*. Guatemala: CENGICAÑA. 2018. 190 p.

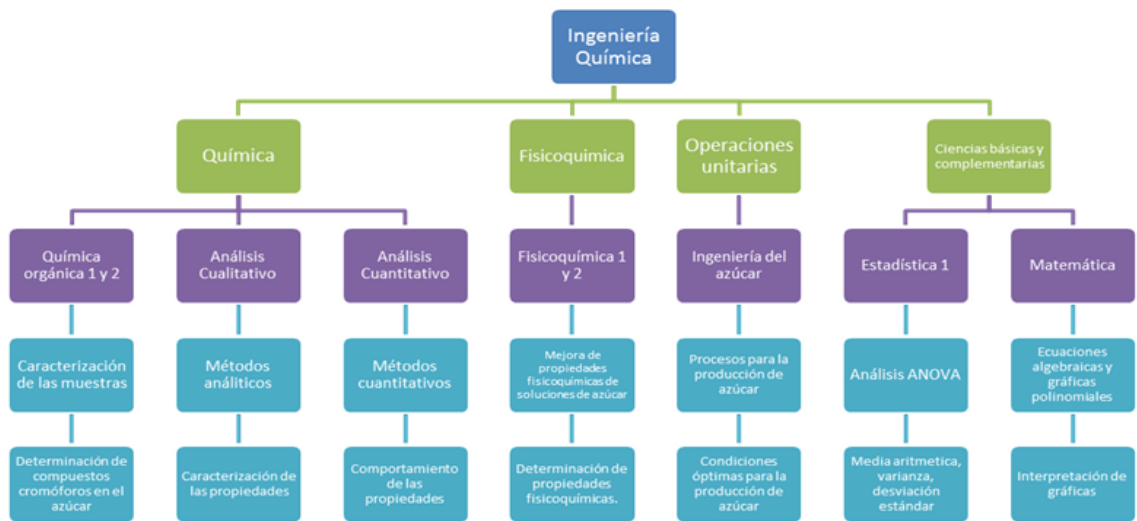
19. REGALADO REYES, Juan. Diego. *Elaboración del perfil de color de azúcar refino, en la estación de centrifugas de la refinería de azúcar del Ingenio La Unión S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2013.110 p.
20. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar.* Berlín: Bartens. 2012. 850 p.
21. ROULET SANTA CRUZ, Pavel. Enrique. *Evaluación del porcentaje de remoción de color y turbidez de un clarificador tipo Talofloc en una refinería de azúcar.* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2014. 116 p.
22. SB, Davis. *The chemistry of colour removal: a processing perspective.* [en línea]. <<https://fliphtml5.com/ftsa/ebnt/basic>>. [Consulta: noviembre de 2020].
23. SEVERNS, William. *La producción de energía mediante vapor, aire o gas.* España: Reverté. 1974. 80 p.
24. SPENCER, Meade. *Manual del azúcar de caña.* España: Limusa 1967. 530 p.

25. SOLÍS FUENTES, Julio Alberto; MORALES TÉLLEZ, Maribel; DURÁN DE BAZÚA, María del Carmen; AYALA TIRADO, Rosa Carmina. *Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña*. [en línea]. <<https://www.redalyc.org/pdf/482/48224413006.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2020].

26. ZAPAROLLI ZETINA, José. Emilio. *Determinación de la dosificación óptima de carbón activado y tierra diatomácea, para la remoción de color de licores de azúcar derretida en la fabricación de azúcar refino*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2013. 200 p.

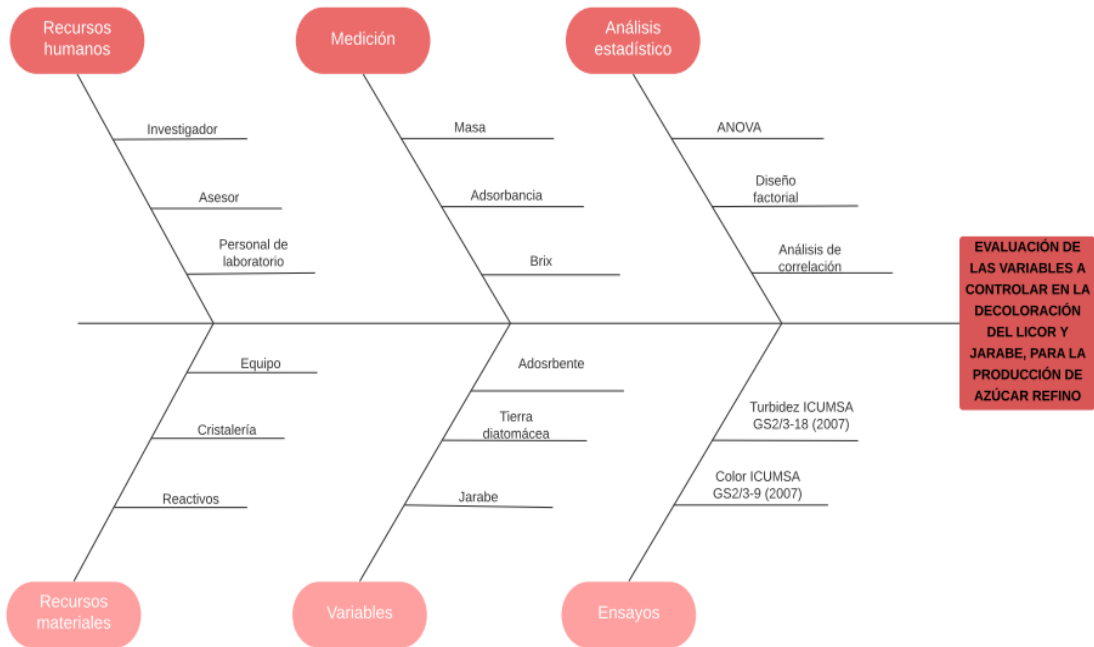
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



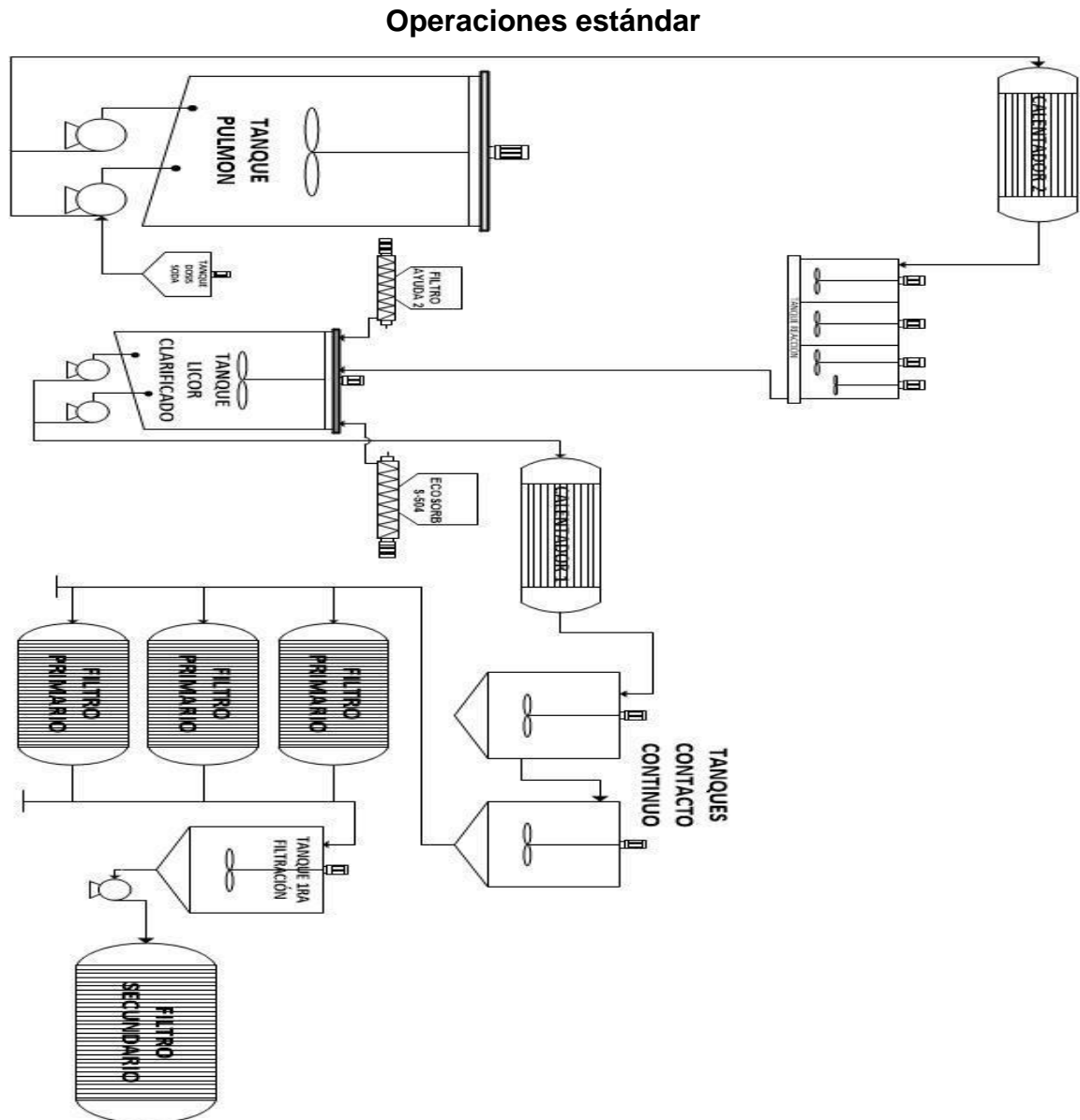
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



