



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Gestión Industrial

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR DEL
AZÚCAR EN GRANO, COMO METODOLOGÍA DE REFERENCIA, MEDIANTE
UN SISTEMA DE ORDENACIÓN DE COLORES, EN UN INGENIO
AZUCARERO**

Inga. Paula Eunice Rodas Alejos

Asesorado por el Mtro. Ing. Mischael Hernández López

Retalhuleu, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR DEL
AZÚCAR EN GRANO, COMO METODOLOGÍA DE REFERENCIA, MEDIANTE
UN SISTEMA DE ORDENACIÓN DE COLORES, EN UN INGENIO
AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN GESTIÓN INDUSTRIAL

POR

INGA. PAULA EUNICE RODAS ALEJOS

ASESORADO POR EL MTRO.ING. MISCHAEEL HERNÁNDEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ARTES EN GESTIÓN INDUSTRIAL

RETALHULEU, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Miltón de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DEL TRABAJO DE
GRADUACIÓN**

DECANA	Mtro. Ing. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtra. Licda. Aura Marina Rodríguez de Peña
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Astrid Desiree Argueta del Valle
SECRETARIO	Mtro. 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:

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR DEL AZÚCAR EN GRANO, COMO METODOLOGÍA DE REFERENCIA, MEDIANTE UN SISTEMA DE ORDENACIÓN DE COLORES, EN UN INGENIO AZUCARERO

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha de 21 de septiembre de 2018.


Inga. Paula Eunice Rodas Alejos

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 467.2019

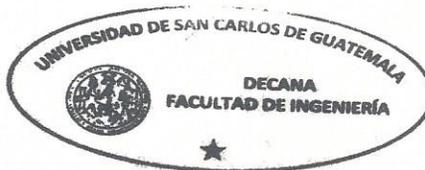
La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR DEL AZÚCAR EN GRANO, COMO METODOLOGÍA DE REFERENCIA, MEDIANTE UN SISTEMA DE ORDENACIÓN DE COLORES, EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por la **Ingeniera Paula Eunice Rodas Alejos**, estudiante de la **Maestría en Artes en Gestión Industrial** 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, octubre de 2019

/gdech

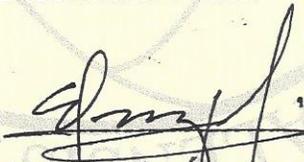


EEFFI-934-2019

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR DEL AZÚCAR EN GRANO, COMO METODOLOGÍA DE REFERENCIA, MEDIANTE UN SISTEMA DE ORDENACIÓN DE COLORES, EN UN INGENIO AZUCARERO”** presentado por la Ingeniera en Alimentos **Paula Eunice Rodas Alejos** quien se identifica con Carné **9740480**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Gestión Industrial-Retailhuleu; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2019

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Gestión Industrial-Retalhuleu doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR DEL AZÚCAR EN GRANO, COMO METODOLOGÍA DE REFERENCIA, MEDIANTE UN SISTEMA DE ORDENACIÓN DE COLORES, EN UN INGENIO AZUCARERO”** presentado por la Ingeniera en Alimentos Paula Eunice Rodas Alejos quien se identifica con Carné **9740480**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtra. Astrid Desirée Argueta del Valle
Coordinadora de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, octubre de 2019

Guatemala, 14 de octubre de 2019

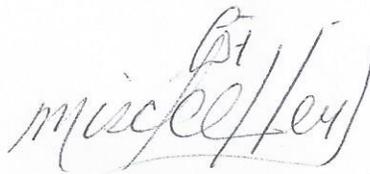
Maestro
Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
USAC – Facultad de Ingeniería
Presente.-

Estimado Mtro. Álvarez:

Por este medio le informo que en mi calidad de Asesor de la Ingeniera en Alimentos **Paula Eunice Rodas Alejos** quien se identifica con Carné **9740480** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA PARA LA MEDICIÓN DEL COLOR DEL AZÚCAR EN GRANO, COMO METODOLOGÍA DE REFERENCIA, MEDIANTE UN SISTEMA DE ORDENACIÓN DE COLORES, EN UN INGENIO AZUCARERO”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Gestión Industrial-Retalhuleu en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Mischael Hernández López

Asesor Mischael Hernández
INGENIERO QUÍMICO
COLEGIADO 1002

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS TODO PODEROSO

Porque ha estado conmigo a cada paso que doy, por darme sabiduría y permitirme finalizar una meta más en mi vida.

MI ESPOSO

Jürgen Hernández
Con amor, gracias por tu paciencia y apoyo incondicional.

MIS HIJOS

Jürgen Andree e Ian Paulo
Por ser el motivo y principal motivación, con amor incondicional.

MIS PADRES

Eduardo Enrique y María Isabel
Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por la motivación constante que me ha permitido ser lo que ahora soy.

MI ABUELITA

Paula Villarreal Alonzo

MIS HERMANOS

Jackeline Isabel, Josue Iván y Eduardo Geovany
Gracias por todo el cariño.

MIS SOBRINAS Y SOBRINITOS

Gracias, por su cariño

MI FAMILIA EN GENERAL

Gracias, por su cariño y apoyo.

MIS AMIGOS

Por su disposición y amistad.

MI AMIGA ESPECIAL

Damaris Eunice Escobar, gracias
amiga, por todo este tiempo juntas.

MI MAZATENANGO LINDO Y A MI QUERIDA GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES A:

MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO Por su amistad y el apoyo que me han brindado.

MI ASESOR Por su apoyo, disposición y confianza.

LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS.....	XIX
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXIII
1.MARCO TEÓRICO	1
1.1.Historia	1
1.2.Antecedentes del ingenio azucarero	2
1.2.1. Misión del ingenio	3
1.2.2. Visión del ingenio	3
1.2.3. Valores del ingenio.....	3
1.3.Historia de la caña de azúcar	3
1.3.1. Variedades de caña de azúcar.....	4
1.3.2. Formación de los ingenios	4
1.3.3. Consumo mundial	5

1.3.4. Importancia en la alimentación	6
1.4.Contenido de la caña de azúcar.....	6
1.5.El proceso de la caña de azúcar	7
1.6.El proceso de la fabricación de azúcar	7
1.6.1.Preparación de caña.....	8
1.6.2. Molienda	8
1.6.3. Generación de vapor y electricidad	9
1.6.4. Calentamiento.....	9
1.6.5. Clarificación	9
1.6.6. Filtración	10
1.6.7. Evaporación.....	10
1.6.8. Cristalización y centrifugación	10
1.6.9. Secado.....	11
1.6.10. Envasado.....	11
1.7.Antecedentes del azúcar.....	11
1.7.1.Azúcar.....	12
1.7.2. Sacarosa.....	13
1.8. Propiedades del azúcar	13
1.9. Calidad del azúcar	15
1.9.1. Azúcar cruda.....	15
1.9.2. Azúcar morena	15
1.9.3. Azúcar blanca	16
1.10.Color del azúcar.....	16
1.10.1. Análisis del color del azúcar	177

1.10.2. Método de color ICUMSA	17
1.10.3. Espectrofotómetro.....	17
1.10.4.El color	18
1.10.5. La colorimetría	18
1.10.6. El colorímetro	19
1.11. Sistemas de ordenación de colores	20
1.11.1 Cartilla de color	20
2.DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
2.1.Metodología a aplicar	23
2.1.1.Revisión documental.....	23
2.1.2.Plan de muestreo y trabajo de laboratorio	24
2.1.3.Evaluación del método.....	26
2.1.4.Entrenamiento del sistema de ordenación de colores.....	26
3.PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	29
3.1Elaborar la cartilla de colores	29
3.2 Comparar los resultados del ICUMSA y el sistema de coloración.....	32
3.2.1 Azúcar blanca superior	33
3.2.2 Azúcar blanca estándar	37
3.2.3 Azúcar morena.....	42
3.3Evaluar las diferencias del color antes y después de entrenamiento ..	47
3.3.1 Azúcar blanca superior	47
3.3.2 Azúcar blanca estándar	50

3.3.3 Azúcar morena	52
4.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Productos de elaboración en el ingenio	71
2.	Preparación de caña.....	71
3.	Molienda	72
4.	Generación de vapor y electricidad.....	72
5.	Calentamiento.....	73
6.	Clarificación	73
7.	Filtración	74
8.	Evaporación	74
9.	Cristalización y centrifugación.....	75
10.	Secado.....	75
11.	Envasado.....	76
12.	El proceso de la fabricación de azúcar completo.....	77
13.	Sistema de color de azúcar en grano	78
14.	Colores de azúcar blanca superior	35
15.	Colores de azúcar blanca estándar	40
16.	Colores de azúcar morena.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Las propiedades nutricionales de la caña de azúcar	79
II.	Características del azúcar blanco	79
III.	Azúcar Crudo y Azúcar morena	80
IV.	Calidades del azúcar	16
V.	Sistema de color de azúcar en grano	31
VI.	Indicaciones del sistema de colores	32
VII.	Colores de azúcar blanca superior	33
VIII.	Frecuencias en los colores azúcar blanca superior.....	34
IX.	Variables estadísticas azúcar blanca superior.....	36
X.	Prueba de U Mann-Whitney para azúcar blanca superior	37
XI.	Colores de azúcar blanca estándar superior	38
XII.	Frecuencias en los colores azúcar blanca estándar	39
XIII.	Variables estadísticas azúcar blanca estándar.....	41
XIV.	Prueba de U Mann-Whitney para azúcar blanca estándar.....	42
XV.	Colores de azúcar morena antes	43
XVI.	Frecuencias en los colores azúcar morena.....	44
XVII.	Variables estadísticas azúcar morena.....	45
XVIII.	Prueba de U Mann-Whitney para azúcar morena	46
XIX.	Colores de azúcar blanca superior antes/después	48
XX.	Frecuencias en colores azúcar blancasup.antes/después	49
XXI.	Prueba de Wilcoxon azúcar blanca superior.	49
XXII.	Colores de azúcar blanca estándar antes/después	50
XXIII.	Frecuencias en colores azúcar blanca estándar antes/después.....	51
XXIV.	Prueba de Wilcoxon azúcar blanca estándar.....	52
XXV.	Colores azúcar morena antes/después	53
XXVI.	Frecuencias en colores azúcar morena antes/después.....	54
XXVII.	Prueba de Wilcoxon azúcar morena	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°Bx.	Grados Brix
°C	Grados centígrados
%	Porcentaje
Mx.	Muestra
ACA	Acuerdo de Calidad y Abastecimiento
UI	Unidades ICUMSA
pH	Potencial de hidrógeno
SOC	Sistema de ordenación de colores

GLOSARIO

- Alza:** Recolección de la caña, tras el corte, para colocarla en las carretas o carros de ferrocarril.
- Azúcar:** Nombre con el que se conoce a los cristales que resultan del proceso del jugo de caña o de la remolacha azucarera.
- Bagazo:** Residuos de la caña después de molerla en los molinos o trapiche. Este se puede usar como abono orgánico y como material carburante.
- Brix:** Resultado de la materia seca disuelta (generalmente azúcares) presentes en un líquido.
- Cachaza:** Sustancia excluida del guarapo al ser clarificarlo en el área de calderas. Se usa como humus.
- Caña de azúcar:** Nombre común de la *Saccharum*. Gramínea compuesta de fibras, agua y sacarosa donde se obtiene el azúcar.
- Centrífuga:** Aparato que, mediante la fuerza de rotación, permite separar sustancias con peso específico distinto.
- Corte:** Recolecta en los campos de la caña de azúcar.

Desmenuzadora:	Máquina compuesta de dos mazos de estriado profundo que cortan los tallos.
Maduración:	Grado máximo de contenido en sacarosa de la caña. Indica cuánto es el tiempo correcto en que debe cortarse la caña de azúcar.
Meladura:	Sustancia que se obtiene al evaporar el guarapo claro.
Miel:	Sustancia separada de la meladura, mediante centrifugado para obtener el azúcar.
Molienda:	Parte del proceso en el que la caña se desmenuza y se le extrae el jugo.
Pol:	Es la medida de sacarosa en el jugo de la caña de azúcar. Tomando como base que la pureza de la sacarosa es igual a 100.
Perdida (caña):	Caña que no se puede utilizar para producir azúcar.
Pureza:	Es la proporción de sacarosa representado en sólidos totales que contiene el jugo de caña expresado por medio de porcentaje.
Purga:	Se extrae de la caña de azúcar, también se le conoce como miel de purga o melaza, resulta del proceso de la cristalización.

- Sacarosa:** Disacárido resultante por la combinación de dos monosacáridos: glucosa y fructuosa. Nombre acreditado del azúcar de caña o de remolacha, su fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$.
- Tachero:** Operario que trabaja en los tachos.
- Tacho:** Equipo que se utiliza para evaporar, mediante vacío la meladura y como resultante adquirir una masa cristalizada.
- Tándem:** Conjunto de máquinas necesarias para fabricar azúcar. Los grandes centrales se componían de varios tándems.
- Trapiche:** Es la maquinaria usada para moler la caña de azúcar.
- Zafra:** Nombre que se utiliza para destinar el período del año en que se corta la caña y se produce.

RESUMEN

Se realizó un estudio cuyo propósito fue diseñar una herramienta para la medición del color del azúcar en grano, como metodología de referencia mediante un sistema de ordenación de colores, se aplicó un diseño experimental en el que participaron 16 analistas del laboratorio industrial del ingenio, donde se realizó el estudio, quienes fueron los que recolectaron las muestras y realizaron los análisis de azúcar, para realizar la cartilla de colores, Se tomaron fotografías por cada clasificación de azúcar, una de azúcar superior, una de azúcar blanca estándar y una de azúcar morena, clasificando las fotos con su respectivo color, de acuerdo a los resultados obtenidos a través del método normalizado por espectrofotometría ICUMSA.

Los resultados evidencian por medio de la prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes que no hay diferencia significativa entre los resultados del método normalizado ICUMSA y el método de ordenación de colores, en los azúcares blanca superior y blanca estándar. También se demostró por medio de la prueba de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas que no hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de ordenamiento de color, debido a que es una metodología muy sencilla de utilizar y no es significativo el entrenamiento. El sistema de ordenamiento de color del azúcar es una herramienta factible, útil, económica y de fácil uso; sin embargo, el color debe de ir ligado en forma estrecha al uso del espectrofotómetro, ya que solo es una herramienta de referencia.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

Planteamiento del problema

Los ingenios azucareros tienen como fin fabricar azúcar de calidad al mismo tiempo que perfeccionan los tiempos producción, los procesos productivos, los recursos utilizados y los mecanismos ideales para cumplir con el objetivo. El proceso de entrega de resultados del producto terminado, debe mejorarse para la eficiencia del tiempo de respuesta del área de producción cuando hay variaciones del color en el azúcar, también debe ser lo suficientemente claro, que cualquier persona pueda entenderlo y realizarlo en el momento en que se precise su uso. La razón principal de esta investigación es sugerir una nueva herramienta que sirva de referencia para obtener un resultado del color del azúcar en un tiempo más reducido que con la metodología normalizada. Asimismo, desarrollar un método visual con la obtención de valores numéricos del color del azúcar en grano.