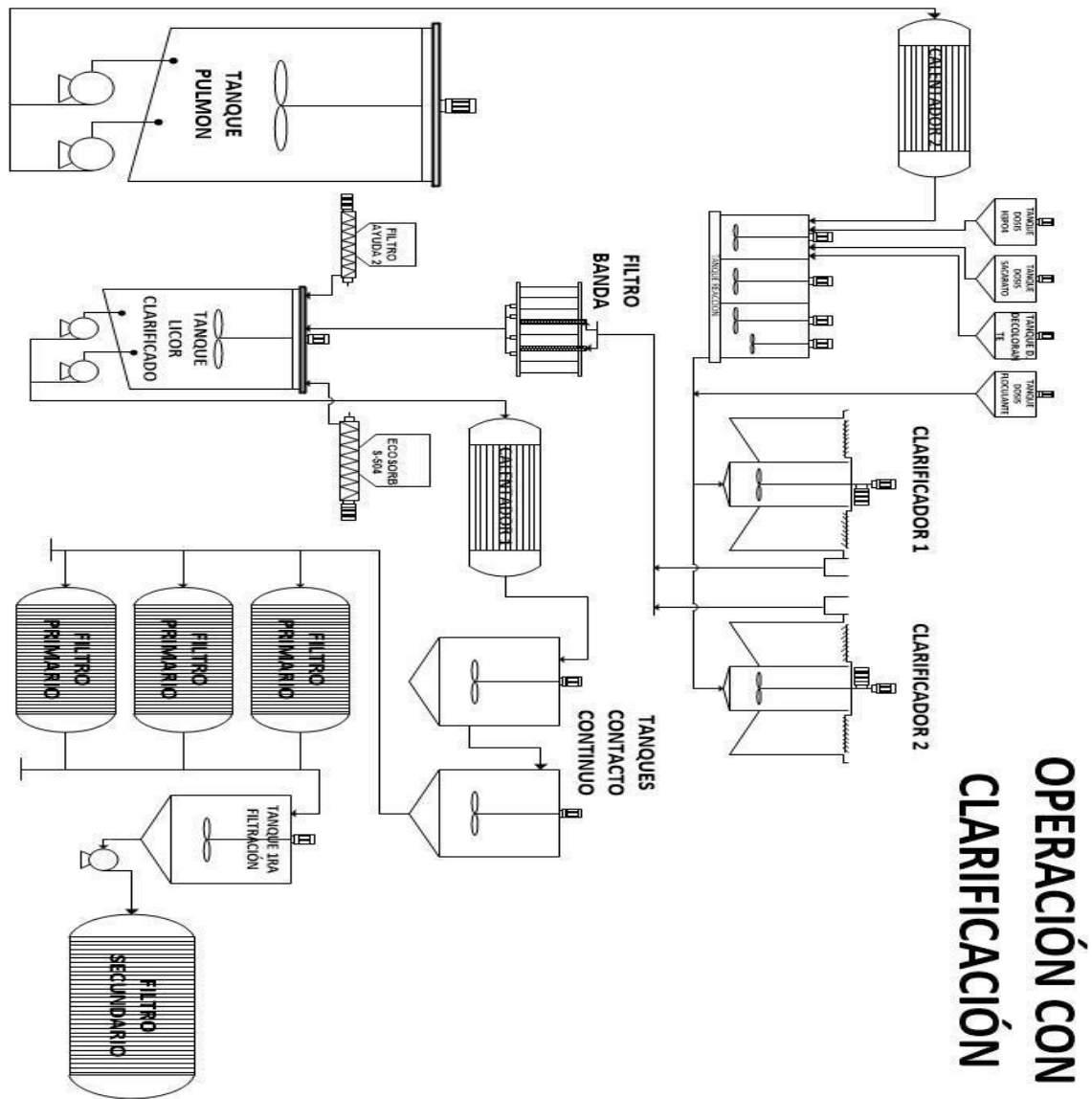
Fuente: elaboración propia, empleando Lucidchart.

Apéndice 3. **Sistema de tratamiento de licor de operación estándar en el proceso de refinación de azúcar crudo en el periodo postzafra**



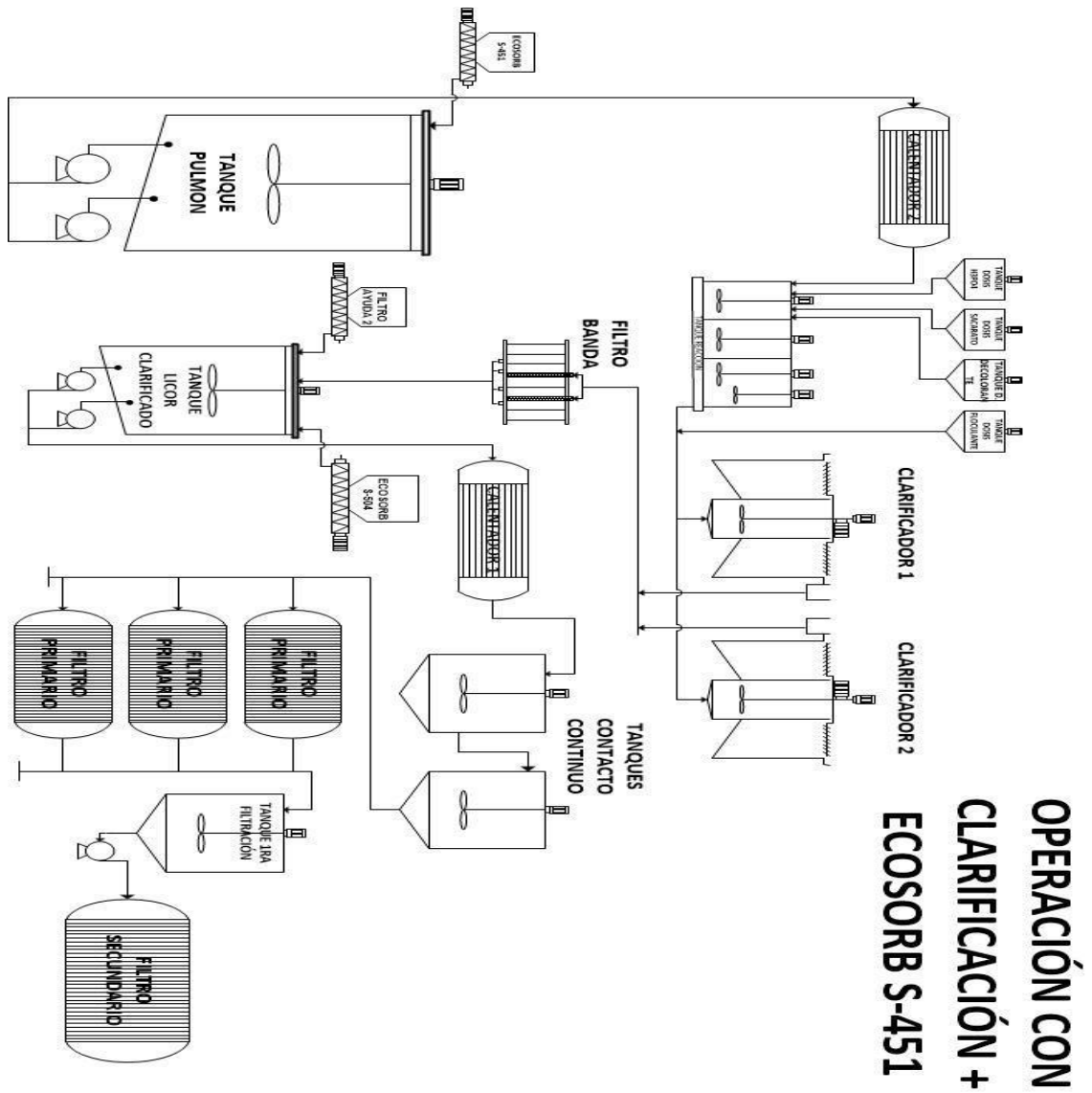
Fuente: elaboración propia, con base al proceso de tratamiento de licor, empleando Visio 2010.

Apéndice 4. **Sistema de tratamiento de licor de operación con clarificación en el proceso de refinación de azúcar crudo en el periodo postzafra**



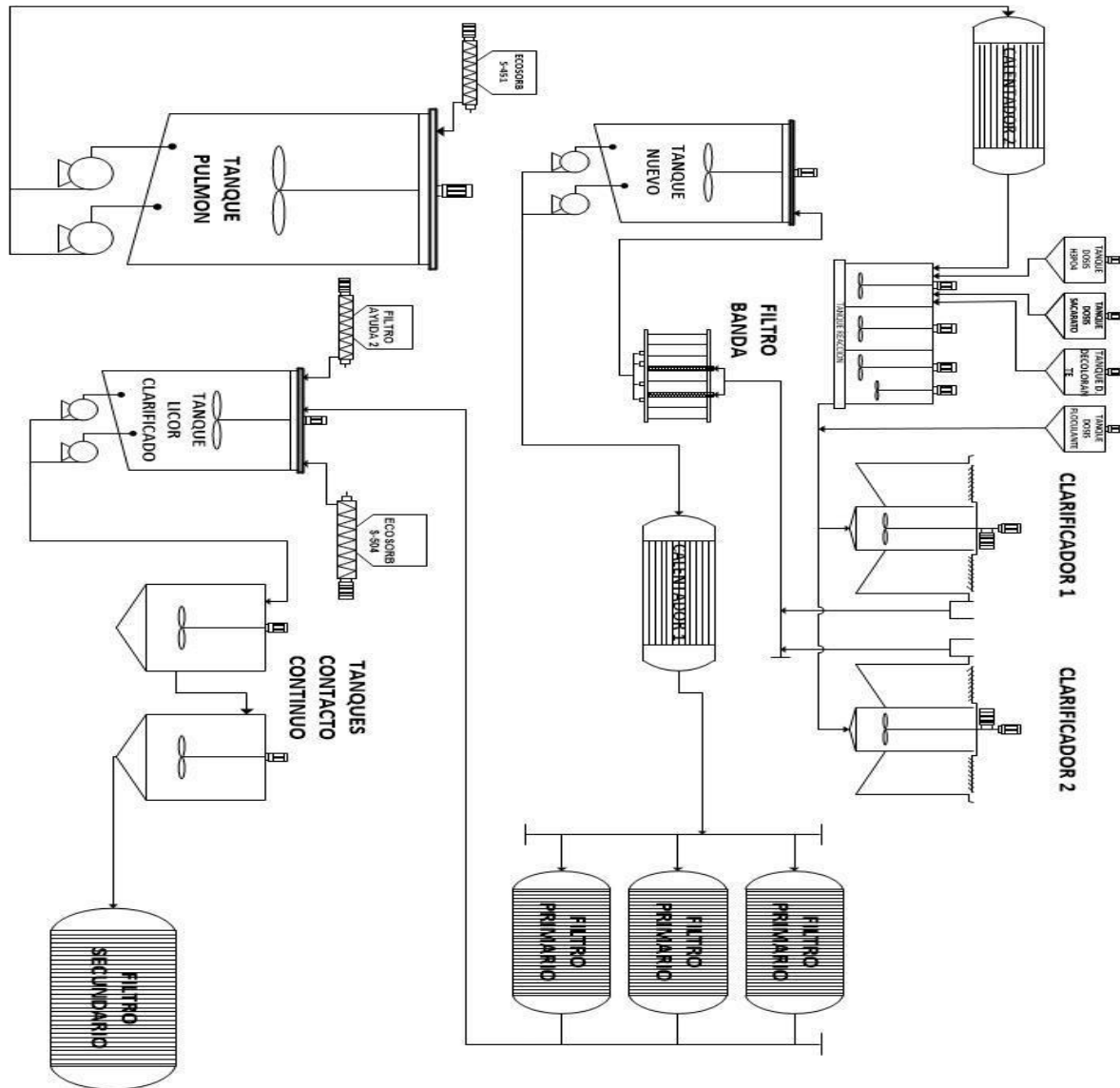
Fuente: elaboración propia con base al proceso de tratamiento de licor, Visio 2010.

Apéndice 5. **Sistema de tratamiento de licor de operación con clarificación en el proceso de refinación de azúcar crudo en el periodo postzafra**



Fuente: elaboración propia, con base al proceso de tratamiento de licor, Visio 2010

Apéndice 6. **Sistema de tratamiento de licor recomendado tomando en cuenta la operación estándar y la operación de clarificación + Ecosorb S-451**



Fuente: elaboración propia, con base al sistema propuesto para la refinería, Visio 2010.

ANEXOS

Anexo 1. **Datos experimentales de color y turbidez de ingreso de azúcar VPH en el periodo postzafra**

Azúcar ingreso a refinería			
Fecha	Hora	Color	Turbidez
01/05/2020	6:00	307	89
	7:30	438	77
	9:00	348	71
	10:30	355	92
	12:00	319	101
	13:30	286	101
	15:00	366	80
	16:30	295	89
	20:30	467	114
	22:00	555	104
	23:30	377	108
	1:30	683	162
	4:00	573	138
	Promedio	413	102
02/05/2020	6:00	313	134
	7:30	298	128
	9:00	304	155
	10:30	205	101
	12:00	239	116
	13:30	357	140
	20:00	424	113
	1:00	485	282
	4:00	330	122
	Promedio	328	143
03/05/2020	7:30	311	181
	9:00	283	143
	10:30	332	257
	12:00	307	140
	13:30	300	155
	15:00	321	116
	16:30	386	80
	18:00	306	155
	19:30	324	116
	21:00	409	139
22:30	413	146	

Continuación del anexo 1.

	0:00	336	125
	1:30	378	101
	3:00	336	92
	4:30	348	125
	Promedio	339	138
04/05/2020	6:00	351	125
	7:30	481	152
	9:00	429	143
	10:30	445	143
	12:00	422	122
	13:30	377	119
	15:00	310	116
	16:30	391	134
	18:00	435	154
	19:30	373	119
	21:00	467	99
	22:30	438	143
	0:00	707	104
	1:30	569	136
3:00	604	128	
4:30	440	134	
Promedio	452	129	
05/05/2020	6:00	582	134
	7:30	664	136
	9:00	654	163
	10:30	573	125
	12:00	571	104
	13:30	594	119
	15:00	453	172
	16:30	567	158
	18:00	705	149
	19:30	486	179
	21:00	452	149
	22:30	494	149
	0:00	438	107
	1:30	455	119
3:00	570	116	
4:30	534	104	
Promedio	550	136	
06/05/2020	14:30	212	78
	16:00	375	222
	18:30	727	234
	20:00	507	89
	0:00	495	170
	1:30	390	182
	3:00	701	158
4:30	767	135	

Continuación del anexo 1.

	Promedio	522	159	
07/05/2020	6:00	720	178	
	7:30	665	164	
	9:00	655	149	
	10:30	662	143	
	12:00	630	137	
	13:30	701	152	
	15:00	663	193	
	16:30	621	170	
	18:00	623	105	
	19:30	532	135	
	21:00	623	122	
	22:30	522	116	
	0:00	545	104	
	1:30	490	122	
	3:00	605	241	
	4:30	658	156	
		Promedio	620	149
08/05/2020	6:00	700	110	
	12:00	703	143	
	13:30	612	143	
	15:00	602	139	
	16:30	621	158	
	18:00	694	149	
	20:30	775	191	
	1:30	693	160	
	3:00	835	104	
	4:30	878	170	
		Promedio	711	147
	09/05/2020	6:00	721	142
7:30		865	164	
9:00		575	113	
10:30		692	113	
12:00		626	158	
14:00		737	169	
15:00		1 181	148	
16:30		1 124	185	
18:00		1 113	203	
19:30		1 672	369	
21:00		1 962	326	
22:30		662	125	
0:00		890	167	
1:30		871	188	
3:00		1 311	214	
4:30		776	126	

Continuación del anexo 1.

	Promedio	986	182
10/05/2020	6:00	940	177
	7:30	883	164
	9:00	836	134
	10:30	727	116
	12:00	561	134
	14:00	718	157
	15:00	773	154
	16:30	674	110
	18:00	773	167
	19:30	914	174
	21:00	1 065	188
	22:30	1 233	193
	0:00	1 348	280
	1:30	1 280	229
	3:00	1 440	185
4:30	1 526	208	
	Promedio	981	173
11/05/2020	6:00	1 150	179
	7:30	751	122
	9:00	913	167
	10:30	991	131
	12:00	718	274
	14:00	684	169
	15:00	547	481
	16:30	878	434
	18:00	654	183
	19:30	544	134
	21:00	922	327
	22:30	1 070	401
	0:00	1 591	262
	1:30	916	214
	3:00	396	104
4:30	1486	368	
	Promedio	888	247
12/05/2020	6:00	1 543	197
	7:30	973	140
	9:00	1 485	194
	10:30	1 085	191
	12:00	1 629	244
	14:00	1 439	194
	15:00	1 205	289
	16:30	968	146
	18:00	1 602	266
	19:30	2 122	251
21:00	2 224	290	

Continuación del anexo 1.

	22:30	1 525	222
	0:00	1 763	209
	1:30	1 500	242
	3:00	1 581	198
	4:30	1 738	287
	Promedio	1 524	223
13/05/2020	6:00	1 166	122
	7:30	1 276	116
	9:00	1 329	164
	10:30	1 315	95
	12:00	1 678	158
	14:00	1 301	197
	15:00	1 462	316
	16:30	1 829	236
	18:00	1 669	251
	19:30	1 339	210
	3:00	304	95
	Promedio	1 333	178
		7:30	838
9:00		1 099	84
10:30		1 007	158
12:00		912	110
14:00		1 141	200
15:00		1 460	223
16:30		833	182
18:00		1 176	236
19:30		1 293	260
21:00		872	174
22:30		985	179
0:00		1 050	242
1:30		1 463	253
3:00		1 079	315
4:30		1 004	287
Promedio		1 081	202
15/05/2020		6:00	1 271
	7:30	884	294
	9:00	1 043	194
	10:30	1 487	367
	12:00	1 538	258
	14:00	1 891	419
	15:00	1 745	343
	16:30	1 213	211
	18:00	1 699	396
	19:30	1 383	310
	21:00	1 437	274
	22:30	1 808	316
	0:00	1 785	308

Continuación del anexo 1.

	1:30	1 107	196
	3:00	1 177	197
	4:30	1 669	274
	Promedio	1 446	289
16/05/2020	6:00	1 358	239
	7:30	1 314	185
	9:00	1 780	326
	10:30	1 356	308
	12:00	1 182	424
	14:00	365	63
	15:00	411	63
	16:30	1 386	223
	18:00	2 184	298
	19:30	2 093	357
	21:00	835	193
	22:30	367	113
	0:00	1 786	338
	1:30	1 931	359
	3:00	2 201	412
	4:30	2 087	310
		Promedio	1 415
17/05/2020	6:00	2 219	422
	7:30	2 153	527
	12:00	2 030	596
	13:30	1 982	429
	15:00	2 047	492
	16:30	1 902	417
	18:00	2 206	285
	19:30	936	117
	21:00	558	60
	22:30	1 640	345
	0:00	1 533	42
	1:30	503	48
	3:00	1 571	328
	4:30	1 616	360
		Promedio	1 635

Fuente: Laboratorio de Calidad del Ingenio La Unión.

Anexo 2. **Datos experimentales de color, turbidez y pH del licor disuelto en el periodo postzafra**

Licor disuelto				
Fecha	Hora	Color	Turbidez	pH
01/05/2020	6:00	324	77	6.02
	9:00	407	85	
	12:00	393	114	
	15:00	323	79	6.06
	18:00	351	104	
	21:00	360	121	
	0:00	522	104	5.78
	3:00	639	143	
	Promedio	415	103	5.95
02/05/2020	6:00	367	119	7.54
	9:00	321	128	
	12:00	229	119	
	15:00	252	98	6.16
	18:00	233	119	
	21:00	371	159	
	0:00	376	173	5.00
	3:00	309	92	
	Promedio	307	126	6.23
03/05/2020	6:00	276	102	5.80
	9:00	294	110	
	12:00	296	101	
	15:00	321	86	5.85
	18:00	319	90	
	21:00	393	107	
	0:00	412	131	6.15
	3:00	392	121	
	Promedio	338	106	5.93
04/05/2020	15:00	345	105	6.29
	18:00	434	106	
	21:00	474	142	
	0:00	428	129	
	3:00	504	129	6.31
	Promedio	437	122	6.30
05/05/2020	6:00	522	129	6.45
	9:00	616	138	
	15:00	412	136	
	18:00	450	114	
	20:20	443	161	
	0:00	503	121	
	3:00	470	122	

Continuación del anexo 2.

	Promedio	488	132	6.45
06/05/2020	6:00	612	134	6.03
	9:00	324	324	
	12:00	489	301	
	15:00	253	138	5.93
	18:00	236	187	
	21:00	557	158	
	0:00	1 237	373	6.00
	3:00	913	413	
	Promedio	578	254	5.99
07/05/2020	6:00	613	190	5.55
	9:00	547	202	
	12:00	554	155	
	15:00	481	201	5.58
	18:00	429	682	
	21:00	477	247	
	0:00	500	99	5.54
	3:00	562	125	
	Promedio	520	238	5.56
08/05/2020	6:00	695	158	5.98
	9:00	677	166	
	12:00	659	163	
	15:00	594	145	6.20
	18:00	594	169	
	21:00	706	167	
	0:00	718	189	5.94
	3:00	611	170	
	Promedio	657	166	6.04
09/05/2020	6:00	633	177	6.23
	9:00	613	73	
	12:00	622	95	
	15:00	914	163	6.07
	18:00	796	130	
	21:00	1 297	347	
	0:00	915	159	6.09
	3:00	1 232	236	
	Promedio	878	173	6.13
10/05/2020	6:00	759	270	6.34
	9:00	947	197	
	12:00	526	164	
	15:00	621	176	6.38
	18:00	639	152	
	21:00	1 293	232	
	0:00	1 599	272	5.91
	3:00	1 347	207	

Continuación del anexo 2.

	Promedio	966	209	6.21
11/05/2020	6:00	1279	204	5.87
	9:00	779	303	
	12:00	903	316	
	15:00			
	18:00	825	286	5.99
	21:00	894	170	
	0:00	1424	310	6.06
	3:00	947	227	
	Promedio	1007	259	5.97
12/05/2020	6:00	1720	298	6.28
	9:00	946	260	
	12:00	973	241	
	15:00	978	227	6.16
	18:00	1308	242	
	21:00	1663	231	
	0:00	1741	268	5.72
	3:00	1559	315	
	Promedio	1361	260	6.05
13/05/2020	6:00	1070	195	6.06
	9:00	1406	250	
	12:00	1526	297	
	15:00	1328	353	6.15
	18:00	1481	285	
	21:00	1445	273	
	3:00	751	1443	6.21
	Promedio	1287	442	6.14
	14/05/2020	6:00	773	803
9:00		736	226	
12:00		697	240	
15:00		940	346	5.98
18:00		973	590	
21:00		944	577	
0:00		1029	896	6.16
3:00		1079	394	
Promedio		896	509	6.02
15/05/2020	6:00	527	183	6.26
	9:00	966	476	
	12:00	1731	566	
	15:00	1360	302	6.20
	18:00	1885	496	
	21:00	1386	416	
	0:00	1651	364	5.93
	3:00	1185	240	

Continuación del anexo 2.

	Promedio	1336	380	6.13
16/05/2020	6:00	1191	289	6.26
	9:00	961	2995	
	12:00	1279	1543	
	15:00	784	538	6.20
	18:00	1826	1364	
	21:00	1023	1005	
	0:00	1539	771	5.93
	3:00	1755	598	
	Promedio	1295	1138	6.13
17/05/2020	6:00	2690	660	5.63
	9:00	1996	652	
	12:00	1727	721	
	15:00	1860	680	5.75
	18:00	1796	2467	
	21:00	1503	654	
	0:00	1227	919	6.00
	3:00	465	1317	
	Promedio	1658	1009	5.79

Fuente: Laboratorio de Calidad del Ingenio La Unión.