Descripción del problema

Desde su fundación, el Ingenio ha experimentado diferentes transformaciones, a pesar de ello, se conservan valores que han trascendido por generaciones y que hoy se confirman adaptándose a las condiciones cambiantes del presente. Es una organización que intenta transformar apoyar planes que le permitan realizar de forma más eficiente sus operaciones. Uno de los parámetros más representativos del que depende la clasificación de las calidades del azúcar es el color, el tiempo prolongado en que este análisis es entregado representa muchas veces reclasificación de la calidad del azúcar, cuando hay desviaciones en el proceso de producción, esto incide en

actividades que provocan atrasos en el despacho del producto y muchas veces reclamos por parte de los clientes entre ellos las empacadoras de azúcar y los transportistas.

El tiempo de realización del análisis del color del azúcar con la metodología ICUMSA es de 35 a 45 minutos aproximadamente y es el tiempo aproximado que se utiliza para cargar una plataforma con 22 jumbos de azúcar, por lo tanto, se busca reducir el tiempo de respuesta utilizando una metodología colorimétrica de referencia para la toma de decisiones inmediatas asimismo evitar pérdidas de tiempo y recursos por parte del ingenio.

No se conoce de alguna metodología de referencia, que sea efectiva y que al mismo tiempo de la oportunidad de revisar frecuentemente el color del azúcar durante la fase final del proceso de producción.

Formulación del problema

Pregunta central:

¿Cómo mejorará la medición del color del azúcar utilizando un sistema de ordenación de colores como metodología de referencia, en la industria azucarera?

Preguntas de investigación

¿Cómo sería una cartilla de colores, para azúcar en grano de las calidades blanco superior, blanca estándar y morena?

¿Cuáles son las diferencias entre los resultados de los análisis de color de un sistema de ordenación de colores para azúcar con un método estandarizado?

¿Qué diferencias causa el adiestramiento en el sistema de ordenación de colores, en los resultados del color del azúcar?

OBJETIVOS

General:

Diseñar una herramienta para la medición del color del azúcar en grano, como metodología de referencia, mediante un sistema de ordenación de colores en un ingenio azucarero.

Específicos:

1. Elaborar una cartilla de colores, para azúcar en grano en las calidades blanco superior, blanca estándar y morena.
2. Comparar los resultados del color del azúcar del sistema de ordenación de colores con un método estandarizado.
3. Evaluar el efecto de los resultados del color del azúcar, antes y después del entrenamiento del sistema de ordenación de colores.

RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

Se describirá el método, las técnicas y procedimientos a utilizar en la investigación, para el cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación.

El enfoque de la investigación es mixto, porque se utilizarán métodos cualitativos y cuantitativos. Es cuantitativo, porque se realizaron comparaciones entre el método propuesto y el método normalizado, y se analizaron por medio de un método estadístico, participaron 16 analistas del laboratorio industrial del ingenio, donde se realizó el estudio, quienes fueron los que recolectaron las muestras y realizaron los análisis de azúcar, para realizar la cartilla de colores y desde el punto de vista cualitativo, porque se usa la revisión documental para enriquecer la investigación.

La presente investigación comprende un diseño experimental, debido a que se utilizó una nueva propuesta metodológica para la medición de azúcar en grano como metodología de referencia para la empresa, donde se realizó el estudio, al mismo tiempo el desarrollo de variables cualitativas y cuantitativas del diseño de la cartilla de colores y los análisis de azúcar, bajo el método estandarizado ICUMSA, que permitieron un manejo más eficiente del tiempo de entrega de resultados a producción.

Es un estudio descriptivo, debido a que se pretende responder a todas las interrogantes del caso de estudio, basado en acciones en un tiempo corto, para la toma de decisiones, cuando se observa alguna desviación en la medida de calidad del color tomando como indicador el tiempo en que tarda la

realización del análisis de color ICUMSA comparándolo con el sistema de ordenación de colores.

El propósito es encontrar un método que pueda ser parte de las operaciones diarias, que sea efectivo, que agilice la toma de decisiones y que sirva como referencia del análisis normalizado que se utiliza actualmente, que sirva de apoyo al área de producción y de control de calidad. Los resultados fueron la caracterización visual de la cartilla de colores, la medición del color del azúcar por unidades ICUMSA, permitieron clasificar los colores con valores numéricos para realizar una escala de colores de azúcar de diversas calidades.

La fase 1 comprendió la revisión de varias fuentes bibliográficas para cimentar la investigación, también se detalla cada paso del desarrollo de la investigación. En la fase 2, se centró el plan de muestreo y trabajo de laboratorio: en esta fase se produce la implementación real del diseño de la investigación. Se realizó el trabajo experimental que permitirá conseguir los datos para proporcionarle cumplimiento a los objetivos establecidos. Se realizó la cartilla de colores clasificando las fotos con su respectivo color de acuerdo a la siguiente clasificación: azúcar superior, (100, 150, 200), blanca estándar (250, 300, 350) y azúcar morena (500, 1000, 1500). La fase 3: evaluación del método, se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes comparando los resultados de las muestras obtenidas con el método de referencia y sistema de ordenación de colores. En la fase 4, se realizó el entrenamiento del sistema de ordenación de colores, se utilizó la prueba de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas, comparando los resultados de las muestras antes y después del entrenamiento del sistema de ordenación de colores

Se realizó la propuesta del uso de esta herramienta en el departamento de control de calidad y en el área de fabricación, para que pudiera ser utilizada e incorporada en sus actividades diarias como un estudio piloto, apegada siempre a los resultados del método normalizado, este beneficio se reflejó cuando se observaron desviaciones significativas en el color del azúcar, permitiendo tomar las decisiones correspondientes, asimismo reduciendo significativamente el trabajo que realiza el área de fabricación y logística al encontrar desviaciones de color en el azúcar, creando una nueva perspectiva de mejora y líneas a futuro respecto a la investigación.

INTRODUCCIÓN

El proceso de producción de un ingenio azucarero tiene como fin fabricar azúcar de calidad optimizando el tiempo, los procesos, los recursos y los procedimientos necesarios para cumplir con el objetivo. El color es un atributo que ayuda a inferir en la calidad de un producto, causando cierta aceptación o rechazo al percibir ciertos cambios o anomalías en la coloración de un producto. Sin embargo, es un aspecto muy subjetivo, ya que cada persona describe las características visuales de un producto de un modo distinto. La presente investigación tiene como objetivo reducir el tiempo de obtención de los resultados del color del azúcar, asimismo la detección a tiempo de las desviaciones del color del azúcar en el área de fabricación, planteando el diseño de una herramienta paralela al actual método de análisis de color, sin tratar de sustituirlo, esta será una propuesta de un análisis visual utilizando la metodología de colorimetría y la espectrofotometría que se encarga de medir los colores y obtener la cuantificación de los mismos favoreciendo su estandarización.

En el primer capítulo de esta investigación, se explican los términos que se utilizan en la fabricación del azúcar a partir de la caña de azúcar, se describen los antecedentes de la empresa donde se realizó el estudio y una breve reseña histórica, también se hace una descripción del proceso de azúcar y como el color del azúcar es tan importante en la industria azucarera en cuanto a la clasificación de la calidad del azúcar.

En el capítulo dos, se describe cada fase del desarrollo de la investigación; en el capítulo tres se presentan los resultados obtenidos que dan

respuesta a los objetivos planteados para la implementación del sistema propuesto, que tiene como una característica importante en este estudio la gestión del manejo eficiente del tiempo usando el sistema de ordenación de colores, que se lleva a cabo a través de las mediciones colorimétricas comparándolas con un método que sea reconocido y que este normalizado por la industria azucarera, para que sea usado como referencia. El método que se utilizó como referencia estándar, es el método de color ICUMSA (La comisión internacional de métodos uniformes para el análisis del azúcar). La intención de la realización de esta investigación es elaborar un sistema de ordenación de colores del azúcar, como referencia visual utilizando las calidades de azúcar superior, estándar y morena. El estudio se realizó bajo un enfoque mixto, es una investigación que no se ha realizado, por lo tanto, es experimental, se dio a conocer como un estudio piloto, esto puede apoyar a solucionar el inconveniente que causa el tiempo de reacción ante una posible desviación del color del azúcar durante el proceso de producción.

Finalmente, en el capítulo cuatro, se discuten sobre los resultados obtenidos en el estudio, se concluye con el estudio realizado, donde se demostró por medio de la prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes que no hay diferencia significativa entre el método normalizado ICUMSA y el sistema de ordenación de colores, en la azúcar blanca superior y la azúcar blanca estándar; sin embargo, sí hay diferencia significativa con el uso de la cartilla de color en la azúcar morena. Se observó que también la escala de ordenación de colores del azúcar, sí influye directamente en los resultados estadísticos, de la azúcar morena específicamente. También se demostró por medio de la prueba de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas que no hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de ordenamiento de color en las calidades de azúcar blanca superior, azúcar

blanca estándar y azúcar morena, debido a que es un técnica muy fácil de manejar y no es significativo el entrenamiento; por ello es necesario realizarlo para obtener datos más confiables. Sin embargo, con los resultados obtenidos se recomendaría desarrollar un sistema de ordenamiento de color con una escala más estrecha, para obtener resultados más precisos y confiables en las tres calidades del azúcar.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Historia

El ingenio azucarero está ubicado en el kilómetro 142.5 carretera al pacífico, en San Antonio Suchitepéquez. El Estado de Guatemala se hizo acreedor de la fábrica de azúcar y debió estar bajo la Dirección del Departamento de Fincas Rústicas Nacionales e Intervenidas. El 12 de julio de 1962, el banco Crédito Hipotecario Nacional colocó a precio de venta bajo el ingenio. El ingenio fue adquirido en subasta pública por un grupo de 186 agricultores cañeros y empresarios, que se constituyeron como una Cooperativa Agrícola Industrial, que formaba parte del ingenio, que entregaban su caña ala fabrica. Inició con el cultivo de caña de azúcar y ubicó un ingenio para moler mil toneladas de caña diaria, la fabricación empezó en 1930.El nuevo propietario del ingenio, inició programas para aumentar su capacidad de molienda y alcanzó una significativa ampliación que aumentó su capacidad de molienda a 4,000 toneladas por día de caña de azúcar.

Asimismo, se adquirió un taller de fundición con herramienta pesada, con el cual se construyó una buena parte del equipo de ingenio Palo Gordo, sobre todo, el de evaporación. En 1988, el área de campo se enfocó en la cosecha con el sistema de corte, alce y transporte a granel, mejor conocido como CAT. Se introdujo tecnología en el control de plagas y enfermedades, incorporando la prohibición total del uso de insecticidas químicos en el cultivo de la caña, se incrementó el uso de riego en los campos, se inspeccionaron todos los suelos del área de influencia para realizar la fertilización específica con base en

requerimientos de cultivo. La producción de semilla purificada se desarrolló hasta llegar a tener el 100% de los cambios sobre esta semilla y se genera un aumento del 50% del área con madurante. En este ingenio se trabaja en una serie de sistemas, los cuales permiten mejorar la gestión de calidad e inocuidad y entregar productos que garanticen los requisitos y expectativas de nuestros clientes.

1.2. Antecedentes del ingenio azucarero

Su fundación, el ingenio ha experimentado diferentes transformaciones, a pesar de ello, se conservan valores que han trascendido por generaciones y que hoy se confirman adaptándose a las condiciones cambiantes del presente. El ingenio cuenta con una planta de cogeneración, que genera 33MW, los cuales se utilizan proporcionalmente un 27%, para consumos propios del ingenio durante la zafra y el 73% restante es entregado a la red eléctrica nacional, para aportar energía a la demanda del país, a un voltaje de 230KV. En 1984, el ingenio adquirió en Brasil una planta destiladora de alcohol carburante, que fue la primera anexa a un ingenio en Guatemala (Ver figura 1 Anexo, pág. 61)

El 40% de producción de azúcar se consume en el mercado local, en diversas formas, tamaños y marcas y el otro 60% se vende en el mercado internacional donde se exporta, a través de EXPOGRANEL. Esta moderna terminal de exportación localizada en la costa del pacífico del país, permite embarcar 2,000 toneladas métricas de azúcar por hora, hoy por hoy Puerto Quetzal tiene una de las terminales de embarque más eficientes en la industria del azúcar a nivel mundial. Las opciones que abre el mercado mundial, nos guían a la obtención de nuevos productos, además de la producción de azúcar y alcohol.

1.2.1. Misión del ingenio

Transformar recursos naturales en energía para el desarrollo en beneficio de nuestros aliados estratégicos (clientes, accionistas, colaboradores, proveedores y las comunidades vecinas), respetando el ambiente.

1.2.2 Visión del ingenio

Ser la mejor opción en Centro América para crear valor a nuestros aliados estratégicos.

1.2.3 Valores del ingenio

- Rentabilidad con responsabilidad social empresarial y sostenibilidad.
- Nos guiamos por principios éticos.
- Tenemos una actitud proactiva y optimista.
- Somos innovadores y promotores del cambio.
- Creamos un entorno de trabajo agradable seguro y eficaz.
- Estamos comprometidos con la optimización constante de la calidad de nuestros productos y servicios.
- Hay un sólido compromiso para crear de valor para los inversionistas.

1.3. Historia de la caña de azúcar

Uno de los cultivos más antiguos en el mundo es la caña de azúcar, no se conoce con exactitud cuándo empieza su cultivo, se calcula que fue 3.000 años A.C. al inicio se apreció como una variedad de forraje en Nueva Guinea, luego se extendió a Borneo, Sumatra e India. La caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas, tiene características como el tronco duro, lleno de un tejido poroso y dulce del que se obtiene el azúcar y puede alcanzar hasta dos metros de alto; tiene hojas en forma alargada, sencillas, lisas y sus flores poseen una forma de piramidal. Se trata de no desperdiciar todo de esta planta.

Según historiadores, se sabe que la obtención del azúcar se observó primero en la India. Se sabe también que el general griego Nearchus, junto a Alejandro el Grande viajaron a la India en el IV siglo a.C. narró obtuvo miel de una caña sin la ayuda de las abejas. Hernández (1992).