Anexo 3. **Datos experimentales de color, turbidez y pH del licor en la primera filtración en el periodo postzafra**

Licor primera filtración				
Fecha mayo de 2020	Hora	Color	Turbidez	pH
1	8:00	418	13	7.09
	11:00	364	13	6.89
	14:00	368	3	6.67
	17:00	369	1	6.71
	20:00	543	7	6.9
	23:00	237	36	8.67
	2:00	378	45	5.58
	5:00	476	29	6.12
	Promedio	394	18	6.83
2	8:00	110	30	4.09
	11:00	169	6	5.23
	14:00	122	15	5.56
	17:00	115	4	5.82
	20:00	177	48	5.97
	23:00	123	7	5.84
	2:00	178	26	5.92
	5:00	226	19	5.96
	Promedio	153	19	5.55
3	8:00	218	42	6.23
	11:00	185	31	6.03
	14:00	184	26	6.05
	17:00	234	24	6.04
	20:00	248	31	6.11
	23:00	246	28	6.19
	2:00	260	18	6.41
	5:00	261	22	6.43
	Promedio	230	28	6.19
4	14:00	232	28	5.43
	17:00	234	42	5.48
	20:00	248	23	5.63
	2:00	348	36	5.59
	5:00	357	68	5.49
	Promedio	284	39	5.52
5	8:00	328	75	6.38
	14:00	378	56	6.47
	17:00	344	54	6.44
	20:00	356	66	6.45
	23:00	355	22	6.36
	2:00	338	21	6.29
	5:00	381	48	6.31

Continuación del anexo 3.

	Promedio	354	49	6.39
6	8:00	338	38	6.37
	11:00	249	25	6.26
	14:00	249	17	6.28
	17:00	292	32	6.24
	20:00	251	30	5.87
	2:00	261	32	5.99
	5:00	262	34	5.95
	Promedio	272	30	6.14
7	8:00	282	30	5.95
	11:00	238	14	5.72
	14:00	211	8	5.54
	17:00	259	6	6.14
	20:00	197	4	6.25
	23:00	202	4	5.93
	2:00	214	7	5.88
	5:00	237	3	5.79
Promedio	230	10	5.90	
8	8:00	217	3	6.16
	11:00	194	4	6.05
	14:00	294	14	6.03
	17:00	267	60	6.1
	20:00	242	51	6.08
	23:00	230	54	6.11
	2:00	220	26	6.15
	5:00	217	20	6.08
Promedio	235	29	6.10	
9	8:00	291	9	6.37
	11:00	249	2	6.28
	14:00	212	2	6.39
	17:00	373	3	6.17
	20:00	300	8	6.2
	23:00	508	8	6.14
	2:00	461	16	6.21
	5:00	390	14	6.18
Promedio	348	8	6.24	
10	8:00	327	5	6.24
	11:00	377	7	6.32
	14:00	247	5	6.23
	17:00	222	5	6.32
	20:00	233	9	6.44
	23:00	281	3	6.46
	2:00	552	2	6.36
5:00	503	2	6.34	

Continuación del anexo 3.

	Promedio	343	5	6.34
11	8:00	493	3	6.39
	11:00	305	3	6.67
	14:00	293	1	6.43
	17:00	287	3	6.4
	20:00	284	4	6.51
	23:00	253	3	6.32
	2:00	562	55	6.24
	5:00	573	36	6.39
	Promedio	381	14	6.42
12	8:00	451	52	6.28
	11:00	584	11	6.38
	14:00	339	3	6.63
	17:00	495	2	6.46
	20:00	493	4	6.49
	23:00	806	8	6.56
	2:00	825	17	6.37
	5:00	545	2	6.58
	Promedio	567	12	6.47
13	8:00	448	5	6.55
	11:00	467	2	6.69
	14:00	393	6	6.64
	17:00	377	5	6.48
	20:00	429	4	6.51
	23:00	442	2	6.4
	2:00	339	1	6.25
	5:00	320	1	6.32
	Promedio	402	3	6.48
14	8:00	210	1	6.37
	11:00	242	1	6.34
	14:00	231	1	6.16
	17:00	220	3	6.28
	20:00	227	2	6.22
	23:00	387	1	6.37
	2:00	365	13	6.63
	5:00	400	1	6.2
	Promedio	285	3	6.32
15	8:00	289	3	6.23
	11:00	311	8	6.36
	14:00	575	10	6.38
	17:00	542	6	6.34
	20:00	402	1	6.58
	23:00	437	13	6.82
	2:00	474	1	6.62
	5:00	392	1	6.59

Continuación del anexo 3.

	Promedio	428	5	6.49
16	8:00	394	16	6.07
	11:00	374	12	6.11
	14:00	443	6	6.22
	17:00	423	12	6.3
	20:00	570	2	6.36
	23:00	591	6	6.47
	2:00	394	3	6.1
	5:00	436	14	6.17
	Promedio	453	9	6.23
17	8:00	449	2	6.12
	11:00	401	2	5.88
	14:00	532	2	6.02
	17:00	776	11	6.25
	20:00	901	19	6.16
	23:00	799	13	6.01
	2:00	719	41	5.86
	5:00	828	5	6.00
	Promedio	676	12	6.04

Fuente: Laboratorio de Calidad del Ingenio La Unión.

Anexo 4. **Datos experimentales de color, turbidez y cálculo de porcentaje de remoción de color y turbidez del licor pulido**

Fecha mayo de 2020	Hora	Color (IU)	Turbidez (IU)	Remoción de color (%)	Remoción de turbidez (%)
01	06:00	240	12		
	08:00	194	15	64,14	88,89
	10:00	206	6		
	12:00	174	25	66,86	76,19
	14:00	238	4		
	16:00	229	11	49,67	91,73
	22:00	234	17		
	00:00	256	23		
	02:00	336	29		
	Promedio	234	16	60,22	85,60
	02	06:00	327	24	
08:00		125	18	61,77	93,41
10:00		126	19		
12:00		143	8	47,43	95,09
14:00		116	12		
20:00		158	28	42,75	83,13
22:00		120	13		
00:00		127	9	61,86	94,58
02:00		155	13		
04:00		227	13	31,63	88,29
Promedio		162	16	49,09	90,90
03	06:00	223	28		
	08:00	217	28	28,62	74,55
	10:00	196	30		
	12:00	192	37	27,55	74,83
	14:00	186	22		
	16:00	213	21	23,38	81,08
	18:00	250	21		
	20:00	248	17	32,97	87,12
	22:00	248	34		
	00:00	280	47	32,04	61,16
	02:00	273	17		
04:00	257	21	36,86	83,33	
Promedio	232	27	30,24	77,01	
04	06:00	302	48		
	08:00	248	46		
	10:00	268	36		
	12:00	243	37		
	14:00	234	26		
	16:00	220	20	42,86	81,82
	18:00	252	31		

Continuación del anexo 4.

	20:00	241	47	48,17	65,69
	22:00	285	34		
	00:00	279	33	38,00	80,47
	02:00	348	30		
	04:00	369	45	29,45	67,39
	Promedio	274	36	39,62	73,84
05	06:00	325	67		
	08:00	361	129	32,40	24,56
	10:00	432	50		
	12:00	433	111		
	14:00	375	56		
	16:00	375	59	4,82	49,14
	18:00	305	77		
	20:00	363	34	34,12	75,36
	22:00	364	18		
	00:00	371	24	16,44	78,38
	02:00	357	27		
	04:00	382	50	23,29	63,77
	Promedio	370	59	22,21	58,24
06	06:00	395	40		
	08:00	359	34	38,32	75,54
	10:00	353	46		
	12:00	321	34		
	14:00	281	24		
	16:00	321	24		
	18:00				
	20:00	253	33	17,59	86,69
	22:00				
	00:00	250	12	68,83	95,67
	02:00	149	3	37,66	96,67
	04:00	161	9	44,29	66,67
	Promedio	284	26	41,34	84,25
07	06:00	241	18		
	08:00	269	12	42,27	73,33
	10:00	262	7	47,49	85,11
	12:00	234	10	32,37	92,48
	14:00	216	7	39,66	94,44
	16:00	258	7	29,89	94,70
	18:00	225	3	29,91	84,21
	20:00	199	7	36,42	58,82
	22:00	205	9	30,51	52,63
	00:00	201	10	68,59	60,00
	02:00	208	8	67,75	84,91
	04:00	203	10	67,36	87,80
	Promedio	227	9	44,75	78,95

Continuación del anexo 4.

08	06:00	225	5		
	08:00	230	10	42,79	50,00
	10:00	242	15	52,46	69,39
	12:00	209	7	59,18	85,42
	14:00	299	9	40,91	83,02
	16:00	262	2	39,07	0,00
	18:00	239	2	34,70	97,22
	20:00				
	22:00	250	4	39,02	60,00
	00:00				
	02:00	230	8	50,43	78,95
	04:00	266	3	31,79	81,25
	Promedio	245	7	43,37	67,25
09	06:00	312	6		
	08:00	305	3	39,60	87,50
	10:00	221	4	51,43	73,33
	12:00	235	3	39,74	83,33
	14:00	207	4	28,87	33,33
	16:00	345	4	29,01	63,64
	18:00	397	2	42,04	89,47
	20:00	384	2	30,81	89,47
	22:00	360	13	45,21	40,91
	00:00	425	3	33,70	89,29
	02:00	346	4	42,33	50,00
	04:00	350	3	45,05	82,35
	Promedio	324	4	38,89	71,15
10	06:00	373	2		
	08:00	331	1	27,25	92,31
	10:00	348	4	32,95	85,19
	12:00	361	2	42,61	75,00
	14:00	266	2	39,55	93,33
	16:00	224	3	33,13	87,50
	18:00	197	24	46,76	-41,18
	20:00	228	1	28,53	96,77
	22:00	273	1	35,00	97,73
	00:00	375	4	29,51	88,24
	02:00	557	2	15,35	90,91
	04:00	531	2	24,03	92,59
	Promedio	339	4	32,24	78,04
11	06:00	371	3		
	08:00	494	1	25,49	90,91
	10:00	331	1	35,48	96,77
	12:00	257	1	43,27	95,83
	14:00	299	3	26,17	66,67
	16:00	286	3	26,85	76,92
	18:00	265	3	29,71	66,67

Continuación del anexo 4.

	20:00	270	2	31,30	80,00
	22:00	257	3	30,16	75,00
	00:00	329	2	31,46	77,78
	02:00	531	16	3,10	
	04:00	590	12	27,07	90,48
	Promedio	357	4	28,19	81,70
12	06:00	450	3		
	08:00	463	2	50,00	94,74
	10:00	615	13	36,14	62,86
	12:00	339	2	46,19	89,47
	14:00	341	4	59,06	94,59
	16:00	328	7	49,62	72,00
	18:00	446	3	35,36	82,35
	20:00	440	4	13,73	60,00
	22:00	776	6		66,67
	00:00	646	6	48,65	45,45
	02:00	749	3	28,80	91,67
	04:00	589	1	41,16	66,67
	Promedio	515	5	40,87	75,13
13	06:00	556	1		
	08:00	465	13	33,57	61,76
	10:00	469	1	31,13	92,31
	12:00	477	4	38,69	91,84
	14:00	459	2	41,00	89,47
	16:00	421	2	45,40	89,47
	18:00	380	3	32,02	88,00
	20:00	373	3	54,40	92,68
	22:00	456	1		
	00:00	442	1	40,27	87,50
	02:00	433	2	40,85	97,96
	04:00	341	1		
	Promedio	439	3	39,70	87,89
14	06:00	294	1		
	08:00	254	3	48,58	89,29
	10:00	268	2		
	12:00	246	8		
	14:00	233	3	57,40	97,79
	16:00	232	2		
	18:00	251	2		
	20:00	241	2	35,39	83,33
	22:00	383	2		
	00:00	323	1		
	02:00	347	2	26,17	81,82
	04:00	419	2		
	Promedio	291	3	41,89	88,06

Continuación del anexo 4.

15	06:00	413	2		
	08:00	306	5	53,57	93,15
	10:00	313	1		
	12:00	273	1		
	14:00	548	2	22,16	96,15
	16:00	535	3		
	18:00	391	2		
	20:00	368	2	38,56	90,00
	22:00	439	1		
	00:00	438	4		
	02:00	491	4	43,69	88,89
	04:00	401	1		
	Promedio	410	2	39,50	92,05
16	06:00	378	5		
	08:00	370	6	46,53	84,62
	10:00	394	2		
	12:00	370	2		
	14:00	431	4	33,69	91,11
	16:00	438	2		
	18:00	394	1		
	20:00	583	2	36,00	98,53
	22:00	608	3		
	00:00	348	1		
	02:00	380	1	26,21	97,22
	04:00	380	49		
	Promedio	423	7	35,61	92,87
17	06:00	503	8		
	08:00	500	5	45,89	64,29
	10:00				
	12:00	525	4		
	14:00	509	3	61,50	98,50
	16:00	444	3		
	18:00	806	6		
	20:00	852	11	29,41	92,41
	22:00	862	11		
	00:00	886	27		
	02:00	709	17	40,42	82,83
	04:00	809	2		
	Promedio	673	9	44,30	84,51

Fuente: Laboratorio de Calidad del Ingenio La Unión.

Anexo 5. **Datos experimentales de color, turbidez, pH y cálculo de porcentaje de remoción de color y turbidez del licor clarificado**

Licor clarificado							
Día periodo Postzafra	Hora	Color (IU)	Turbidez (IU)	pH	Remoción de color (%)	Remoción de turbidez (%)	
7	06:00	466	45	5,30			
	08:00	499	47	5,90			
	10:00	346	133	5,91	36,75	34,16	
	12:00	358	126	6,31			
	14:00	368	132	6,18			
	16:00	321	19	6,36	33,26	90,55	
	18:00	313	17	6,46			
	20:00	295	19	6,34			
	22:00	640	25	7,50			
	00:00	645	53	5,58			
	02:00	622	82	6,74			
	04:00	586	87	6,79			
	Promedio		455	65	6,28	35,00	62,35
	8	06:00	402	20	6,42		
08:00		509	49	6,21			
10:00		512	48	6,00	24,37	71,08	
12:00		506	53	5,84			
14:00		430	2	6,79			
16:00		366	72	6,64	38,38	50,34	
18:00		415	14	6,84			
20:00		410	10	7,02			
22:00		475	79	6,03	32,72	52,69	
00:00		464	38	7,55			
02:00		390	16	7,25			
04:00		673	25	8,15			
Promedio			463	36	6,73	31,83	58,04
9		06:00	505	24	7,10		
	08:00	455	15	7,05			
	10:00	390	18	6,58	36,38	75,34	
	12:00	291	6	6,82			
	14:00	486	11	6,54			
	16:00	685	19	6,50	25,05	88,34	
	18:00	555	19	6,80			
	20:00	657	22	6,50			
	22:00	641	28	6,71	50,58	91,93	
	00:00	600	8	6,78			
	02:00	637	17	6,85			
	04:00	739	53	7,21	40,02	77,54	

Continuación del anexo 5.


	Promedio	553	20	6,79	38,01	83,29
10	06:00	455	13	6,90		
	08:00	519	27	6,78		
	10:00	629	8	6,69	33,58	95,94
	12:00	440	30	7,19		
	14:00	335	24	6,81		
	16:00	370	17	6,88	40,42	90,34
	18:00	319	31	7,33		
	20:00	420	44	6,55		
	22:00	532	34	6,93	58,86	85,34
	00:00	658	22	7,43		
	02:00	699	27	6,59		
	04:00	641	14	6,61	52,41	93,24
	Promedio	501	24	6,89	46,32	91,22
11	06:00	663	11	7,20		
	08:00	513	31	6,80		
	10:00	453	24	6,84	41,85	92,08
	12:00	405	9	7,00		
	14:00	391	13	6,85		
	16:00	377	9	6,71		
	18:00	393	10	6,96		
	20:00	368	12	6,99		
	22:00	480	9	6,54	46,31	94,71
	00:00	548	4	6,26		
	02:00	809	126	6,33		
	04:00	656	63	6,70	30,73	72,25
	Promedio	505	27	6,77	39,63	86,34
12	06:00	926	38	7,18		
	08:00	963	35	6,98		
	10:00	630	19	7,00	33,40	92,69
	12:00	833	74	7,48		
	14:00	651	25	6,88		
	16:00	690	17	6,95	29,45	92,51
	18:00	510	10	7,24		
	20:00	436	18	7,15		
	22:00	1 258	11	6,89	24,35	95,24
	00:00	1 052	36			
	02:00	1 001	3	6,85		
	04:00	939	17	6,90	39,77	94,60
	Promedio	824	25	7,05	31,74	93,76
13	06:00	700	34	7,50		
	08:00	681	13	7,04		
	10:00	778	49	6,90	44,67	80,40
	12:00	778	19	7,19		
	14:00	771	19	6,97		
	16:00	559	25	6,99	57,91	92,92

Continuación del anexo 5.


	19:00	818	41	7,20		
	20:00					
	22:00	740	8	6,92	48,79	97,07
	01:00	732	98	6,53		
	02:00					
	04:00	510	4	6,84	32,09	99,72
	Promedio	707	31	7,01	45,86	92,53
14	06:00	494	28	6,81	36,09	96,51
	10:00	457	19	6,84	37,91	91,59
	13:00	547	136	6,80	21,52	43,33
	16:00	522	22	7,02	44,47	93,64
	19:00	373	12	6,89	62,44	97,90
	22:00	738	3	6,79	24,06	99,46
	01:00	470	11	7,22	54,87	98,75
	04:00	774	11	6,96	28,78	97,15
	Promedio	547	30	6,92	38,77	89,79
15	06:00	659	73	6,89		
	10:00	607	29	6,60	38,59	93,76
	13:00	704	52	6,88	59,27	90,60
	16:00	695	55	6,82	48,90	81,79
	19:00	599	20	7,28	68,22	95,97
	22:00	766	30	7,02	45,10	92,62
	01:00	872	36	7,52	47,08	89,85
	04:00	635	133	6,92	46,67	44,11
	Promedio	692	54	6,99	50,55	84,10
16	07:00	692	39	6,89	42,69	86,16
	10:00	587	47	7,07	40,49	98,37
	13:00	650	45	7,01	49,83	96,99
	16:00	636	31	7,12	22,96	94,05
	19:00	911	136	7,00	50,19	89,68
	22:00	613	22	6,88	41,89	97,73
	01:00	515	36	7,05	66,93	95,16
	04:00	930	80	6,15	47,00	86,31
	Promedio	692	55	6,90	45,25	93,06
17	07:00	924	14	6,80	65,18	97,79
	10:00	1239	368	6,48	37,93	43,56
	13:00	1322	200	6,95	23,72	71,24
	16:00	1308	179	7,05	30,47	68,09
	19:00	1207	145	7,00	32,61	92,50
	22:00	1214	46	6,54	23,96	91,13
	01:00	1190	99	6,85	26,19	81,92
	04:00	1473	32	7,05	29,08	62,57
	Promedio	1235	135	6,84	33,64	76,10

Fuente: Laboratorio de Calidad del Ingenio La Unión.

Anexo 6. Análisis de productos de refinería

 <p>INGENIO LA UNIÓN Responsabilidad & Desarrollo</p>	<p>Instructivo Análisis Productos de Refinería</p>	<p>Código : C - I - CC - 301 Fecha : 04 agosto del 2,020 Edición : 03 Página : 173</p>
<p>1. PROPÓSITO</p>		
<p>Este instructivo tiene como objetivo definir las metodologías analíticas empleadas en Ingenio La Unión, S.A., para determinar las propiedades de Licores, Masas y Jarabe utilizado en la producción de azúcar refino.</p>		
<p>2. DEFINICIONES</p>		
<p>Ver documento, GLOSARIO C-G-CC-003</p>		
<p>3. REFERENCIAS</p>		
<p>3.1 SPENCER – MEADE. Manual del Azúcar de Caña. España 1967. Traducción de la 9ª edición en inglés.</p>		
<p>3.2 ICUMSA (Libro de Métodos). Alemania 2013</p>		
<hr/> <p>4.4 Determinación Color y Turbidez Ref. 3.1: método GS1/3 – 7 (2011)</p>		
<p>4.4.1 EQUIPO</p>		
<ul style="list-style-type: none">• Espectrofotómetro• Beaker de 250 ml• Plancha con agitador magnético• Bomba de vacío y equipo• Refractómetro• Papel filtro de 47 mm de diámetro, tamaño de poro 0.45 micrones o equivalente• Balanza• Celda de 50 mm +/- 0.1 mm		
<p>4.4.2 REACTIVOS</p>		
<p>Emplear solamente agua destilada o desmineralizada filtrada o agua de pureza equivalente.</p>		
<p>4.4.3 METODOLOGIA</p>		
<p>A. Pesar de acuerdo a la tabla, así también se indica el tamaño de la celda que se utilizará para las lecturas de absorbancia</p>		

Continuación del anexo 6.

	Instructivo Análisis Productos de Refinería	Código : C-1-CC-301
		Fecha : 04 agosto del 2,020
		Edición : 03
		Página : 2/3

Material	Muestra (g)	Agua destilada O Desmineralizada(g)	Celda (mm)
Licor, licor NO clarificado	50.0 +/- 0.1	50.0 +/- 0.1	10 / 50
Licor clarificado	50.0 +/- 0.1	50.0 +/- 0.1	50
Licor filtrado (1ra, 2da y pulido)	50.0 +/- 0.1	50.0 +/- 0.1	50
Masa	30.0 +/- 0.1	70.0 +/- 0.1	10 / 50
Jarabe	30.0 +/- 0.1	70.0 +/- 0.1	10 / 50

B. Colocar la solución en una plancha de agitación magnética hasta homogenizar la muestra.

C. Medir brix de la solución y anotar el dato. (BRIX 1)

D. Ajustar el espectrofotómetro a 420 nm y hacer la lectura de Absorbancia 1 colocando la muestra en una celda de 10 o 50 mm, utilizando agua desmineralizada o destilada como cero.

E. Colocar la solución por espacio de 3 minutos en baño ultrasónico, la muestra de agua destilada filtrada, se debe colocar en el baño ultrasónico al igual que la muestra.