1.3.1 Variedades de caña de azúcar

Existen una gran diversidad de especies y variedades de la caña de azúcar, debido a la fusión de composiciones químicas que se han desarrollado en diversos países, cuya finalidad es de lograr plantas que presenten un mejor rendimiento y gran resistencia a las distintas zonas, enfermedades, climas, plagas y enfermedades donde se cultiva la caña de azúcar. Hernández (1992).

Conocer las variedades, sus características productivas y de adaptabilidad facilitan comprender el sistema productivo, ayuda a la toma de decisiones y orienta el manejo del cultivo. Una Buena Práctica Agrícola no sólo es conocer las variedades sino saber cuál es la que tiene cultivada, las que se pueden tener según condiciones de la finca, comprender el porqué de sus características productivas y cómo apoyar la sostenibilidad ambiental. Los más grandes beneficios financieros se pueden obtener al procesar las diversidades de caña que se adapten a las unidades agroecológicas y el conocimiento de su manejo agronómico. Esta información es muy importante para disminuir los costos de producción y aumentarla competitividad de la industria azucarera. Cenicaña(1992).

1.3.2 Formación de los Ingenios

Se denomina ingenio azucarero o simplemente ingenio a una antigua hacienda colonial americana (con precedentes en las Islas Canarias) con infraestructuras para la moler caña de azúcar, con el objeto de obtener como productos principales azúcar, ron y alcohol. Su antecedente es el trapiche, cuya

escala de producción era muy pequeña, a su vez, el ingenio vino a ser desplazado por las modernas azucareras que se desarrollaron en el siglo XX. Sin embargo, la siembra de la caña de azúcar no es nativo de América, éste se adaptó rápidamente a los ambientes cálidos y tropicales. Hernández (1992).

Cabe destacar que, desde el surgimiento de los ingenios, se conformaron entidades de contexto rodeando una de las actividades productivas y económicas de mayor potencia a nivel nacional como lo es el “sector cañero”. Estas entidades político-gremiales impactaron no solo a las formas organizativas de los productores de caña de azúcar sino a la organización interna de los ingenios, su comercialización y su relación con el Estado y gobierno. Hernández (1992).

1.3.3 Consumo mundial

La caña de azúcar constituye la siembra más importante en la producción azucarera en el mundo. En el continente asiático, el área total de producción es de 19.24 millones de hectáreas que representan el 42.5%, América representa el 47.7%, África y Oceanía cultivan 7.4% y 2.4%, respectivamente. Además de la producción de azúcar provee subproductos como el etanol para uso energético, etanol hidratado (entre 4 o 5% de agua) para uso en motores de explosión, generación de energía eléctrica y materia prima para alimentación animal. Chaves, (2002)

La mayor parte de la caña de azúcar producida a nivel mundial se queda para consumo interno en los países productores, y es consignada a las industrias de azúcar y alcohol. Los datos obtenidos de la FAO, el mayor consumidor de azúcar para el período 2006/2008 a nivel mundial es Brasil. USAID (2011)

1.3.4 Importancia en la alimentación

La caña de azúcar es plantada extensamente en países cálidos por el azúcar que contiene en los tallos. Es un endulzante natural usado ampliamente y su azúcar es similar a la obtenida por la remolacha. Fretes (2011). La calidad de la caña se reconoce desde el momento de la molienda por la cantidad de azúcares recuperables o rendimiento que se obtiene por tonelada de caña molida, lo cual depende de características como: bajo contenido de materiales extraños, bajo contenido de sólidos solubles diferentes a la sacarosa, bajos niveles de fibra y alto contenido de sacarosa. Chaves (2002), (Ver tabla 1Anexo, pág. 69)

1.4. Contenido de la caña de azúcar

Los componentes del jugo de la caña de azúcar son muy versátiles por eso es importante establecer una tecnología flexible para obtener el máximo de eficiencia. Es importante entender que la fabricación del azúcar de la caña, el azúcar es formado en el campo y la industria sólo efectúa su extracción y posterior cristalización al máximo de eficiencia y rendimientos económicos. Ramos (2009).

Los compuestos de la caña de azúcar son: agua, sólidos disueltos y fibra. La fibra, consiste en fibra vegetal y materia soluble que no es fibrosa, pero está incluida en la fibra obtenida en el análisis de la caña y bagazo y a veces medida como cenizas. Sólidos disueltos, también conocidos como brix, que consiste de la materia en caña, soluble en agua, sacarosa (usualmente se mide en forma aproximada como polarización o pol), no sacarosa (demás material soluble que se halla en solución), en ocasiones se denominan también como no azúcares o no pol. Rein (2012)

El agua, se puede dividir en dos, agua disponible, (el solvente en que sacarosa y no sacarosa están disueltos) y agua libre de Brix (agua que está ligada a la estructura celulósica de la caña, por ello no se encuentra disponible como para disolver la sacarosa y no sacarosa, por tanto, no es extraída en el proceso de molienda). Estos componentes varían dependiendo de la variedad de la caña, el tiempo de maduración, los factores climatológicos y el área de donde proviene, es muy importante tener en cuenta estas condiciones, porque los componentes son muy cambiantes día a día, ya que el proceso de fabricación de azúcar depende de la materia prima que entra a la fábrica. Rein (2012)

1.5. El proceso de la caña de azúcar

La caña de azúcar es agricultura de las zonas cálidas y su aprovechamiento ha formado uno de las primordiales tendencias económicas de Guatemala, debido a la variedad de productos finales que de ella resultan. Para cultivar la caña de azúcar, se observan tres amplios conjuntos de actividades que se realizan en el campo: siembra, manejo de plantación y cosecha. Chen (1991)

1.6. El proceso de la fabricación de azúcar

El proceso industrial para la fabricación de azúcar implica: convertir el jugo de caña en cristales y descartar de modo natural las impurezas que pudieran resultar dañinas para el organismo. El proceso empieza pesando las unidades que transportan la caña de azúcar en las básculas del ingenio y que se encuentran al ingreso del área industrial. Es en esta parte del proceso donde se puede establecer características de calidad de la materia prima, para ello se sacan muestras que se analizan de forma continua en el laboratorio de control de calidad. Cenicaña (1992).

El proceso de fabricación consta de los siguientes subprocesos:

- Preparación de caña
- Molienda
- Generación de vapor y electricidad
- Calentamiento
- Clarificación
- Filtración
- Evaporación
- Cristalización y centrifugación
- Secado
- Envasado

1.6.1 Preparación de caña

La caña que llega al ingenio se descarga por medio de un vibrador hidráulico hacia una mesa de alimentación. Es en esta mesa de alimentación donde la caña es lavada para eliminar la materia extraña como tierra, basura, etc. Luego la caña se somete a un proceso de preparación que consiste en romper y desfibrar los tallos de la caña, por medio de máquinas troceadoras, picadoras oscilantes y desfibradoras, para poder pasar al proceso de extracción del jugo. (Ver figura2, Anexo, pág.61)

1.6.2 Molienda

Este es un proceso continuo en donde la caña preparada pasa por las picadoras entra al tándem de molinos, los tándems se alimentan con caña preparada, la cual es sometida a una serie de extracciones utilizando molinos. Es decir, estos equipos son los encargados de moler la caña, donde por medio de los molinos se exprime y le lava el colchón de bagazo. El subproducto industrial conocido como bagazo, se traslada hacia el sistema de calderas para

usarlo en calidad de biomasa como combustible. El sobrante se hidroliza y queda como reserva para cubrir paros de emergencia. (Ver figura3, Anexo pág. 62)

1.6.3 Generación de vapor y electricidad

Proceso en el que se genera vapor vivo o vapor de alta presión para movilizar las turbinas de vapor que forman parte vital del funcionamiento de los molinos y de los turbogeneradores de energía eléctrica. El vapor es obtenido en las calderas por la combustión de bagazo final carbón u otros. (Ver Figura4, Anexo, pág.62)

1.6.4 Calentamiento

Proceso en el que se eleva la temperatura del jugo diluido hasta el punto de ebullición (105°C). Seguido del primer calentamiento se le añade cal al jugo antes de bombearlo al segundo equipo del calentador. (Ver figura5, Anexo, pág. 63)

1.6.5 Clarificación

El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores, luego pasa por la torre de sulfatación, bajando el PH para producir azúcar blanco únicamente. Posteriormente, el siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores para permitir la concentración de lodos y que pueden ser extraídos por gravedad en el clarificador y se produce la disociación de los sólidos no solubles del jugo diluido, el sólido es depuesto por abajo del clarificador y el jugo diluido es extraído por la parte superior. (Ver figura6, Anexo, pág. 63)

1.6.6 Filtración

Los sólidos sedimentados (cachaza) en los clarificadores se depositan en el fondo del clarificador, se envía hacia los filtros rotativos al vacío para extraerle el jugo remanente mediante el lavado de la torta. En esta operación se obtiene jugo filtrado, que se retorna al tanque de jugo alcalizado para continuar con el proceso. (Ver figura7,Anexo,pág.64)

1.6.7 Evaporación

Este es el proceso donde se separa la mayor cantidad de agua presente en el jugo claro, el producto resultante de este proceso se conoce como meladura. (Ver figura8,Anexo,pág.64)

1.6.8 Cristalización y centrifugación

La precipitación o cristalización de la sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío. De estos cocimientos, según su pureza se puede obtener azúcar crudo y azúcar blanco. Este es un proceso prolongado, el cual se puede acelerar al introducir granos microscópicos de azúcar al tacho, denominados semillas. De los tachos se consiguen compuestos con distintos tamaños de cristales y miel, compuestos que luego son separados en las centrifugas. La centrifugación es el proceso mediante el cual los cristales del azúcar se apartan de la miel restante en la centrifugas, equipos cilíndricos que giran a gran velocidad. La miel es pasada a través de telas, los cristales quedan retenidos dentro de las centrifugas y luego se lavan con agua. Las mieles son devueltas a los tachos o se pueden utilizar como materia prima para la producción de alcohol en las destilerías. El azúcar se precede a secar y enfriar. (Ver figura9,Anexo,pág. 65)

1.6.9 Secado

El azúcar que viene de las centrifugas *batch* es trasladada por medio de una banda hule hacia una secadora. El azúcar que sale de la secadora se traslada hacia una enfriadora para bajarle la temperatura. El proceso de secado no se le realiza al azúcar crudo. (Ver figura10,Anexo, pág. 65)

1.6.10 Envasado

El azúcar se envasa en unos sacos o en sacos jumbos dependiendo del producto que se esté realizando. El azúcar envasado en sacos es enviado por una serie de trasportadores de banda hacia las bodegas donde se almacena en estibas debidamente identificadas. Cuando se envasa en jumbos se traslada directamente al centro de distribución de la región. (Ver figura11,Anexo,pág.66) y también se puede observar gráficamente el proceso de la fabricación de azúcar completo (Ver figura12, Anexo,pág.67)

1.7. Antecedentes del azúcar

Desde tiempos remotos, el azúcar se ha producido en el subcontinente indio desde la antigüedad. No era cuantioso o económica al inicio y la miel se utilizaba con más frecuencia para endulzar en casi todo el mundo. Al inicio, las personas masticaban la caña de azúcar en bruto para extraer su dulzura. La caña de azúcar era originaria de los trópicos, en Asia meridional y en el sudeste asiático. La caña y sus diferentes especies parecen tener su origen en diferentes lugares, siendo *Saccharumbarberi* originaria de la India y *S. edule* y *S. officinarum* proviene de Nueva Guinea. Un informe histórico más reciente de la caña de azúcar está en manuscritos chinos del siglo VIII a. C. que expresan y afirman que la caña de azúcar empezó en la India. El azúcar no tuvo importancia hasta que los indios descubrieron métodos para convertir en cristales, lo que ayudó a facilitar su almacenaje y transporte. Se descubrieron

cristales de azúcar de la época de la Gupta Imperial, alrededor del siglo V d. C. En el idioma indígena local, estos cristales se les conocían como khanda. USAID (2006)

En la edad Moderna, Cristóbal Colón fue quien llevó las primeras cañas a América. Sin embargo, los responsables de llevar el azúcar a Brasil fueron los portugueses. Alrededor de 1540 había unas 800 fábricas de azúcar de caña en la isla de Santa Catarina y otras 2.000 en la costa norte de Brasil. La primera zafra se realizó en el año 1501 en un lugar conocido como la isla de La Española; en la década de 1520, se construyeron muchos ingenios azucareros en Cuba y Jamaica. En Europa, la adquisición y consumo de azúcar era considerada un lujo hasta el siglo XVIII, esto hasta que se hizo más accesible. Se hizo popular en el siglo XIX hasta considerarse como una necesidad, lo que desató grandes cambios económicos, muchos europeos progresaron con la industria azucarera USAID (2006)

1.7.1 Azúcar

Azúcar o sacarosa cuya fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$, conocida también «azúcar común» o «azúcar de mesa». El disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructuosa se le conoce como sacarosa, que se adquiere principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha. La remolacha ocupa el 27 % de la producción mundial y el 73 %, a partir de la caña de azúcar. La sacarosa se encuentra en todas las plantas, y en cantidades apreciables en otras plantas distintas a la caña de azúcar o la remolacha, éstas pueden ser el sorgo y el arce azucarero. En ámbitos industriales se usa la palabra azúcar o azúcares para identificar los distintos monosacáridos y disacáridos, que comúnmente presentan sabor dulce, aunque por extensión se refiere a todos los hidratos de carbono. Se funde a los 160 °C y calentada a 210 °C se convierte en una masa de color oscuro llamada caramelo, esta se utiliza

en la elaboración de dulces y pasteles, así como para la saborizar y colorar líquidos.

El azúcar tiene características sólidas, color blanco y se encuentra cristalizado. Esta sustancia forma parte de los hidratos de carbono, es soluble en H₂O y se caracteriza por su sabor dulce. Chen (1991)

1.7.2 Sacarosa

El azúcar (sacarosa) no se produce; es el resultado reacciones químicas sucedidas en una fábrica. La sacarosa es un carbohidrato producido por la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de forma natural por fotosíntesis. La clorofila existente en las células de las hojas de la caña de azúcar absorbe la energía de la luz solar, la cual sirve como combustible en la reacción que produce el dióxido de carbono en conjunto con el agua que absorben las hojas del aire que junto con varios minerales las raíces sacan de la tierra, para formar sacarosa. La sacarosa se forma en la caña de azúcar por fotosíntesis, se desarrolla en dos fases: durante el día, la planta acumula energía luminosa y en la noche la utiliza para producir entre otras cosas sacarosa. El Ingenio Azucarero saca la sacarosa contenida en el jugo de la caña de azúcar y envasarla para su posterior consumo.

1.8. Propiedades del azúcar

La elección del azúcar en productos alimenticios no depende sólo de su dulzor, sino también de sus propiedades físicas y químicas que afectan el color, la textura, contenido de humedad, forma de almacenaje y calidad del empaque. Entre las propiedades se puede mencionar las siguientes:

- Dulzor: la palabra azúcar proviene de la palabra latina dulcor, que significa “dulzor”. Esto porque favorece a dar sabor particular de dulce. Hace que sobresalgan los sabores y aromas de otros ingredientes.
- Conservante: por su alta presión osmótica de las soluciones de sacarosa (azúcar) es un importante factor para preservar los alimentos de la actividad microbiana.
- Soluble: por su alto grado de solubilidad es esencial en la elaboración de conservas, jaleas, mermeladas, bebidas y jarabes. Las composiciones de azúcares proporcionan una alta concentración de sólidos disueltos.
- Humectante: las propiedades humectantes de la sacarosa y su resistencia a cambiar con la absorción de agua hacen que sea el aditivo ideal para pasteles, panes y galletas hechos con sacarosa muestren gran resistencia a resecarse, por lo que permanecen frescos más tiempo.
- Antioxidante: la sacarosa previene y contribuye en la disminución del sabor en las frutas enlatadas y evita que las galletas se arrancien. Debido a su baja actividad, la sacarosa en solución evita la formación de óxidos en hierro.
- Alto índice de palatabilidad: Hace que sea un componente fundamental para consumir en algunos alimentos.
- Efecto saciante: la sensación de saciedad llega enérgicamente al cerebro, lo que posibilita eliminar comidas entre horas y la sensación de vacío en el estómago.
- Efecto antidepresivo: ayuda a superar el estado depresivo, porque activa un mecanismo fisiológico que aumenta la concentración de neurotransmisores cerebrales.
- Texturizante: al absorber agua, hace más viscosa una solución.
- Cristalizable: cuando se disuelve azúcar en un líquido, en una proporción mayor a la de equilibrio, se produce la cristalización. Se usa para bombones de fruta, frutas confitadas, licores o decoraciones.

1.9. Calidad del azúcar

El azúcar se puede catalogar por su origen (de caña de azúcar o remolacha), también por su grado de refinación o sus características. Normalmente, la refinación se expresa visualmente a través del color (azúcar crudo, azúcar moreno, azúcar blanco estándar, blanco especial o superior y azúcar refino), se describen en el Ingenio San Carlos de Ecuador.

1.9.1 Azúcar cruda

Producto sólido cristalizado de color marrón, obtenido directamente del cocimiento del jugo de la caña de azúcar, constituido de cristales de sacarosa cubiertos por su miel madre original. Parte del proceso que no se le realiza al azúcar crudo es el secado. (Ver tabla III, Anexo, pág.70)

1.9.2 Azúcar morena

Producto sólido cristalizado de color marrón, constituido de cristales de sacarosa cubiertos por su miel madre original obtenido directamente del jugo de la caña de azúcar. Esta azúcar sí pasa por la secadora.

La película de miel que cubre el cristal de azúcar moreno u oscuro contiene sustancias como vitaminas y minerales. En el argot azucarero, a estas sustancias se les conoce como impurezas. Es importante aclarar que, durante el proceso de refinación, a todas las sustancias que no son sacarosa se consideran impurezas, pero son inofensivas para la salud, siendo estas las que confieren el sabor y color particular. (Ver tabla III, Anexo, pág.70)

1.9.3 Azúcar blanca

Producto sólido cristalizado, obtenido del jugo de la caña de azúcar, mediante procesos de clarificación, evaporación, cristalización, centrifugación y secado, desprovisto de su miel madre original. El azúcar blanco se somete a una purificación química llamado sulfatación que consiste en pasar, a través del jugo de caña el gas SO₂ obtenido por combustión de azufre. El azúcar blanca puede ser superior o estándar, dependiendo del color que tenga. (Ver tabla II, Anexo, pág.69)

1.10. Color del azúcar

El color del azúcar es un parámetro muy importante en la industria azucarera, debido a que las calidades del azúcar se dividen por categorías de color, de acuerdo a algunos parámetros establecidos con anterioridad por el comité de estandarización y normalización de los ingenios junto con las empacadoras del país.

Tabla IV. **Calidades del azúcar**

Calidades del azúcar	Rangos de color
Refino	30 a 60
Superior o especial	100 a 200
Estándar	200 a 350
Moreno	450 a 1500
Crudo	1200 a 4000

Fuente: elaboración propia.

1.10.1. Análisis del color del azúcar

Se emplea para la determinación del color en solución del azúcar, el método es aplicable a toda clase de azúcares cristalizados o azúcares blancos en polvo y jarabes muy puros, siempre que sea posible preparar una solución de ensayo filtrada con el procedimiento especificado en el método ICUMSA (1979)

La comisión de estandarización y normalización de los ingenios es quien establece el método para determinar el color en el azúcar, que en este caso es el método de color ICUMSA.

1.10.2. Método de color ICUMSA

Este método es el que determina el color del azúcar mediante el uso del espectrofotómetro y leyendo la absorbancia entre 420 y 720 nanómetros (nm), usando agua destilada como referencia. ICUMSA (1979)

1.10.3. Espectrofotómetro

El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida que pasa, a través de una solución que contiene una medida desconocida de soluto y otra con cantidad conocida de la misma sustancia, se mide la relación entre los dos. Galen (1978)

Todas las sustancias pueden absorber energía radiante, aun el vidrio que parece ser completamente transparente absorbe longitud de ondas que pertenecen al espectro visible; el agua impregna en la parte del infrarrojo. La absorción de las radiaciones ultravioleta, visibles e infrarrojas obedece a la repartición de las moléculas, y es característica para cada sustancia química. Galen(1978)

Cuando la luz atraviesa una sustancia, parte de la energía es absorbida; la energía radiante no causa ningún efecto sin ser absorbida. El color de las sustancias se debe a que éstas absorben ciertas longitudes de onda de la luz blanca que incurre sobre ellas y solo dejan pasar a nuestros ojos aquellas longitudes de onda no absorbida. Galen(1978)

1.10.4. El color

El color se define como el espectro visible electromagnético que puede ser interpretado y captado por el sentido de la vista. Cuando alguna superficie es tocada por la luz, ésta refleja una parte. El ojo humano capta la luz reflejada y es interpretada como color. Cada color tiene matices y variantes, diferentes intensidades que permiten captar una amplia gama de texturas, colores y espacios. QuimiNet(2012)

El ser humano ha querido reproducir los colores que le rodean, inventar otros nuevos o dar variedad a los ya existentes, esto desde la antigüedad. Para reproducir un color es necesario estandarizarlo, conocer su intensidad y la forma en que la luz debe reflejarse para obtener el color querido. También se debe llevar a cabo dicha estandarización para catalogar los colores y colocarlos en una u otra posición en las escalas de colores. La colorimetría es un procedimiento que ayuda a la cuantificar los colores. QuimiNet (2012)

1.10.5 La colorimetría

Colorimetría se le conoce a la ciencia encargada de medir los colores para obtener la cuantificación de los mismos, favoreciendo así su estandarización. Otro concepto indica que la colorimetría es la que estudia la medida de los colores y que despliega métodos para la cuantificación del color, es decir, la obtención de valores numéricos del color.

Para llevar a cabo las mediciones colorimétricas es necesario tomar como punto de comparación que permite asignar valores numéricos a la respuesta de estímulos de colores. Cuando los valores se tienen asignados se hace una suma de estos y se obtiene la cuantificación de los colores. La colorimetría ha superado la prueba del tiempo, gracias a los avances tecnológicos. Uno de los instrumentos que contribuyen a llevar a cabo una medición colorimétrica más precisa es el colorímetro. QuimiNet (2012)

1.10.6.El colorímetro

Un colorímetro es una herramienta que identifica el color y el matiz para una medida más objetiva del color. Literalmente, colorímetro significa medidor de color. Siguiendo este significado, cualquier instrumento que sea capaz de identificar un color para facilitar su medida es un colorímetro. En una idea más ordinaria, el colorímetro es un instrumento que ayuda a obtener un parámetro numérico de un color y permite su cotejo con otro. Una vez hecha la cuantificación, el valor numérico fijado al color estudiado permitirá su adecuada clasificación en la escala de colores. QuimiNet(2012)

En función de los sistemas de detección, los colorímetros se pueden clasificar en:

- a. Visuales: En los colorímetros visuales, el proceso de comparación de la luz emergente de la solución en cuestión y la emergente de la referencia consiste en alcanzar un equilibrio de forma que a juicio del observador, ambas luces emergentes sean idénticas.
- b. Fotocolorímetros: según se utilice el ojo humano o un sistema de fotocélulas integradas en un circuito eléctrico para comparar y detectar la

luz transferida, a través de la disolución problema y de referencia.
QuimiNet (2012)

1.11. Sistemas de ordenación de colores

Un sistema de clasificación de color intenta por lo general contener todos los colores, en un modelo topológico, de forma teórica, previendo una posición específica para cada color y planteando alguna lógica que determine la organización total. Los modelos han adoptado, según algunos autores, las más variadas formas: escalas lineales, círculos cromáticos, triángulos de color, sólidos de color. Desde hace muchos años ha existido el deseo de ordenar siguiendo alguna lógica el vasto conjunto de colores que somos capaces de distinguir. Caivano (1995)

1.11.1. Cartilla de color

La carta de colores es un catálogo o folleto desplegable, que contiene un muestrario ordenado y tipificado de las gamas de colores usados para diversas actividades. Su objetivo es establecer criterios de identificación, de modo que el coleccionista pueda comparar lo que desea con las muestras ilustradas, para determinar así el color o matiz exacto de lo que quiere.

Algunas marcas recurren también a las guías de colores editadas por empresas registradas, para identificar o clasificar los colores de sus productos, aunque en éstas, los colores no tienen nombre, sino una numeración. Es un sistema de comparación, identificación, y comunicación del color para las artes gráficas. El sistema se basa en una paleta o gama de colores, de manera que muchas veces es posible obtener otros por mezclas de tintas predeterminadas que proporciona el fabricante. Estas guías consisten en un gran número de

pequeñas tarjetas de papel, sobre las que se ha impreso en una cara de muestras de color, organizadas todas en un abanico de pequeñas dimensiones.

Este método posee ciertas ventajas, porque se numeran las muestras y una vez seleccionada es posible recrear el color de manera exacta. En síntesis, es similar a las cartillas de colores que miramos cuando vamos a seleccionar un color para pintar nuestra casa. Se ha ampliado el sistema a otros sectores que también trabajan con el color, como los textiles, el diseño web, los plásticos, el interiorismo y la pintura, creando distintas gamas de colores.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Metodología a aplicar

La investigación tuvo como objetivo diseñar una herramienta para la medición del color del azúcar en grano, como metodología de referencia mediante un sistema de ordenación de colores en un ingenio azucarero. Para la elaboración de la cartilla de colores de azúcar de las calidades blanca superior, blanca estándar y morena, por medio de un comparativo de imágenes de azúcar en grano, fue necesario elaborar como punto inicial la herramienta que se utilizó para este estudio, por medio de un sistema de ordenamiento de colores. La idea principal de este estudio era reducir el tiempo de respuesta del área de fabricación hacia una eventualidad cuando el color del azúcar se sale de los límites establecidos previamente por el cliente, provocando un desperdicio en recursos físicos, recursos humanos y recursos financieros.

En cada una de las fases se describe la metodología a utilizar para alcanzar los objetivos propuestos en el trabajo de investigación.

2.1.1. Revisión documental

En esta etapa se revisaron varias fuentes bibliográficas para cimentar la investigación, también se definió cada paso del desarrollo de la investigación. Se organizó en función del tipo de información que se requería para la investigación, se encontró la información que ayudó a fundamentar el proyecto, debido a que es experimental, se investigaron algunos antecedentes de proyectos similares que ayuden a enriquecer la ejecución del experimento, se describió cada etapa del proceso.

- Definición del diseño de la investigación, objetivos del estudio, técnicas de obtención de la información, cronología y metodología a utilizar.

2.1.2. Plan de muestreo y trabajo de laboratorio

Para el cumplimiento del objetivo 1, se elaboró una cartilla de colores, para azúcar en grano en las calidades blanco superior, blanca estándar y morena.

En esta fase se produjo la implementación real del diseño de la investigación. Comprende todo el trabajo experimental que persigue la obtención de datos de acuerdo con los objetivos establecidos. Para la ejecución de esta fase y el cumplimiento de los objetivos, se realizó de la siguiente forma:

- Lo primero que se realizó es describir el procedimiento necesario para realizar el sistema de ordenación de colores del azúcar en grano.
- Se tomaron muestras de azúcar para analizar de las calidades
 - Azúcar superior
 - Blanca estándar
 - Azúcar morena
- Las muestras que se recolectaron fueron analizadas por el método oficial ICUMSA; por las personas que serán las que utilizarán la nueva metodología.
- Se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * (1 - p)}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * (1 - p)}$$

En donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población = 16

Z = Nivel de confianza = 95% = 1.96

e = Margen de error máximo = 0.05

p = Probabilidad de éxito = 0.5

Sustituyendo valores:

$$n = \frac{16 * 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{(16 - 1) * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$

Dando un valor n de 15; esto indica que se tomó el 100% de la población que son 16 personas:

- Se tomaron fotografías de cada muestra que se analizaron por el método oficial y se identificaron con su respectivo color y se almacenaron.
- De las muestras que se analizaron, se tomaron las que oscilaron en los siguientes rangos:
 - Azúcar superior, (100, 150, 200)
 - Blanca estándar (250, 300, 350)
 - Azúcar morena (500, 1000, 1500)
- Se realizó la cartilla de colores clasificando las fotos con su respectivo color de acuerdo a la clasificación anterior. Se realizó una cartilla de colores por cada clasificación de azúcar, una de azúcar superior, una de azúcar blanca estándar y una de azúcar morena.

2.1.3. Evaluación del método

Esta fase se utilizó para contribuir con el objetivo 2 y se elaboró una cartilla de colores, para azúcar en grano en las calidades blanco superior, blanca estándar y morena. La fase de evaluación de la confiabilidad del método se realizó de la siguiente forma:

- De las muestras previamente analizadas por el método de estandarizado ICUMSA, se escogieron tres, una de cada calidad de azúcar.
- Entre las personas que se tomaron en cuenta para la investigación, se escogieron a los que estarían en contacto directo con el método a evaluar, se incluyeron analistas y supervisores con un total de 16 personas. Se les pidió que tomaran cada una de las tres muestras de azúcar conocidas y las analizarán por el método ICUMSA.
- Se tomaron las mismas tres muestras y se les proporcionaron a las personas que evaluaron el método y se les pidió que observarían las muestras de azúcar y compararán con las tablas de referencia del azúcar y emitirán su percepción del resultado del color.
- Se tabularon los resultados de las muestras que se sometieron al estudio.
- Se utilizó el siguiente método estadístico: prueba de U de Mann-Whitney para muestras comparando los resultados de las muestras obtenidas con el método de referencia y sistema de ordenación de colores.