F. Llenar una celda de 10 o 50 mm con la solución y leer la absorbancia.

G. Filtrar entre 40 a 60 ml de la solución con un filtro 0.45 micrones; usando la bomba de vacío.

H. Colocar la solución en un baño ultrasónico por 3 minutos

I. Medir la materia seca refractométrica (RDS) de la solución filtrada en un refractómetro. (BRIX 2)

J. Llenar la celda de 10 o 50 mm con la solución filtrada y leer la absorbancia.

4.4.4 RESULTADOS

Color 1 ICUMSA = (Absorbancia 1) * (100,000) / ((BRIX1)* (ancho de celda)* (Densidad))


Color ICUMSA = (Absorbancia 2) * (100,000) / ((BRIX2)* (ancho de celda)* (Densidad))

Turbidez = Color 1 ICUMSA - Color ICUMSA

Redondear los resultados al número entero más cercano.

Densidad: con el brix de la solución buscar la Tabla No. 22 en el Manual del Azúcar de Caña SPENCER – MEADE, Año 1967, 9ª edición en inglés.

Continuación del anexo 6.


 INGENIO LA UNIÓN <small>Responsabilidad & Desarrollo</small>	Instructivo Análisis Productos de Refinería	Codigo : C-I-CC-301 Fecha : 04 agosto del 2020 Edición : 03 Página : 3/3
--	--	---

Nota:

- 1. Si se utilizan dos celdas, verificar que estas celdas al tomar lecturas de absorbancia con agua, no presenten resultados con una diferencia mayor de 0.2 %**

Fuente: Ingenio La Unión.

Anexo 7. Análisis de color azul refino

	Instructivo	Código : C - I - CC - 302
	Análisis de Azúcar Refino	Fecha : 04 de noviembre 2,019
		Edición : 07
		Página : 1 / 2

INDICE GENERAL

1.	Propósito	01
2.	Definiciones	01
3.	Referencias	01
4.	Desarrollo	01
4.4	Determinación de Color y Turbidez en soluciones de azúcar blanco	01

1. Propósito

Este instructivo tiene como objetivo definir las metodologías analíticas empleadas en el Ingenio La Unión, S.A., para determinar las características de calidad del azúcar refino

2. Definiciones

Ver documento, GLOSARIO C-G-CC-003

3. Referencias

3.1 ICUMSA, (International Commission for Uniform Methods of sugar Analysis. Libro de Métodos, Alemania 2013.

3.2 Coca Cola. Métodos Estándar, Físico / Químicos. Junio 2001

3.3 CTC (Centro de Tecnología Canvieira) Manual de Métodos de análisis de azúcar, Brasil, Sao Paulo Piracicaba 2013

4. Desarrollo

4.4 Determinación de Color y Turbidez en soluciones de azúcar blanco

ICUMSA, (International Commission for Uniform Methods of sugar Analysis. Libro de Métodos, Alemania 2013. Método GS 2/3/10 (2,011), Método GS 2/3-18 (2,013)

4.4.1 Equipo

<ul style="list-style-type: none"> • Espectrofotómetro con un ancho de banda ≤ 10 nm. incertidumbre • Celda de 100 o 50 mm • Baño ultrasónico • Beker de 250 ml. • Plancha con agitador magnético. • Papel filtro de 47 mm de diámetro, tamaño de poro 0.45 micrones ó equivalente de nitrato de celulosa preferiblemente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de vacío y equipo de filtración • Refractómetro +/- 0.1 incertidumbre • Balanza +/- 0.1 gramos incertidumbre K=2.1 Incertidumbre expandida con un nivel de confianza de 95.45%
--	--


4.4.2 Reactivos

Emplear agua desmineralizada o destilada.

4.4.3 Metodología

Determinación de Color

Continuación del anexo 7.

	Instructivo Análisis de Azúcar Refino	Código : C - I - CC - 302
		Fecha : 04 de noviembre 2,019
		Edición : 07
		Página : 2 / 2
<p>A. Mezclar cuidadosamente la muestra de azúcar. Pesar 50.0 ± 0.1 g de azúcar y agregarles 50.0 ± 0.1 g de agua en un besker (colores en el rango de 0 a 50 U. ICUMSA).</p> <p>B. Disolver el azúcar agitando a temperatura ambiente. Se puede usar una plancha con agitación magnética para disolver el azúcar completamente.</p> <p>C. Filtrar entre 60 a 80 mL de la solución con un filtro de 0.45 micrones; usando la bomba de vacío.</p> <p>D. Colocar el besker con la solución en el baño ultrasónico por aproximadamente 3 minutos.</p> <p>A. Medir el brix de la solución en un refractómetro y anotar como Brix 1.</p> <p>F. Encender el espectrofotómetro y seleccionar el modo de absorbancia, cambiar la longitud de onda a 420 nm. Y poner a cero el espectrofotómetro con agua filtrada desaireada.</p> <p>G. Lavar la celda con la solución y descartar, llenar la celda, leer en el espectrofotómetro y anotar como absorbancia 1.</p> <p>Determinación de turbidez</p> <p>Repetir los pasos del A al G omitiendo el paso C y calcular color de la muestra sin filtrar.</p> <p>4.4.4 Resultado</p> <p>Color ICUMSA <i>muestra filtrar</i> = (Absorbancia1) * (100,000) / ((BR1X1)* (ancho de celda)* (Densidad))</p> <p>Color ICUMSA <i>muestra sin filtrada</i> = (Absorbancia2) * (100,000) / ((BR1X2)* (ancho de celda)* (Densidad))</p>		

Fuente: Ingenio La Unión.

Anexo 8. Determinación de color en solución de azúcares crudos



Método GS1/3-7 (2011)

Determinación del color en solución de azúcares crudos, azúcares morenos y jarabes coloreados a pH 7,0 – Oficial¹

1 Alcance

Este método se aplica a la determinación del color en solución del azúcar crudo (General Subject 1), del color en solución del azúcar blanco de plantación de mayor color y de los colores de soluciones de azúcares refinados parcialmente, azúcares morenos y jarabes coloreados (General Subject 3)¹.

En el caso de la Determinación de Color en Solución de Azúcares Crudos, si el usuario tiene la libertad de elección de método, ICUMSA recomienda que se dé preferencia al Método GS9/1/2/3-8.

2 Campo de aplicación

Este método puede aplicarse para azúcares crudos, azúcares crudos afinados (General Subject 1), azúcares blancos de plantación de mayor color, azúcares refinados parcialmente y azúcares morenos (General Subject 3), siempre que sea posible preparar una solución de ensayo filtrada con el procedimiento especificado en este método. Este método Oficial está concebido para azúcares de un color mayor de 250 Unidades ICUMSA a pH 7,0 (IU_{7,0}).

3 Definiciones²

3.1 Transmisión de una solución. Si I_1 representa la energía radiante incidente sobre la primera superficie de la solución e I_2 representa la energía radiante que abandona la segunda superficie de la solución, entonces:

$$T = \frac{I_2}{I_1} = \text{transmisión de la solución}$$

(100T = porcentaje de transmisión)

3.2 Transmitancia a una solución. Si T_{soln} representa la transmisión de una célula que contiene la solución y si T_{soln} representa la transmisión de la misma o de la célula duplicada que contiene disolvente puro, entonces:

$$T_s = \frac{T_{soln}}{T_{soln}} = \text{transmisión de la solución}$$

3.3 Absorbancia (extinción).

$$A_s = -\log_{10} T_s = \text{absorbancia de la solución}$$

3.4 Índice de absorbancia (índice de extinción). Si b representa la longitud, (cm), del camino óptico entre las

superficies límite de la solución y si c representa la concentración, (g/mL), de la solución de azúcar, entonces:

$$a_s = \frac{A_s}{bc} = \text{índice de absorbancia de la solución}$$

3.5 Color ICUMSA. El valor del índice de la absorbancia multiplicado por 1000 es el denominado Color ICUMSA. Los valores que resultan se denominan Unidades ICUMSA a pH 7,0 (IU_{7,0}).

4 Fundamento

Se disuelve el azúcar en agua o se diluye el jarabe coloreado en agua; se regula la solución a pH = 7,0 y se la filtra por un filtro de membrana para eliminar la turbidez. Se mide la absorbancia de la solución filtrada a una longitud de onda de 420 nm y se calcula el color de la solución.

Se seleccionan la concentración de la solución y la longitud de la cubeta para obtener una transmitancia preferentemente en el rango comprendido entre 20 y 80 %.

5 Reactivos

Emplear solamente reactivos de grado analítico reconocido y utilizar solamente agua destilada o agua de equivalente pureza.

5.1 Solución de ácido clorhídrico, aprox. 0,1 mol/L.

5.2 Solución de hidróxido de sodio, aprox. 0,1 mol en cada L.

5.3 Medio auxiliar filtrante – p.ej. Filter Cel (Celite Corp).

6 Aparatos

6.1 Instrumento – espectrofotómetro o colorímetro capaz de medidas de la transmisión de luz a longitudes de onda de 420 nm con un ancho de banda lo más bajo posible, p.ej. ± 10 nm. El instrumento deberá estar equipado con una red de difracción, un prisma o un filtro de interferencias monocromático. Los vidrios coloreados o filtros de gelatina no son satisfactorios.

6.2 Cubetas ópticas apareadas – con una longitud de $1,0 \pm 0,001$ cm, $2,0 \pm 0,001$ cm, $5,0 \pm 0,001$ cm. Puede emplearse una segunda cubeta de referencia, siempre que un ensayo con agua destilada muestre una identidad de ambas cubetas hasta el 0,2 %.

Continuación del anexo 8.



6.3 Filtros de membrana – de nitrato de celulosa con tamaño de poro de 0,45 µm, diámetro 50 mm.

NOTA – Tamaño de poro determinado por el test del 'punto de burbuja'³.

6.4 Soporte del filtro de membrana – preferiblemente equipado con un soporte de acero inoxidable.

6.5 Medidor de pH – con resolución de 0,01 pH.

6.6 Refractómetro.

6.7 Agitador magnético.

6.8 Estufa de vacío, desecador a vacío o baño de ultrasonidos – para la desaireación de la solución de azúcar filtrada.

6.9 Balanza de laboratorio – con resolución de 0,1 g.

7 Procedimiento

7.1 Preparación de la muestra. Mezclar la muestra cuidadosamente. Pesar las cantidades de azúcar o de jarabe y agua que se muestran en la Tabla 1 (a continuación) en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y disolver/mezclar agitando a temperatura ambiente.

Tabla 1
Alícuotas de azúcar y de agua y longitud de cubeta para la medición del color⁴

ICUMSA Rango de color	Alícuota de azúcar/jarabe g	Alícuota de agua g	Longitud de cubeta (b), cm
250–500	50 ± 0,1	50 ± 0,1	2*
250–500 ⁵	30 ± 0,1	70 ± 0,1	5*
500–2000	30 ± 0,1	70 ± 0,1	1
2000–7000	10 ± 0,1	90 ± 0,1	1
7000–13000	5 ± 0,1	95 ± 0,1	1

* NOTA – Puede emplearse un mínimo de 30 % w/w, si la filtración al 50 % w/w resulta difícil.

Limpia y seca el electrodo de un medidor de pH correctamente calibrado y sumergirlo en la solución de azúcar. Ajustar la solución a pH 7,0 ± 0,1 añadiendo ácido clorhídrico 0,1 mol/L (5.1) o solución de hidróxido sódico 0,1 mol/L (5.2) con un cuentagotas fino. Agitar la solución continuamente con un agitador magnético mientras se ajusta el pH. Retirar el electrodo del medidor de pH.

Filtrar la solución de la muestra a vacío a través de un filtro de membrana (6.3) a un matraz Kitasato limpio y seco. Si la filtración es lenta, emplear un medio auxiliar filtrante (1 % sobre masa de azúcar) o ajustar la concen-

tración a un mínimo del 30 % w/w (véase NOTA arriba). Desechar la primera parte del filtrado si está turbia.

Si es necesario, desairear la solución filtrada durante 1 hora a temperatura ambiente en una estufa de vacío o en un desecador evacuado. Alternativamente, desairear el matraz que contiene la solución de azúcar sumergiéndolo en un baño de ultrasonido durante 3 min.

Medir mediante el método ICUMSA la materia seca refractométrica (RDS) de la solución con una exactitud de ± 0,1 g/100 g.⁶

7.2 Medición del color. Poner en funcionamiento el espectrofotómetro o el colorímetro (6.1) según las instrucciones del fabricante y ajustar la longitud de onda a 420 nm. Enjuagar la cubeta de medición con solución de azúcar y luego llenarla.

Determinar la absorbancia (A_s o $-\log_{10} T_s$) de la solución empleando agua destilada filtrada y desaireada como referencia estándar para el valor cero de absorbancia.

8 Expresión de resultados

8.1 Cálculo. Calcular la concentración en sólidos de la muestra disuelta, c , a partir de la materia seca refractométrica (RDS) medida en el epígrafe 7.1.

Emplear la RDS para obtener la densidad de la solución sometida a ensayo, ρ in kg/m³, de la Tabla apropiada de ICUMSA en SPS-4 o la ecuación respectiva⁷. Por tanto, la concentración de la solución de ensayo es:

$$c = \frac{\text{RDS} \times \rho}{10^5} \text{ g/mL}$$

De la definición presentada en el epígrafe 3.5:

$$\begin{aligned} \text{Color ICUMSA} &= \frac{1000 \times A_s}{b c} \\ &= \frac{10^8 \times A_s}{b \times \text{RDS} \times \rho} \text{ IU}_{7,0} \end{aligned}$$

Expresar los resultados con resolución de 10 IU_{7,0}.

NOTA – Si se emplean las Tablas del SPS-4, se deben emplear estrictamente hablando los datos para m_w/V y no los datos para ρ . Sin embargo, al emplear los datos para ρ se introduce un error del orden de solamente 0,1 %.

NOTA – JUNTO CON LOS RESULTADOS, DEBE DE INFORMARSE DEL MÉTODO QUE SE HA SEGUIDO, SI HA SIDO EL GS2/3-9, GS2/3-10 O EL GS1/3-7.

8.2 Precisión.^{1,8}

La diferencia absoluta entre dos resultados obtenidos bajo condiciones de repetibilidad (r) y reproducibilidad (R) no deberá ser mayor que valores presentados en la Tabla 2.

Continuación del anexo 8.



Tabla 2
Repetibilidad y reproducibilidad
para azúcar crudo², azúcar moreno¹
y jarabes coloreados¹

Muestra y rango de color	Repetibilidad (<i>r</i>)	Reproducibilidad (<i>R</i>)
Azúcar crudo		
500–2000	110	380
2000–7000	300	960
Azúcar moreno y jarabe coloreado		
2200–2600	130	370
4300–5600	190	1350
34000–42000	1900	5230

Los datos de precisión para azúcares blancos de plantación y azúcares parcialmente refinados no están disponibles.

9 Bibliografía

- 1 Proc. 23rd Session ICUMSA, 2002, 111
- 2 Schneider F, ed. (1979): Sugar Analysis: ICUMSA Methods, 125–126
- 3 Millipore Laboratory Catalogue (1991): Millipore Intertech, Bedford, Mass, 9
- 4 Proc. 20th Session ICUMSA, 1990, 218
- 5 Proc. 22nd Session ICUMSA, 1998, 257
- 6 Schneider F, ed. (1979): Sugar Analysis: ICUMSA Methods, 120–121
- 7 Proc. 20th Session ICUMSA, 1990, 267–268
- 8 *ibid.*, 14–17

Anexo 9. Determinación de color y turbidez en azúcar blanco



Método GS 2/3-10 (2011*)

Determinación del color en solución del azúcar blanco – Oficial^{1,2}

1 Alcance

Este método se emplea para la determinación del color en solución del azúcar blanco en azúcares que no tengan más de 50 IU¹.

NOTA – El único detalle metodológico cambiado con respecto al Método GS2/3-10 (2005) es la sustitución de “Nordzucker InnoCenter GmbH” por “Nordzucker AG” en la NOTA de la Sección 6.1.

2 Campo de aplicación

El método es aplicable a toda clase de azúcares cristalizados o azúcares blancos en polvo y jarabes muy puros (General Subjects 2 y 3), siempre que sea posible preparar una solución de ensayo filtrada con el procedimiento especificado en el método. El método no es aplicable a azúcares que contengan materias colorantes, enturbiamientos o sustancias aditivas en cantidad tal que no se pueda llevar a cabo una filtración.

NOTA – El método para la determinación de la turbidez en soluciones de azúcar blanco, Método GS2/3-18 (2007), en efecto, se basa en este Método GS2/3-10 (2007).

En el caso de la Determinación del Color en Solución del Azúcar Blanco, si el usuario tiene la libertad de elección de método, ICUMSA recomienda que se dé preferencia al Método GS9/1/2/3-8. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este método da resultados equivalentes al Método GS9/1/2/3-8 hasta un valor máximo de 50 UI.

3 Definiciones³

3.1 Transmisión de una solución. Si I_1 representa la energía radiante incidente sobre la primera superficie de la solución e I_2 representa la energía radiante que abandona la segunda superficie de la solución, entonces:

$$T = \frac{I_2}{I_1} = \text{transmisión de la solución}$$

(100 T = porcentaje de transmisión)

3.2 Transmitancia. Si T_{soln} representa la transmisión de una célula conteniendo la solución y si T_{solv} representa la transmisión de la misma célula o de la célula duplicada que contiene el solvente puro, entonces:

$$T_s = \frac{T_{\text{soln}}}{T_{\text{solv}}} = \text{transmitancia de la solución}$$

* versión precedente de 2005

01-07-2011 (Revisado)

3.3 Absorbancia (extinción). Entonces:

$$A_s = -\log_{10} T_s = \text{absorbancia de la solución}$$

3.4 Índice de absorbancia (índice de extinción). Si b representa la longitud (cm) del camino óptico entre las superficies límite de la solución y si c representa la concentración (g/mL) de la solución de azúcar, entonces:

$$a_s = \frac{A_s}{bc} = \text{índice de absorbancia de la solución}$$

3.5 Color ICUMSA. El valor del índice de absorbancia multiplicado por 1000 es el denominado color ICUMSA. Los valores que resultan se denominan unidades ICUMSA (IU).

4 Fundamento

Se disuelve azúcar blanco en agua destilada hasta tener una solución del 50 %. Se filtra la solución por un filtro membrana para eliminar la turbidez. Se mide la absorbancia de la solución filtrada a una longitud de onda de 420 nm y se calcula el color de la solución.

5 Reactivos

Emplear solamente agua destilada o agua de pureza equivalente.

6 Aparatos

6.1 Instrumento. Espectrofotómetro o colorímetro capaz de efectuar mediciones de la transmisión de la luz a 420 nm con un ancho de banda lo más bajo posible, p.ej. ± 10 nm. El instrumento deberá estar equipado con una red de difracción, un prisma o un filtro de interferencias monocromático.

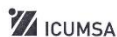
NOTA – La aptitud del instrumento para este fin especial deberá ser comprobada mediante un azúcar estándar de color conocido certificado. Puede obtenerse un tal azúcar estándar de Nordzucker AG, Langer Kamp 5, 38106 Braunschweig, Alemania.

6.2 Cubetas ópticas apareadas. Emplear una cubeta de por lo menos 4 cm de longitud. Para azúcares blancos de poco color es preferible una cubeta de 10 o más cm de longitud.

Puede emplearse una segunda cubeta de referencia, siempre que un ensayo con agua destilada muestre una identidad de ambas cubetas hasta el 0,2 %.

GS2/3-10 (2011) página 1

Continuación del anexo 9.



6.3 Filtros de membrana – preferiblemente de nitrato de celulosa de un tamaño de poro de 0,45 µm y un diámetro de 50 mm.

NOTA – Tamaño de poro determinado mediante el test punto de burbuja.⁴

6.4 Soporte de filtro de membrana. – preferiblemente provisto de un soporte de acero inoxidable.

6.5 Estufa de vacío, desecador de vacío o baño ultrasónico – para la desaireación de la solución filtrada de azúcar.

6.6 Refractómetro.

6.7 Balanza de laboratorio – con resolución de 0,1 g.

7 Procedimiento

7.1 Preparación de la muestra. Mezclar cuidadosamente la muestra de azúcar. Pesar 50,0 ± 0,1 g de la muestra en un matraz de Erlenmeyer de 250 mL, añadir 50,0 ± 0,1 g de agua destilada (5) y disolver el azúcar agitando a temperatura ambiente.

Filtrar la solución de la muestra a vacío a través de un filtro de membrana (6.3) a un matraz de Erlenmeyer limpio y seco.

Desaír la solución filtrada durante 1 hora a temperatura ambiente en una estufa de vacío o en un desecador, o, alternativamente, desairar la solución filtrada introduciendo el matraz con la solución de azúcar en un baño ultrasónico durante 3 min.

Medir la materia seca refractométrica (RDS) de la solución con exactitud de ± 0,1 g/100 g con el método⁵ ICUMSA tal como se describe en el Método GS4/3-13.

7.2 Medida del color. Preparar el instrumento para medir el color (6.1) según las instrucciones del fabricante y ajustar la longitud de onda a 420 nm. Lavar la célula de medida con solución de azúcar y llenarla. Determinar la absorbancia (A_s o $-\log_{10} T_s$) de la solución empleando agua destilada filtrada desairada como patrón de referencia de color cero.

8 Expresión de resultados

8.1 Cálculo. Calcular la concentración de sólidos en la solución, c , a partir de la materia seca refractométrica (RDS) medida en 7.1.

Emplear la materia seca refractométrica (RDS) para obtener la densidad (ρ en kg/m³ de la solución analizada) de la Tabla 1 por interpolación, de la Tabla ICUMSA apropiada, que se encuentra en SPS-4 (Standard Specifications) o de la ecuación⁶ adecuada.

Entonces, la concentración de la solución test es:

$$c = \frac{\text{RDS} \cdot \rho}{10^5} \text{ g/mL}$$

Tabla 1

% RDS	Densidad (kg/m ³)
47	1213,3
48	1218,7
49	1224,2
50	1229,7
51	1235,2
52	1240,7
53	1246,3

De la definición dada en 3.5 resulta:

$$\begin{aligned} \text{Color ICUMSA} &= \frac{1000 \cdot A_s}{bc} \\ &= \frac{10^8 \cdot A_s}{b \cdot \text{RDS} \cdot \rho} \text{ IU} \end{aligned}$$

Redondear los resultados al número entero más cercano.

NOTA – Si se usan las Tablas SPS-4, se deberán emplear precisamente los datos para m_s/V y no los datos para ρ . Al emplear los datos para ρ se introduce, sin embargo, un error de solamente 0,1 %.