2.1.4. Entrenamiento del Sistema de ordenación de colores

En esta fase de la investigación se le dio cumplimiento al objetivo 3, de evaluar el efecto de los resultados del color del azúcar, antes y después del entrenamiento del sistema de ordenación de colores.

En esta fase se evaluó el impacto del antes y después del entrenamiento del uso del método de estudio.

- Se tomaron las mismas tres muestras y se les proporcionaron a las personas que evaluarían el método y se les pidió que observarían las muestras de azúcar y compararán con las tablas de referencia del azúcar y emitirán su percepción del resultado del color sin explicarles el uso adecuado del método de ordenación de colores.
- Posteriormente se entrenó a las personas involucradas en la evaluación explicándoles la forma correcta del uso del sistema de ordenación de colores
- Se tomaron las mismas tres muestras y se les proporcionaron a las mismas personas que evaluarán el método de referencia y se les pidió que observarían las muestras de azúcar y compararán con las tablas de referencia del azúcar y emitirán su percepción del resultado del color ahora conociendo el uso correcto del sistema de ordenación de colores.
- Se tabularon los resultados de las muestras que se sometieron al estudio.
- Se utilizó el siguiente método estadístico prueba de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas, comparando los resultados de las muestras antes y después del entrenamiento del sistema de ordenación de colores.

La última fase se presentaron las conclusiones y recomendaciones de la investigación, esperando que el sistema de ordenamiento de colores experimental del azúcar en grano, de las calidades de azúcar blanco especial o superior, blanco estándar y moreno, sea una mejora en el proceso de fabricación, al mismo tiempo crear una nueva perspectiva de mejora y líneas a futuro respecto a la investigación.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En esta parte de la investigación se presenta el trabajo de campo que se realizó para cumplir con el objetivo principal, que es encontrar una herramienta alterna que se utiliza como una referencia, para establecer el color del azúcar en grano por medio de un sistema de ordenación de colores. Para la realización de este método, se necesitó definir el procedimiento que formó parte de la investigación, así crear la cartilla de colores, tomando la información recibida a través de análisis realizados, información documental y la experiencia de las personas involucradas en el estudio. También se evaluó la diferencia que hay en los resultados del color del azúcar, con el sistema de ordenación de colores, antes y después de haber entrenado a los técnicos que utilizarán la nueva opción de referencia para el color del azúcar en grano. Como toda investigación nueva, se evaluaron los resultados que se obtuvieron, comparando los resultados del método de referencia y la nueva metodología.

3.1. Elaborar la cartilla de colores

Objetivo1: Elaborar una cartilla de colores, para azúcar en grano en las calidades blanco superior, blanca estándar y morena.

Para la realización del sistema de colores se analizaron varias muestras durante la producción del día, se analizaron por medio del método espectrofotométrico ICUMSA, se retuvieron y usaron las muestras que oscilaban en los rangos de color del azúcar que se utilizarían en la cartilla de colores, se tomó una cantidad suficiente para almacenarla. Cuando ya se tenían las muestras seleccionadas con los colores preestablecidos se proporcionó a cada analista 3 muestras, una de azúcar blanca superior, una de

azúcar blanca estándar y una de azúcar morena, se analizarán por medio del método normalizado ICUMSA, después utilizando una cámara fotográfica se procedió a fotografiar cada muestra de azúcar y se identificó con el color ICUMSA obtenido. De acuerdo a los colores del azúcar se escogieron las fotografías a utilizar y se procedió a elaborar el colorímetro. Como se muestra en la tabla V.

Tabla V. Sistema de color de azúcar en grano

SUPERIOR	ESTANDAR	MORENA
100*	250*	500*
150*	300*	1000*
200*	350*	1500*
*Unidades lcumsa	*Unidades lcumsa	*Unidades lcumsa

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Indicaciones del sistema de color**

<p style="text-align: center;">Sistema de ordenamiento de color de azúcar en grano</p> <p>Indicaciones para el uso de la cartilla de color :</p> <ul style="list-style-type: none">• La cartilla de color debe de utilizarse en lugares iluminados.• La muestra de azúcar a analizar debe de colocarse en una superficie clara.• No se debe de exponer la cartilla a la luz directa del sol, a la humedad o temperaturas altas.• No colocar los dedos sobre la superficie de la cartilla.• Guardar las cartillas de colores en un lugar fuera del alcance de la luz humedad y polvo.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Comparar los resultados del ICUMSA y el sistema de coloración

Objetivo 2: Comparar los resultados del color del azúcar del sistema de ordenación de colores con un método estandarizado.

3.2.1 Azúcar Blanca Superior

En la tabla VII, se presentan los valores obtenidos en el análisis de color con el método normalizado ICUMSA.

Tabla VII. **Colores de azúcar blanca superior**
Método ICUMSA y sistema de ordenación de color

Colores azúcar blanca superior		
No.	Muestra refractométrica	Sistema de color
1	153	150
2	160	150
3	145	150
4	148	150
5	140	150
6	155	150
7	154	150
8	148	150
9	156	200
10	158	200
11	147	150
12	152	150
13	156	150
14	161	150
15	146	200
16	144	150
Promedio	151	159

Fuente: elaboración propia.

También se muestran los resultados del sistema de ordenación de colores, se obtiene un promedio de cada uno de los métodos para que se comparen entre sí.

Tabla VIII. Frecuencias en los colores azúcar blanca superior

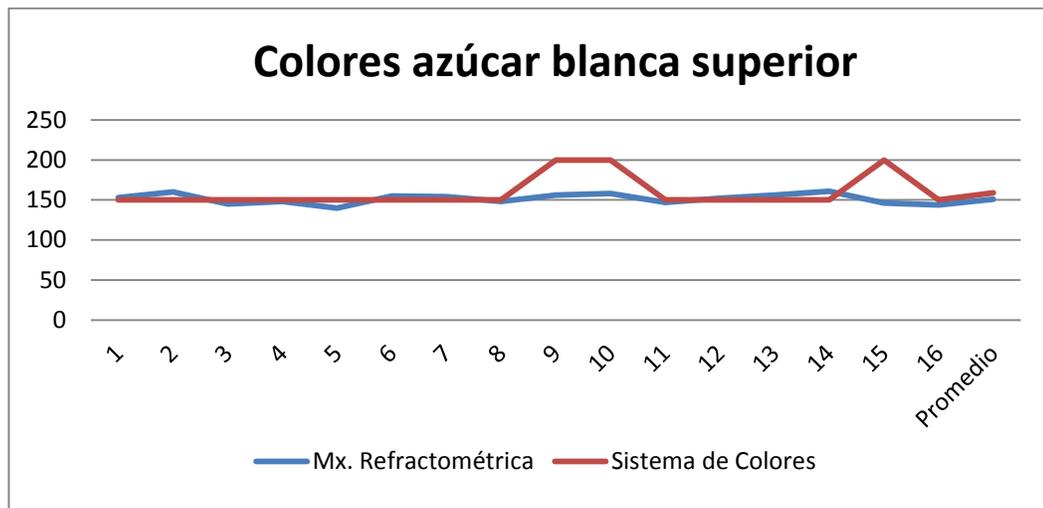
Muestra azúcar blanca superior ICUMSA			Muestra azúcar blanca superior sistema de color		
Colores	Frecuencia	Porcentaje	Colores	Frecuencia	Porcentaje
140	1	6.3	150	13	81.3
144	1	6.3	200	3	18.8
145	1	6.3	Total	16	100
146	1	6.3			
147	1	6.3			
148	2	12.5			
152	1	6.3			
153	1	6.3			
154	1	6.3			
155	1	6.3			
156	2	12.5			
158	1	6.3			
160	1	6.3			
161	1	6.3			
Total	16	100			

Fuente: elaboración propia.

Se observa en la tabla VIII. La frecuencia de los datos de los colores de la azúcar blanca superior de cada uno de los analistas del método normalizado ICUMSA, se puede observar que hay una variabilidad en los resultados obtenidos, debido a la precisión del método. Se observa también que las frecuencias de los colores del azúcar en el sistema de ordenación de color, hay una alta tendencia para uno de los valores en el sistema de ordenación de colores.

En la figura 14, se puede observar las frecuencias de cada uno de los métodos de análisis de color de azúcar.

Figura 14. **Colores de azúcar blanca superior**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla IX, se muestran las variables estadísticas entre la muestra refractométrica y el sistema ordenamiento de color, tomando de referencia el valor mínimo y máximo de ambos métodos, la media como comparativo principal entre ambos métodos.

Tabla IX. **Variables estadísticas azúcar blanca superior método ICUMSA y SOC**

Variable	Muestra Refractométrica	Muestra Sistema de Color
N	16	16
Desviación estándar	6.175	20.156
Mínimo	140	150
Media	151	159
Mediana	153	150
Máximo	161	200

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la prueba de U Mann –Whitney para muestras independientes para comparar la muestra refractométrica y la muestra del sistema de ordenación de colores, con el fin de obtener la diferencia significativa entre los dos métodos utilizados.

Tabla X. Prueba de U Mann - Whitney para azúcar blanca superior

Nivel de significancia ($\alpha = 0.05$)	Criterio de decisión	Resultado de prueba		Decisión estadística
$P \leq \alpha$	Hay diferencia significativa entre los métodos	0.521	$0.521 \leq 0.05$	No hay diferencia significativa entre los colores del azúcar granular utilizando el método normalizado ICUMSA y el sistema de ordenación de colores.
$P > \alpha$	No Hay una diferencia significativa entre los métodos		$0.521 > 0.05$	

Fuente: elaboración propia.

3.2.2 Azúcar blanca estándar

Como se muestra en la tabla XI, se observan los resultados obtenidos en el análisis de color con el método normalizado ICUMSA y también los resultados del sistema de ordenación de colores, para que se comparen entre sí, y verificar si existen diferencias considerables entre cada uno de los resultados de los métodos que se evaluaron.

Tabla XI. **Colores de azúcar blanca estándar método ICUMSA y sistema de ordenación de colores**

Azúcar estándar		
No.	Mx. Refractométrica	Sistema de Colores
1	313	300
2	301	300
3	292	300
4	299	300
5	290	300
6	305	300
7	286	300
8	300	300
9	296	250
10	295	300
11	298	300
12	285	300
13	305	300
14	310	300
15	280	300
16	283	300
Promedio	296	297

Fuente: elaboración propia.

Para la azúcar blanca estándar se observa la menor variación de color en las tres calidades de azúcar evaluadas, cuando se compara el promedio del sistema de ordenación de colores con el promedio obtenido por medio de método ICUMSA como se observa en la tabla XII.

Tabla XII. Frecuencias en los colores de azúcar blanca estándar

Muestra azúcar blanca superior ICUMSA			Muestra azúcar blanca superior sistema de ordenación de color.		
Colores	Frecuencia	Porcentaje	Colores	Frecuencia	Porcentaje
280	1	6.3	250	1	6.3
283	1	6.3	300	15	93.8
285	1	6.3	Total	16	100
286	1	6.3			
290	1	6.3			
292	1	6.3			
295	1	6.3			
296	1	6.3			
298	1	6.3			
299	1	6.3			
300	1	6.3			
301	1	6.3			
305	2	12.5			
310	1	6.3			
313	1	6.3			
Total	16	100.0			

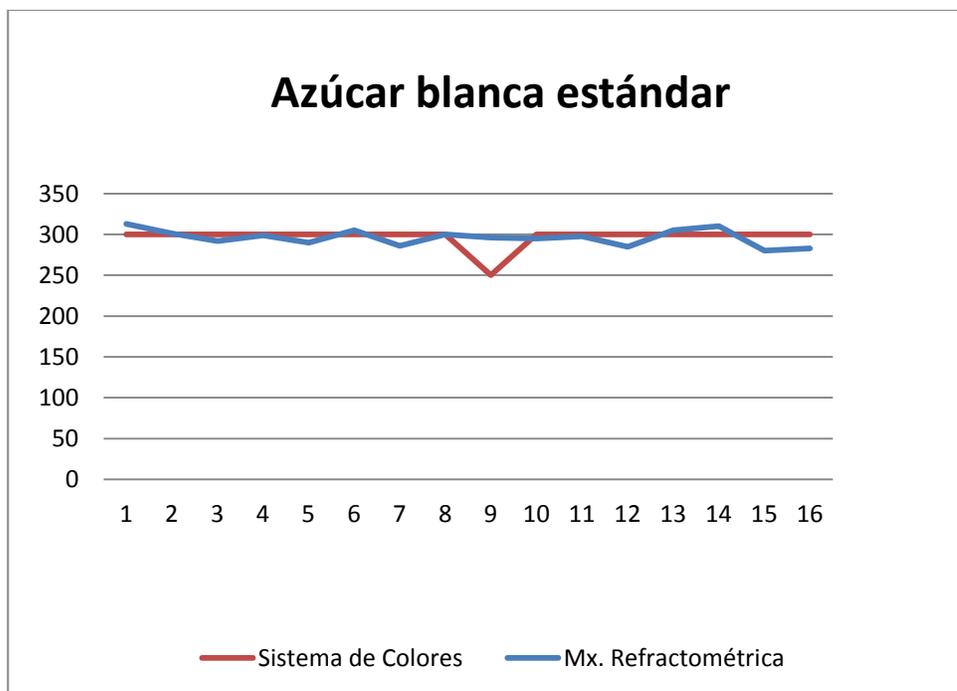
Fuente: elaboración propia.

Del total de analistas que participaron en el estudio, se observó en la tabla XII, de frecuencias que el 94% le asumieron que el color del azúcar era de 300 UI, que equivale a 15 personas de las evaluadas, comparándola con el

6.3% que equivale a una persona, quien asumió que el color del azúcar era de 250UI.

En la figura 15, se observa las tendencias de las frecuencias de cada uno de los métodos de análisis de color de azúcar blanca estándar.

Figura 15. Colores de azúcar blanca estándar



Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIII, se pueden observar las variables estadísticas de la azúcar blanca estándar, para observar el comportamiento de las variables que se consideran en el estudio y que permiten tomar decisiones puntuales de los resultados obtenidos.

Tabla XIII. **Variables estadísticas azúcar blanca estándar método ICUMSA y SOC**

Variable	Muestra refractométrica	Muestra sistema de color
N	16	16
Desviación estándar	9.660	12.500
Mínimo	280	250
Media	296	297
Mediana	297	300
Máximo	313	300

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la prueba de U Mann -Whitney para muestras independientes comparando entre los dos métodos, el refractométrico y el sistema de ordenación de color para evaluar si existe diferencia significativa entre los dos métodos.

Tabla XIV. Prueba de U Mann -Whitney para azúcar blanca estándar

Nivel de significancia ($\alpha = 0.05$)	Criterio de decisión	Resultado de prueba		Decisión estadística
$P \leq \alpha$	Hay diferencia significativa entre los métodos	1	$1 \leq 0.05$	No hay diferencia significativa entre los colores del azúcar granular utilizando el método normalizado ICUMSA y el sistema de ordenación de colores.
$P > \alpha$	No Hay una diferencia significativa entre los métodos		$1 > 0.05$	

Fuente: elaboración propia.

3.2.3 Azúcar morena

Según la tabla XV, los resultados del color de la muestra de azúcar morena, con el método ICUMSA tiene un promedio de 1037UI y con el sistema de ordenación de color el promedio es de 1000UI.

En la tabla XVI, de frecuencias de los colores de azúcar morena, se observa que los resultados del color de azúcar usando el método ICUMSA fueron variados, debido a la exactitud del método. Sin embargo, con el método de sistema de ordenación de color se observa que el 100% de los analistas asumió que el color de la muestra de azúcar era de 1000UI.

Tabla XV. **Colores de azúcar morena método ICUMSA y sistema de ordenación de color**

Colores azúcar morena		
No.	Muestra Refractométrica	Sistema de Colores
1	1050	1000
2	1039	1000
3	1010	1000
4	1046	1000
5	1055	1000
6	1052	1000
7	1061	1000
8	1048	1000
9	998	1000
10	1058	1000
11	991	1000
12	1040	1000
13	1035	1000
14	1030	1000
15	1028	1000
16	1048	1000
Promedio	1037	1000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Frecuencias en los colores de azúcar morena

Muestra azúcar blanca superior ICUMSA			Muestra azúcar blanca superior sistema de ordenación de color.		
Colores	Frecuencia	Porcentaje	Colores	Frecuencia	Porcentaje
991	1	6.3	1000	16	100.0
998	1	6.3	Total	16	
1010	1	6.3			
1028	1	6.3			
1030	1	6.3			
1035	1	6.3			
1039	1	6.3			
1040	1	6.3			
1046	1	6.3			
1048	2	12.5			
1050	1	6.3			
1052	1	6.3			
1055	1	6.3			
1058	1	6.3			
1061	1	6.3			
Total	16	100.0			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVII, se muestran las variables estadísticas entre la muestra refractométrica y el sistema ordenamiento de color, tomando en cuenta el valor mínimo y el valor máximo de los métodos, la media como comparativo principal entre ambos métodos.

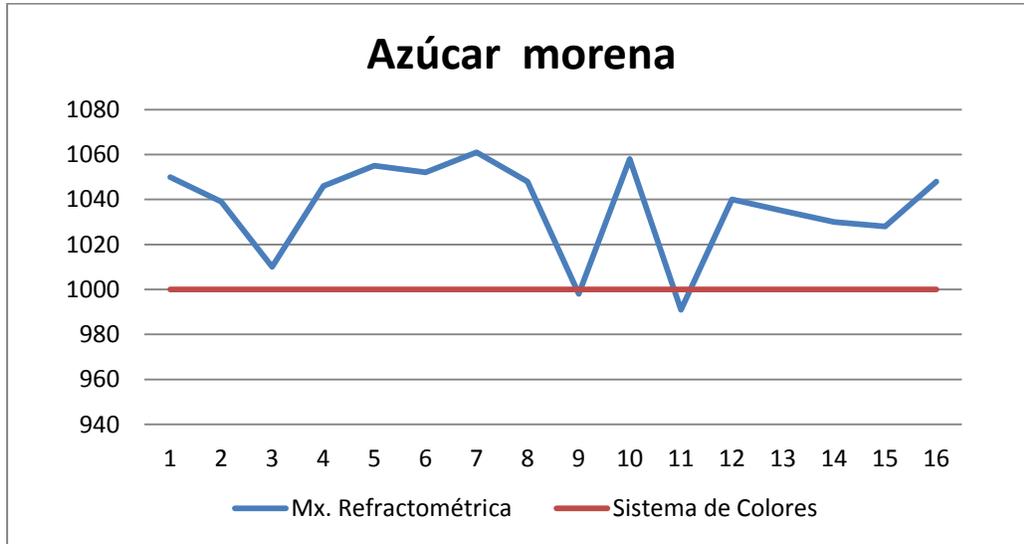
Tabla XVII. **Variables estadísticas azúcar morena**
método ICUMSA y Sistema de ordenación

Variable	Muestra refractométrica	Muestra sistema de color
N	16	16
Desviación estándar	20.929	0.000
Mínimo	991	1000
Media	1037	1000
Mediana	1043	1000
Máximo	1061	1000

Fuente: elaboración propia.

En la figura 16, se observan las tendencias de las frecuencias de cada método de análisis de color de azúcar morena.

Figura 16. Colores de azúcar morena



Fuente: elaboración propia.

Se usa la prueba de U Mann –Whitney para muestras independientes para el azúcar morena superior comparando la muestra refractométrica y la muestra del sistema de color como se observa en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Prueba de U Mann –Whitney de azúcar morena

Nivel de significancia ($\alpha= 0.05$)	Criterio de decisión	Resultado de prueba		Decisión estadística
$P \leq \alpha$	Hay diferencia significativa entre los métodos	0	$0 \leq 0.05$	Hay diferencia significativa entre los colores del azúcar granular utilizando el método normalizado ICUMSA y el sistema de ordenación de colores.
$P > \alpha$	No hay una diferencia significativa entre los métodos		$0 > 0.05$	

Fuente: elaboración propia.

3.3 Evaluar las diferencias del color antes y después de entrenamiento

Objetivo 3: Evaluar la influencia de los resultados del color del azúcar, antes y después del adiestramiento del sistema de ordenación de colores).

En la siguiente tabla, se pueden observar los resultados de los análisis de color del azúcar blanca superior que se le proporcionaron a los analistas, una se le proporcionó sin conocer el uso apropiado de la cartilla de colores, después se les explicó el uso correcto del sistema de ordenación de colores y se les facilitó la misma muestra sin que ellos lo supieran, posteriormente se les pidió que compararan los resultados de la muestra con la cartilla de colores para tener un resultado después del entrenamiento usando en forma correcta el sistema de ordenación de colores.

3.3.1 Azúcar blanca superior

En la siguiente tabla se puede observar los datos que obtuvimos al someter a los responsables del análisis para el uso del sistema de ordenación de color sin explicarles de cómo utilizarlo y después de explicarles cómo se usa la herramienta.

En la tabla XIX, se puede observar la tendencia de los analistas en escoger los colores que ellos asumían que correspondía a la muestra en evaluación, antes de conocer el uso adecuado de la cartilla de colores, podemos observar que el 50% escogió el color 150UI y el otro 50% asumió que el color era de 200 UI.

También se observa que las frecuencias de colores después del entrenamiento del sistema de ordenamiento de colores cambio de 50% antes del entrenamiento a 81% después del entrenamiento, en el color del azúcar con 150UI, que se observa en la tabla, si se compara con el 19% que se obtuvo en

el color de 200UI del sistema de ordenación de colores, tomando en cuenta que el color ICUMSA que se usó de referencia según la tabla VII, es de 151UI.

Tabla XIX. **Colores de azúcar blanca superior antes y después del entrenamiento**

Azúcar blanca superior		
No.	Antes	Después
1	150	150
2	150	150
3	200	150
4	200	150
5	200	150
6	150	150
7	200	150
8	150	150
9	200	200
10	150	200
11	200	150
12	150	150
13	150	150
14	200	150
15	200	200
16	150	150
Promedio	175	159

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Frecuencias en los colores azúcar blanca superior antes y después del entrenamiento**

Frecuencias Antes del Entrenamiento			Frecuencias Después del Entrenamiento		
Colores	Frecuencia	%	Colores	Frecuencia	%
150	8	50	150	13	81
200	8	50	200	3	19
Total	16	100	Total	16	100

Fuente: elaboración propia.

Para conocer si hay diferencia significativa entre los resultados pre y pos entrenamiento del sistema de ordenación de colores, se utilizó la prueba de Wilcoxon, para muestras relacionadas obteniendo uno resultado de 0.059.

Tabla XXI. **Prueba de Wilcoxon para azúcar blanca superior**

Nivel de significancia ($\alpha = 0.05$)	Criterio de decisión	Resultado de prueba		Decisión estadística
$P \leq \alpha$	Hay diferencia significativa entre los métodos	0.059	$0.059 \leq 0.05$	No hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de color.
$P > \alpha$	No Hay una diferencia significativa entre los métodos		$0.059 > 0.05$	

Fuente: elaboración propia.

3.3.2 Azúcar blanca estándar

Para el azúcar blanca estándar también se realizaron los mismos análisis que se realizaron en el azúcar blanca superior.

Tabla XXII. **Colores de azúcar blanca estándar antes y después de entrenamiento**

Azúcar estándar		
No.	Antes	Después
1	250	300
2	300	300
3	300	300
4	300	300
5	300	300
6	300	300
7	250	300
8	300	300
9	250	250
10	300	300
11	300	300
12	300	300
13	300	300
14	300	300
15	300	300
16	250	300
Promedio	288	297

Fuente: elaboración propia.

Se inició con los datos de los colores del azúcar antes que se les explicara a los analistas cómo usar la cartilla de colores y después de informarles cómo hacerlo. En la tabla XXII, se observan los valores de las muestras de azúcar con la cartilla de colores, se aprecia que no hay diferencia en los datos obtenidos por los analistas.

En la tabla XXIII, se puede observar que las frecuencias de los análisis de color tienen una tendencia del 75% con el azúcar de 300 UI, contra un 25% del color de 250UI del sistema de ordenación de color, el color del azúcar ICUMSA para azúcar blanco estándar dio como resultado 303.

Sin embargo, en la tabla XXIII, las frecuencias de los colores de la azúcar blanca estándar después del entrenamiento tiene un 94% de tendencia hacia el color de 300 UI, en este caso una sola persona asumió que el color del azúcar podría ser 250 UI.

Tabla XXIII. Frecuencias en los colores azúcar blanca estándar

Frecuencias antes del entrenamiento			Frecuencias después del entrenamiento		
Colores	Frecuencia	%	Colores	Frecuencia	%
250	4	25	250	1	6.3
300	12	75	300	15	93.8
Total	16	100	Total	16	100

Fuente: elaboración propia.

Para conocer la significancia entre el color del azúcar blanco antes y después del entrenamiento del uso de la cartilla de colores, se utilizó la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas y se obtuvo un 0.083.

Tabla XXIV. **Prueba de Wilcoxon para azúcar blanca estándar**

Nivel de significancia ($\alpha= 0.05$)	Criterio de decisión	Resultado de prueba		Decisión estadística
$P \leq \alpha$	Hay diferencia significativa entre los métodos	0.083	$0.083 \leq 0.05$	No hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de color.
$P > \alpha$	No Hay una diferencia significativa entre los métodos		$0.083 > 0.05$	

Fuente: elaboración propia.

3.3.3 Azúcar morena

Se observa en la tabla XXV, que los colores de la azúcar morena antes y después del entrenamiento del sistema de ordenación de color son iguales.

En la tabla XXVI, de frecuencias de los colores del azúcar antes y después del entrenamiento de la cartilla de colores, se observa que el 100% de los analistas asumió que el color del azúcar era de 1000 UI. Tomando en cuenta que el color ICUMSA de esta muestra era de 1020.

Tabla XXV. **Colores de azúcar morena antes y después de entrenamiento**

Azúcar morena		
No.	Antes	Después
1	1000	1000
2	1000	1000
3	1000	1000
4	1000	1000
5	1000	1000
6	1000	1000
7	1000	1000
8	1000	1000
9	1000	1000
10	1000	1000
11	1000	1000
12	1000	1000
13	1000	1000
14	1000	1000
15	1000	1000
16	1000	1000
Promedio	1000	1000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Frecuencias en los colores azúcar morena antes del entrenamiento azúcar**

Frecuencias antes del entrenamiento			Frecuencias después del entrenamiento		
Colores	Frecuencia	%	Colores	Frecuencia	%
1000	16	100	1000	16	100
Total	16		Total	16	

Fuente: elaboración propia.

Para conocer si hay diferencia significativa en el entrenamiento del uso del sistema de colores del azúcar, se utilizó la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas y se obtuvo una significancia de 1.

Tabla XXVII. **Prueba de Wilcoxon para azúcar morena**

Nivel de significancia ($\alpha= 0.05$)	Criterio de decisión	Resultado de prueba		Decisión estadística
$P \leq \alpha$	Hay diferencia significativa entre los métodos	1	$1 \leq 0.05$	No hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de color.
$P > \alpha$	No Hay una diferencia significativa entre los métodos		$1 > 0.05$	

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la elaboración del sistema de ordenación de colores como método de referencia, se tomó en cuenta toda la información que afectará el análisis de calidad del color del azúcar.

- **Análisis interno de la investigación**

Debido a que la producción es en línea la mayor parte del tiempo, el azúcar sale directamente del envasado, es cargada a las plataformas y se envía al cliente, que un análisis de color por el método estandarizado ICUMSA, en el departamento de control de calidad, específicamente en el área de laboratorio, tenga una duración aproximada de entre 35 y 45 minutos obtener un resultado y que se pueda compartir con el área de fabricación es una razón válida para implementar este sistema de referencia.

Para el tiempo en que el área de fabricación obtenga un resultado ya se ha cargado una plataforma con 22 jumbos de azúcar que son aproximadamente 1250kg de azúcar que equivalen a 2750lb de azúcar por jumbo, que corresponden a 60,500lb de azúcar por plataforma y si el resultado obtenido por el laboratorio no cumple con las especificaciones del cliente definidas al inicio de cada zafra, el departamento de logística es el encargado de hablar con los clientes para negociar alguna concesión de recepción del producto fuera de los estándares del color del azúcar, cuando no es aceptada la concesión, porque las especificaciones no cumplen y están los rangos de coloración fuera de los límites internos críticos que cada laboratorio tiene, se procede a descargar la plataforma provocando retrasos de entrega del producto a los clientes, quienes en muchas ocasiones están produciendo en línea y se ven afectados por los atrasos en la entrega del azúcar, reclamos de parte de los transportistas,

reclamos internos de parte del área de logística hacia el área de fabricación, porque este departamento es quien debe descargar las plataformas reclasificando el producto a la siguiente calidad y debe de dividir su personal, para cumplir con esta tarea y las que tienen asignadas habitualmente, por tanto sería muy útil e innovadora la realización de está cartilla de colores representado como un sistema de coloración de las diferentes calidades de azúcar que se producen, en los ingenios azucareros.