NOTA – LA SELECCIÓN DEL MÉTODO, GS2/3-9, GS2/3-10, GS1/3-7 o GS9/1/2/3-8, SE DETERMINA MEDIANTE LOS RESULTADOS.

8.2 Precisión. Para azúcares con valores de color ICUMSA hasta 50 IU la diferencia absoluta entre dos resultados, obtenidos bajo condiciones de repetibilidad, no deberá ser mayor que 3 IU. Para azúcares con valores de color ICUMSA hasta 50 IU la diferencia absoluta entre dos resultados, obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad, no deberá ser mayor que 7 IU⁷.

9 Bibliografía

1. Proc. 24th Session ICUMSA, 2004, in press
2. Proc. 23rd Session ICUMSA, 2002, 77, 111
3. Schneider F, ed. (1979): Sugar Analysis: ICUMSA Methods, 125–126
4. Millipore Laboratory Catalogue (1991): Millipore Intertech, Bedford, Mass, 9
5. Schneider F, ed. (1979): Sugar Analysis: ICUMSA Methods, 120–121
6. Proc. 20th Session ICUMSA, 1990, 267–268
7. Proc. 22nd Session ICUMSA, 1998, 259–276

10 Historia

Este Método fue publicado por primera vez en el Suplemento 2000, fue revisado en los Suplementos de 2003 y de 2005 y reescrito en el Suplemento de 2007.

Anexo 10. Determinación de turbidez en azúcar blanco



Método GS2/3-18 (2013)

Determinación de la turbidez en soluciones de azúcar blanco – Oficial

1 Alcance*

Este método se emplea para la determinación de la turbidez en soluciones de azúcar blanco en azúcares cuyo color no supere 50 UI.

2 Campo de aplicación

Este método está limitado a azúcares de 50 UI de color como máximo. No es aplicable cuando se necesita un ajuste del pH, esto es, cuando el color de la solución supere 50 UI.

Este método para determinar la turbidez en azúcar blanco se deriva del Método ICUMSA GS 2/3-10 (2007). En resumen: se mide la turbidez como diferencia en el color de soluciones de azúcar blanco antes y después de la filtración. La turbidez así determinada se expresa en unidades ICUMSA de color (UI).

EL método es aplicable a toda clase de azúcares blancos cristalizados o en polvo y a jarabes muy puros (General Subjects 2 y 3), siempre que sea posible preparar una solución de ensayo filtrada con el procedimiento especificado en el método. El método no es aplicable a azúcares que contengan materias colorantes, turbidez o aditivos en cantidad tal que no se pueda llevar a cabo una filtración.

3 Definiciones

3.1 Transmisión de una solución. Si I_1 representa la energía radiante incidente sobre la primera superficie de la solución e I_2 representa la energía radiante que abandona la segunda superficie de la solución, entonces:

$$T = \frac{I_2}{I_1} = \text{transmisión de la solución}$$

(100 T = porcentaje de la transmisión)

3.2 Transmitancia. Si T_{soln} representa la transmisión de una célula conteniendo la solución y si T_{solv} repre-

senta la transmisión de la misma célula o de la célula duplicada que contiene el solvente puro, entonces:

$$T_s = \frac{T_{\text{soln}}}{T_{\text{solv}}} = \text{transmitancia de la solución}$$

3.3 Absorbancia (extinción). Entonces:

$$A_s = -\log_{10} T_s = \text{absorbancia de la solución}$$

3.4 Índice de absorbancia (índice de extinción). Si b representa la longitud (cm) del camino óptico entre las superficies límite de la solución y si c representa la concentración (g/mL) de la solución de azúcar, entonces:

$$a_s = \frac{A_s}{bc} = \text{índice de absorbancia de la solución}$$

3.5 Color y turbidez ICUMSA. El valor del índice de absorbancia multiplicado por 1000 es el denominado color ICUMSA o bien turbidez ICUMSA. Los valores que resultan se denominan unidades ICUMSA (UI).

4 Fundamento

Se disuelve azúcar blanco en agua destilada hasta obtener una solución del 50 % (peso/peso).

Se determinan la absorbancia y el color de la solución. Se filtra luego la solución por un filtro de membrana para eliminar la turbidez. Se determinan nuevamente la absorbancia y el color de la solución filtrada. La diferencia entre las dos medidas de color es la turbidez. Se mide la absorbancia a 420 nm.

5 Reactivos

Emplear solamente agua destilada o agua de pureza equivalente.

6 Aparatos

6.1 Instrumento. Espectrofotómetro o colorímetro capaz de efectuar medidas de la transmisión de la luz a 420 nm con un ancho de banda ≤ 5 nm. El instrumento deberá estar equipado con un monocromador de red de difracción, prisma o filtro de interferencias.

* ADVERTENCIA

Los métodos ICUMSA se actualizan frecuentemente siguiendo los desarrollos científicos y técnicos. Por favor, revise en www.icumsa.org > Publications > Individual Methods que el método en uso esté vigente.

Continuación del anexo 10.



6.2 Cubetas ópticas apareadas. Para todas las soluciones de azúcar blanco se recomienda una longitud de cubeta de 10 cm, particularmente para azúcares blancos de bajo color. Emplear una cubeta de por lo menos 4 cm de longitud. Para azúcares blancos de poco color es preferible una cubeta de 10 o más cm de longitud. Puede emplearse una segunda cubeta de referencia, siempre que un ensayo con agua destilada muestre una identidad de ambas cubetas hasta el 0,2 %. Con el cambio apropiado en el cálculo también se pueden emplear otras longitudes de cubetas, como por ejemplo 5 cm. Aunque pueden utilizarse otras longitudes de cubeta teniendo en cuenta el cambio correspondiente en el cálculo, la longitud mínima aceptable es 5 cm.

6.3 Filtros de membrana – de nitrato de celulosa de un tamaño de poro de 0,45 μm y un diámetro de 47 mm.

NOTA – Tamaño de poro determinado mediante el test punto de burbuja.

6.4 Soporte del filtro de membrana – preferiblemente provisto de un soporte de acero inoxidable.

6.5 Baño ultrasónico – para la desaireación de las soluciones de azúcar.

6.6 Refractómetro – p. ej. tipo Abbe, calibrado a 20 °C y que tenga un prisma con camisa de agua.

6.7 Balanza de laboratorio – con resolución de 0,1 g.

6.8 Agitador magnético.

6.9 Material de vidrio estándar de laboratorio – vasos de precipitados, matraces y varillas agitadoras.

7 Procedimiento

Mezclar cuidadosamente la muestra de azúcar. Pesar 50,0 \pm 0,1 g de la muestra en un matraz de Erlenmeyer de 250 mL, añadir 50,0 \pm 0,1 g de agua destilada (5) y disolver el azúcar por medio de un agitador magnético.

En el caso de que la solución esté llena de burbujas, normalmente desaparecerán agitando lentamente o dejando los vasos de precipitados en reposo un rato. En el caso de que no sea posible eliminar las burbujas de este modo, desairear en un baño ultrasónico durante 3 minutos. Normalmente, cuando se preparan soluciones de azúcar blanco, las burbujas no constituyen un problema.

Medir la materia seca refractométrica (RDS) de la solución en un refractómetro. Es de suma importancia llevar a cabo este paso porque diferencias muy pequeñas durante la pesada pueden alterar la concentración y, en consecuencia, cambiar los resultados. Para más detalles ver el Método ICUMSA GS4/3-13.

Poner a cero el espectrofotómetro a 420 nm con agua desionizada o agua destilada.

GS2/3-18 (2013) página 2

Si se usan cubetas ópticas reutilizables, lavar la cubeta con una cantidad pequeña de la solución a medir y asegurarse de que el exterior de la cubeta permanezca limpio y seco.

Medir la absorbancia $A_{s, \text{unfit}}$ de la solución no filtrada a 420 nm en una cubeta de longitud apropiada para el color de la solución.

Calcular el color de la solución no filtrada mediante el cálculo presentado más abajo.

Filtrar la solución de la muestra a vacío a través de un filtro de membrana (6.3) a un matraz de Erlenmeyer limpio y seco.

Desairear la solución filtrada introduciendo el matraz con la solución de azúcar en un baño ultrasónico durante 3 min.

Medir la materia seca refractométrica (RDS) de la solución con exactitud de $\pm 0,1$ g/100 g.

Leer la absorbancia $A_{s, \text{fit}}$ de la solución filtrada a 420 nm empleando una cubeta apropiada. Calcular el color de la solución filtrada mediante el cálculo presentado más abajo.

Redondear los resultados al número entero más cercano.

8 Expresión de resultados

8.1 Cálculo. Calcular la concentración de sólidos en la solución, c , a partir de la materia seca refractométrica (RDS) medida en 7.

Emplear la materia seca refractométrica (RDS) para obtener la densidad (ρ in kg/m^3 de la solución analizada) de la Tabla 1 por interpolación, de la Tabla ICUMSA apropiada SPS-4 (Standard Specifications) o de la ecuación adecuada. Entonces, la concentración de la solución de ensayo es:

$$c = \frac{\text{RDS} \cdot \rho}{10^5} \text{ g/mL}$$

Tabla 1

% RDS	Densidad (kg/m^3)
47	1213,3
48	1218,7
49	1224,2
50	1229,7
51	1235,2
52	1240,7
53	1246,3

NOTA – Si se usan las Tablas SPS-4, se deberán emplear precisamente los datos para m_v/V y no los datos para ρ . Al emplear los datos para ρ se introduce, sin embargo, un error de solamente un 0,1 %.

Continuación del anexo 10.



8.2 Cálculo para color y turbidez. Empleando las concentraciones que se basan en las lecturas del refractómetro de los sólidos totales (g/mL) se obtienen:

Color no filtrado =

$$\frac{A_{\text{total}} \cdot 1000}{(\text{longitud de la cubeta, cm}) \cdot (\text{concentración total de sólidos, g/mL})}$$

Color filtrado =

$$\frac{A_{\text{filtrado}} \cdot 1000}{(\text{longitud de la cubeta, cm}) \cdot (\text{concentración total de sólidos, g/mL})}$$

Turbidez = (color no filtrado) – (color filtrado)

Redondear los resultados al número entero más cercano.

NOTA – El color filtrado es el color del azúcar y es comparable con el valor obtenido con el Método ICUMSA GS2/3-10 (2011).

8.3 Precisión. Basado en estudios preliminares, para azúcares con valores de turbidez de hasta 20 IU, la diferencia absoluta entre dos resultados, obtenidos bajo condiciones de repetibilidad, no deberá ser mayor que 3 IU. Para azúcares con valores de turbidez hasta 20 IU la diferencia absoluta entre dos resultados, obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad, no deberá ser mayor que 5 IU.

9 Bibliografía

- *Lakenbrink C.* (2006). Referee's Report Subject 7, ICUMSA
- Millipore Laboratory Catalogue (1991): Millipore Intertech, Bedford, Mass, 9
- Proc. 20th Session ICUMSA, 1990, 267–268 GS2
- *Schneider, F.*, ed. (1979). Sugar Analysis: ICUMSA Methods, 125–126

10 Historia

El Método GS2/3-18 fue publicado por primera vez en el Libro de Métodos 2007, re-escrito por última vez en 2007 y revisado por última vez en 2013