- **Análisis externo de la investigación**

Se puede mencionar que este tipo de herramienta se ha utilizado en otras áreas, entre los más conocidos se encuentran los kits de pruebas de análisis de suelos y los kits colorimétricos de análisis de agua, son análisis rápidos, algunos son análisis cualitativos que permiten conocer la presencia o ausencia de algunas sustancias y que nos faciliten crear una alerta al usuario si algo se está saliendo de los límites establecidos.

En la figura 14, se muestran todos los valores de las cartillas del sistema de color, obtenidos por 9 muestras de azúcar, 3 de azúcar blanca superior, 3 de azúcar blanca estándar y 3 de azúcar morena, el color ICUMSA del azúcar se obtuvo, a partir de lecturas espectrofotométricas que permiten darle una numeración al color del azúcar, por medio de impresiones fotográficas. Para la realización del sistema de color del azúcar, se decidió usar tres rangos de azúcar de cada calidad debido a los parámetros de recepción de azúcar que están establecidos en el ACA (Acuerdo de Calidad y Abastecimiento) que establece los requerimientos para los ingenios, en que se igualan las características del producto que satisfaga las especificaciones definidas durante todo el año, por los ingenios proveedores del mercado nacional.

Además, se optó por la utilización de tablas colorimétricas, porque en el área de fabricación está prohibida la entrada de cualquier material de vidrio,

debido a las normativas que garantizan que la azúcar producida no causará daños al consumidor cuando se ingiera, la utilización de metodologías de medición adecuadas garantiza que se mantenga la calidad e inocuidad en el producto terminado.

El sistema de ordenación de colores es un método de referencia, para la estimación de color del azúcar en grano; sin embargo, siempre se debe de confirmar el color del azúcar por el método normalizado ICUMSA, para obtener un dato exacto del color de la muestra que se está analizando.

Se realizó la comparación de los resultados del color del azúcar obtenidos por medio del método espectrofotométrico ICUMSA y el sistema de ordenación de colores para azúcar en grano en las calidades blanca superior, blanca estándar y morena, para definir la confiabilidad del uso de la nueva metodología.

Al realizar la comparación estadística del método ICUMSA con el sistema de ordenamiento de colores para el azúcar en grano, se determinó que no existe diferencia significativa entre los resultados de la azúcar blanca superior utilizando la prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes, también se consiguió un valor P de 0.521, mayor al 0.05 de significancia, es decir, no hay diferencia significativa entre los dos métodos evaluados. En el azúcar blanca superior, se observa que en los datos analizados con el refractómetro, se percibe una variación en los colores del azúcar que oscilan entre los límites de 140 y 153 UI, debido a que el espectrofotómetro es un instrumento muy preciso; sin embargo, al observar los datos del sistema de ordenación de color se puede notar que no son tan diferentes tomando en cuenta que la escala de los colores oscila en 50 UI, se observa que de los 16 datos el 81% corresponde al 150 UI y se tiene una media de 159 comparada con la media del método espectrofotométrico que es de 151 UI.

Se debe tomar en cuenta que, según sistema de métodos ICUMSA es permitida una diferencia máxima de 20 UI entre analista y analista. Se puede decir que los datos del sistema de ordenación de colores para la azúcar blanca superior son confiables, asociado a la decisión estadística que utiliza el 0.05 de nivel de significancia como criterio para resolver que no hay diferencia significativa entre los métodos evaluados.

La prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes, en la azúcar blanca estándar proporcionó una significancia de 1, que indica que no hay diferencia significativa entre los colores del azúcar granular utilizando el método normalizado ICUMSA y el sistema de ordenación de colores.

Con el azúcar blanca estándar se dan circunstancias similares al de la muestra de azúcar blanca superior, pero más concluyentes, ya que con el sistema de ordenación de colores, el 94% de los analistas asumió que el color de la muestra de azúcar era de 300 UI, con una media de 297 UI comparándolas con la media del método espectrofotométrico de 296 UI, teniendo una diferencia de 1 UI entre los dos métodos, la diferencia absoluta entre dos resultados obtenidos bajo las mismas condiciones de repetibilidad y reproducibilidad no deberá ser mayor de 20 UI ICUMSA(1979); por tanto, se puede decir que el sistema de ordenación de color para el azúcar blanca estándar es confiable, porque no hay diferencia significativa entre los dos métodos,

Sin embargo, para la azúcar morena, utilizando la misma prueba de U de Mann-Whitney para muestras independientes, se determinó que sí existe diferencia significativa entre los resultados del método normalizado ICUMSA y el sistema de ordenación de colores. Para el azúcar morena los resultados estadísticos son $0.00 < 0.05$, pero se observa que la desviación estándar de los datos del sistema de ordenación de colores es de 0.00 si se compara con la muestra espectrofotométrica que tiene una desviación estándar de 21, es

decir, de los 16 analistas que se sometieron a la prueba asumieran que la muestra de azúcar morena tenía 1000 UI con el sistema de ordenación de colores, por lo tanto, tiene un promedio de 1000 UI y el método espectrofotométrico tiene un promedio de 1037 UI, esto se debe a la exactitud del método.

También se asume que, por los rangos en los que oscila la escala de color del azúcar moreno, que va de 500 UI, entre cada escala de color, puede afectar la medición visual del color del azúcar. Sin embargo, las diferencias del color de azúcar permitida para azúcar moreno, bajo las mismas condiciones de reproducibilidad para rangos de color entre 500 a 2000 UI, no deberá ser mayor de 380UI ICUMSA (1979). Por consiguiente, se concluye que estadísticamente el sistema de ordenación de colores no es confiable en la azúcar morena, pero en el laboratorio son valores aceptables, debido a que solo tienen 37UI de diferencia entre los promedios de los dos métodos evaluados. Para que el sistema de ordenación de colores pueda ser más específico y más confiable sería ideal realizar la cartilla de azúcar morena con una escala de 100 UI, para reducir la variación entre los resultados de las muestras a evaluar.

Para la evaluación de las diferencias entre los resultados del análisis del color del azúcar granular, antes y después de someter al personal a entrenamiento sobre el uso adecuado del sistema de color, se utilizó la prueba de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas donde se observó que el valor de p es de 0.059 mayor que 0.05, que es nuestro nivel de significancia, es decir, no hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de color. Se observan que los promedios del color del azúcar antes y después del entrenamiento son de 175 y 159 UI respectivamente con una diferencia de 16 UI, no es una diferencia significativa en el laboratorio, debido a que las diferencias entre los resultados de un analista a otro analista no deben ser

mayores a 20 UI como ya se había mencionado anteriormente, se puede observar un pequeño cambio en la elección de la escala más cercana al promedio después de entrenar al personal en el uso del sistema de coloración, que va de un 50% a un 81%, aunque no es significativo es importante el uso correcto y adecuado de la cartilla de colores.

En la azúcar blanca estándar se puede observar un valor P de 0.083 mayor que la significancia de 0.05% definida, utilizando la prueba de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas, se concluye que no hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de color en la azúcar blanca estándar. La diferencia entre los promedios del sistema de coloración es de solo 9 UI y el cambio en la elección de los analistas al rango más cercano al promedio mejoró del 75% al 94%, se evidencia que enseñándoles a usar el sistema de coloración del azúcar mejoran los resultados obtenidos en un 19%.

Para la azúcar morena se concluye que no hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar granular antes y después de someterse al entrenamiento del sistema de color. Se obtuvo un valor de P de 1.00 mayor que la significancia propuesta, a través de la prueba de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas, se observa que no hubo diferencia en la elección del rango más cercano al promedio, ya que el 100% de los analistas escogió el mismo dato antes y después de explicarle al personal el uso adecuado del sistema de coloración del azúcar. Este resultado se debe a que los rangos son tan amplios, que van de 500UI entre colores en el sistema de ordenación de colores.

El entrenamiento de los analistas para el uso adecuado del sistema de ordenación de color para azúcar en grano es bastante sencillo, pero es necesario, está escrito en la parte de atrás de la cartilla de colores para que las

personas que lo utilicen puedan consultarlo en cualquier momento si surgiera alguna duda, como se ve en la figura 14.

Por consiguiente, se aduce que el sistema de ordenación del colores de azúcar en grano es muy sencillo y no es relevante estadísticamente el entrenamiento; sin embargo, el estudio se realizó con personal que tiene tiempo y experiencia en el análisis de color del azúcar, para ellos es más fácil observar las diferencias en los cambios, aunque sean sutiles en la coloración del azúcar, a diferencia de una persona que no tenga experiencia en análisis de color del azúcar, por consiguiente, es importante explicar la forma correcta del uso de la cartilla de colores para obtener datos más confiables.

CONCLUSIONES

1. Como parte de la mejora continua e innovación metodológica, se logró elaborar una cartilla de colores para azúcar en grano en las calidades blanco superior, blanca estándar y morena, a través de un sistema de ordenación de colores como una herramienta de referencia, es decir, que se deben de confirmar los resultados por medio del método espectrofotométrico ICUMSA, para obtener resultados más puntuales y precisos del color de la muestra que se analice. Observar la figura 13, de los anexos.
2. Al realizar la comparación de los resultados del color del azúcar del sistema de ordenación de colores con el método estandarizado ICUMSA, se determinó que no hay diferencia significativa en la azúcar blanca superior y la azúcar blanca estándar, utilizando la prueba estadística U de Mann-Whitney para muestras independientes; sin embargo, utilizando el mismo método estadístico, se observó que sí hay diferencia significativa en el azúcar morena entre el método normalizado ICUMSA y el sistema de ordenación de colores; por lo tanto, se consideró que los rangos de la escala de clasificación de los colores del azúcar del sistema de ordenación de colores si influye directamente en los resultados estadísticos, mas no afecta en los resultados del laboratorio, debido a que el rango del color del azúcar morena oscila entre 500, 1000 y 1500 UI.
3. Al evaluar el efecto de los datos obtenidos del color del azúcar, antes y después de entrenar al personal en el uso del sistema de ordenación de

colores, se determinó que no hay diferencia significativa entre los resultados de los colores del azúcar en grano en las calidades de azúcar blanca superior, azúcar blanca estándar y azúcar morena, por medio de la prueba estadística de Wilcoxon de los rangos para muestras relacionadas; por tanto, el sistema de ordenación del color de azúcar en grano es muy sencillo de utilizar y no es significativo estadísticamente el adiestramiento; sin embargo, se recomienda la formación a todo el personal en el uso de la cartilla de colores, para recibir datos más confiables.

4. El sistema de ordenación de colores del azúcar en grano es una herramienta factible, útil, económica y fácil de utilizar aplicable en las áreas de control de calidad y fabricación del azúcar.

RECOMENDACIONES

1. Presentar el estudio del sistema de ordenación de colores al comité de normalización y estandarización de la industria azucarera para introducirlo como herramienta, con el fin de unificar y permitir el simplificar algunas actividades relacionadas con el análisis del color de azúcar en los ingenios involucrados.
2. Desarrollar un sistema de ordenación de colores, con una escala más estrecha, que los rangos oscilen entre 25 y 10 unidades ICUMSA para la azúcar blanca superior y la azúcar blanca estándar y para la azúcar morena reducir a 100 unidades ICUMSA, para que los resultados sean más precisos y más confiables.
3. Ampliar la investigación haciendo comparativos con otros laboratorios, ya que cada ingenio tiene diferentes equipos en el laboratorio de análisis, con el fin de estandarizar la metodología.
4. Evaluar el beneficio e impacto económico que se puede generar al utilizar un sistema de ordenación de color de azúcar en grano, en un ingenio azucarero.
5. Realizar periódicamente una actualización de los datos obtenidos en las cartillas del sistema de ordenación del color de azúcar en grano.

6. Evaluar la factibilidad e impacto de la creación de un diseño tecnológico, utilizando el sistema de ordenación de colores como herramienta para verificar las calidades del azúcar en la línea de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arrue, J. Herrera, A. García, F. y Renderos, R. (2012). *Evaluación sobre el desarrollo del color en el almacenamiento de azúcar* (Maestría). Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales, Universidad Centroamericana (UCA). El Salvador.
2. Barrientos, E. (2005). *Incidencia de las variables climatológicas (humedad y temperatura) en el deterioro del color del azúcar guatemalteco* (tesis de pregrado). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
3. Caivano, J. (1995). *Sistemas de orden de color*. Recuperado 13 febrero, 2016. de: <http://www.forma.forma-color.org/biblio/Caivano>
4. Cengicaña. (2000). *Plagas de la raíz en caña de azúcar*. Boletín Cañamip, Boletín técnico (2), 4.
5. Cenicana. (1992). *Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia*. Recuperado 12 febrero, 2016. De www.cenicana.org/web2/index.php/publicaciones
6. Comisión Internacional para métodos uniformes de análisis de azúcar ICUMSA. (2007). *Libro de métodos*. Ed. Bartens, Berlín, Alemania.
7. Chaves, M. (2002). *Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar en Costa Rica*. Recuperado 12 febrero, 2016,

de<http://www.infoagro.go.cr/tecnologia/cana/NUTRI%20Y%20FERT.html>.

8. Chen, J. (1991). Manual del azúcar de caña. México, México: Limusa.
9. Earl, M., Weiner, J., y Cavero, P. (2005). Nueva enciclopedia universal. México, México: Durvan
10. Expogranel. (1994-2018). *La nueva terminal de exportación*. Recuperado 12 febrero, 2016, de <https://expogranel.com/index.php>
11. *Filosofía del color*. (s.f.). Recuperado 12 febrero, 2016, de <http://www.filaposta.com/glosario/tiki-index.php?page=carta+de+colores>
12. Fretes, F., y Martinez, M. (2011). *Caña de azúcar*. Recuperado 13 febrero, 2016, de https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/.../cana_de_azucar.pdf.
13. Fuentes, E. (2006). *Optimización del proceso de fabricación de azúcar blanca para mejorar la calidad, en el ingenio Santa Teresa S.A.* (tesis de pregrado). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
14. Galen, W. (1978). *Métodos instrumentales de análisis químico*. D. F., México: Mc Graw - Hill.

15. Hernández, J. (1992). *El sector cañero en Nayarit desde una perspectiva organizacional y ambiental*. Recuperado 12 febrero, 2016, de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1333/index.htm>
16. Ingenio Magdalena. (1992). *Información general del proceso de caña de azúcar*. Recuperado 13 febrero, 2016, de http://www.imsa.com.gt/sitio/proceso_cana_azucar.pdf
17. Ingenio Palo Gordo. (s.f.). *Historia de la organización: misión visión y valores*. Recuperado 13 febrero, 2016, de <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>
18. Ingenio San Carlos. (s.f.). *Especificaciones del azúcar*. Recuperado 14 febrero, 2016, de <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>
19. Montejo, L., y Portocarrero, E. (2002). *Manual de producción de caña de azúcar* (tesis de pregrado). Universidad Zamorano, Tegucigalpa, Honduras.
20. Peñalonzo, J. (2004) *Evaluación comparativa de dos nuevos procesos de producción de azúcar blanco y crudo a la vez en un ingenio azucarero guatemalteco*. (tesis de pregrado). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
21. Quiminet. (2012, 15 marzo). *El análisis del color: Colorimetría y colorímetro*. Recuperado 12 febrero, 2016, de <https://www.quiminet.com/articulos/el-analisis-de-color-colorimetria-y-colorimetro-2704601.htm>

22. Rein, P. (2012) *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlín Alemania: Bartens
23. Rodríguez, R., Rodríguez, J., Perdomo, M., Fernández, F., y Maseda, E. (2007). *Alternativa para la determinación del color en azúcar crudo según el método modificado establecido en los contratos por calidad*. Recuperado 14 febrero, 2016, de <http://www.actaf.co.cu/revistas/ATAC/ATAC2-2007/14colorcrudo.pdf>
24. Santamaría, A. (2002). *Tecnología y términos azucareros*. Recuperado 14 febrero, 2016, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/59736/1/Tecnolog%C3%ADa%20y%20t%C3%A9rminos%20azucareros.pdf>
25. Usaid. (2011, septiembre). *Caña de azúcar*. Recuperado 14 febrero, 2016, de [https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/caña_de_azucar.pdf](https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/ca%C3%B1a_de_azucar.pdf)

5. ANEXOS

Anexo 1. Productos de elaboración en el ingenio



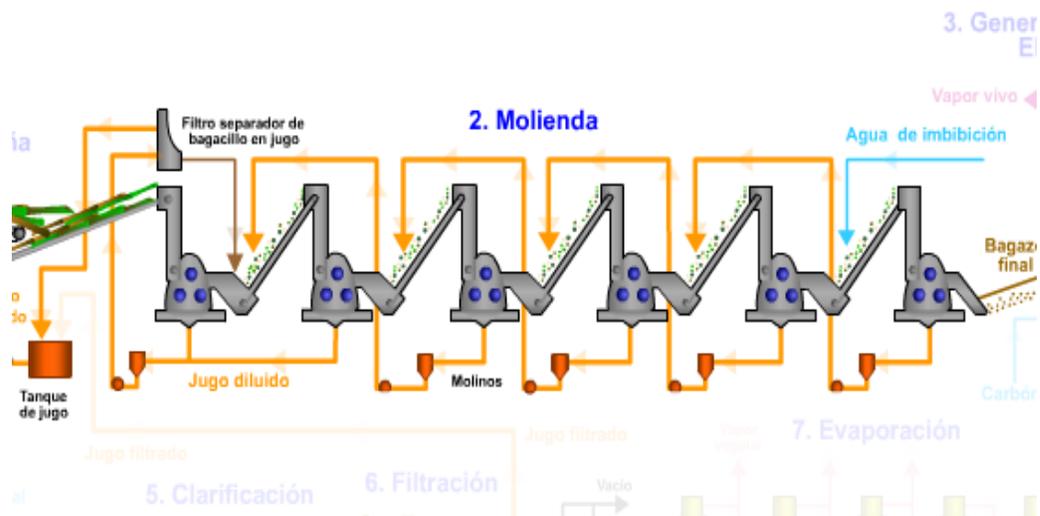
Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 2. Preparación de caña



Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

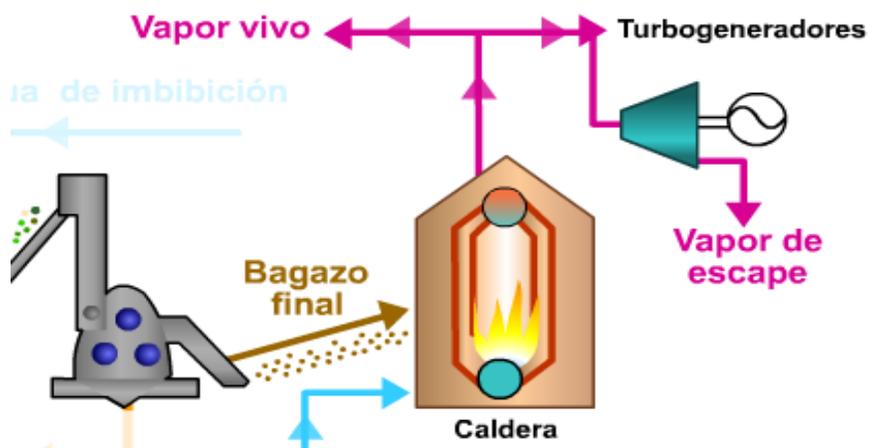
Anexo 3. Molienda



Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

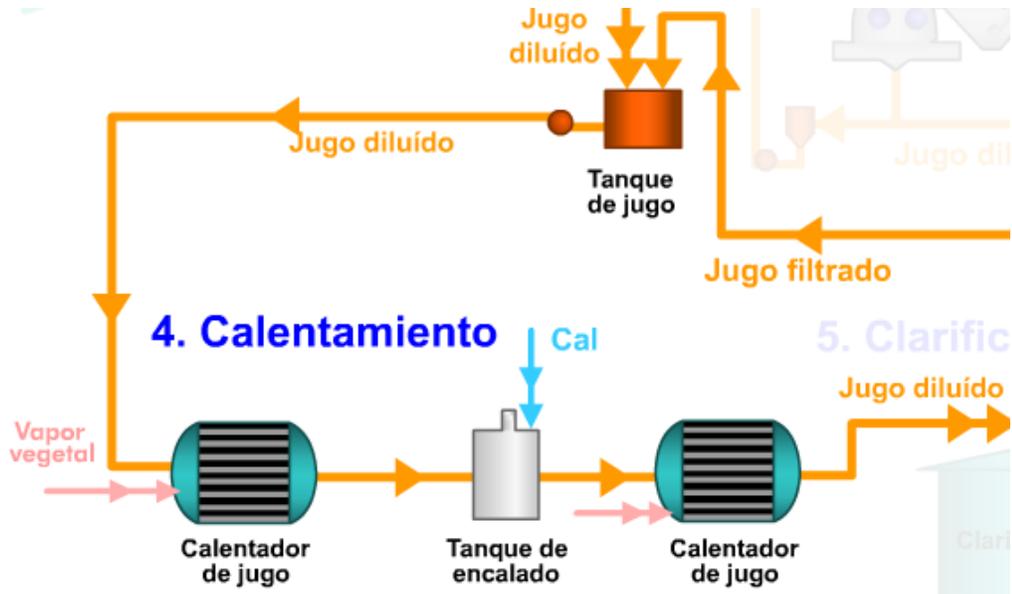
Anexo 4. Generación de vapor y electricidad

3. Generación de Vapor y Electricidad



Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 5. Calentamiento



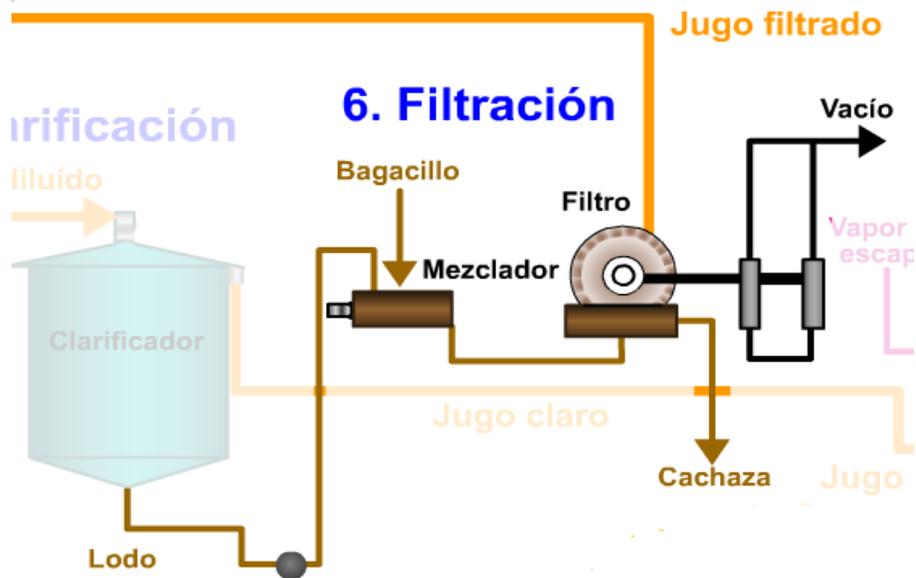
Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 6. Clarificación



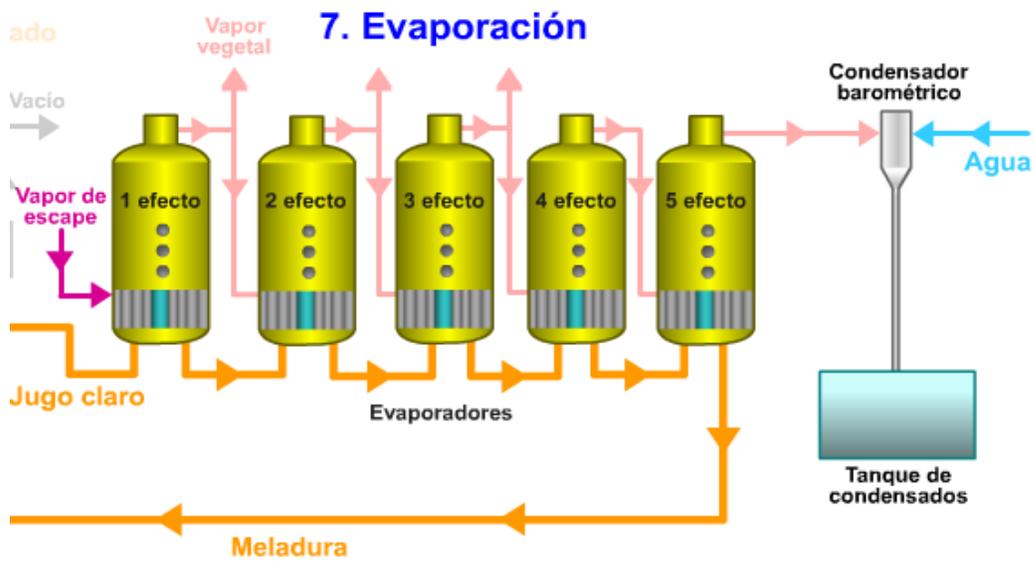
Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 7. Filtración



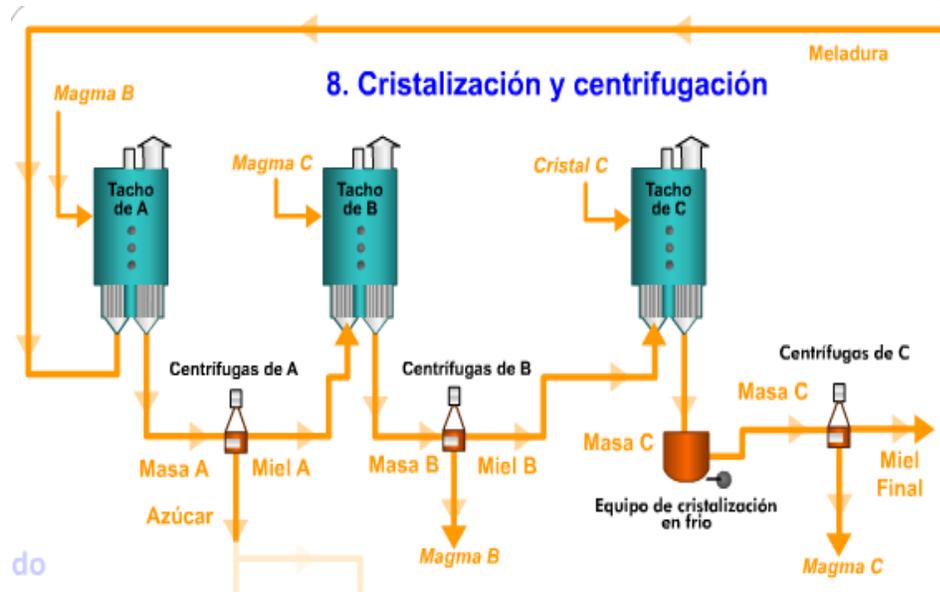
Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 8. Evaporación



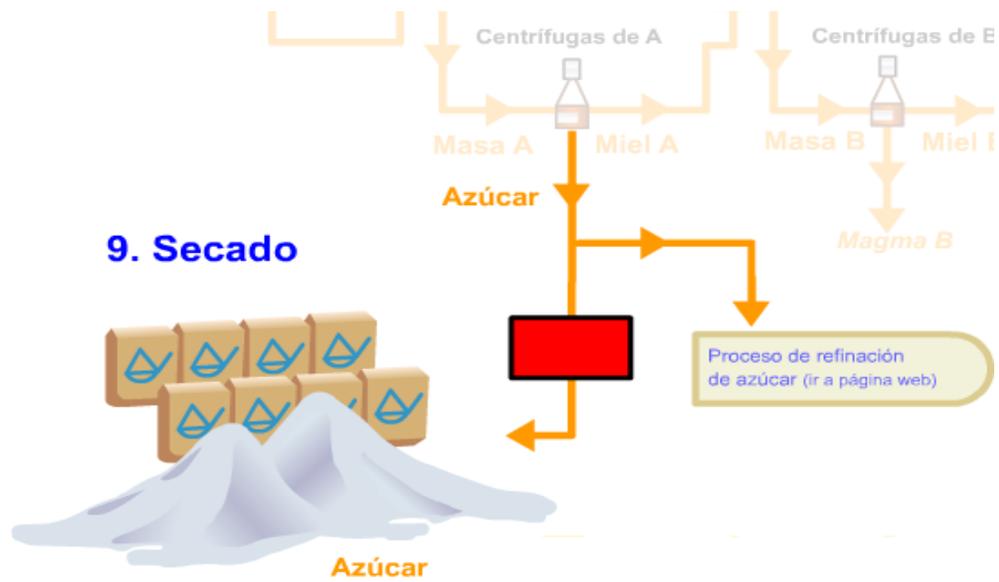
Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 9. Cristalización y Centrifugación



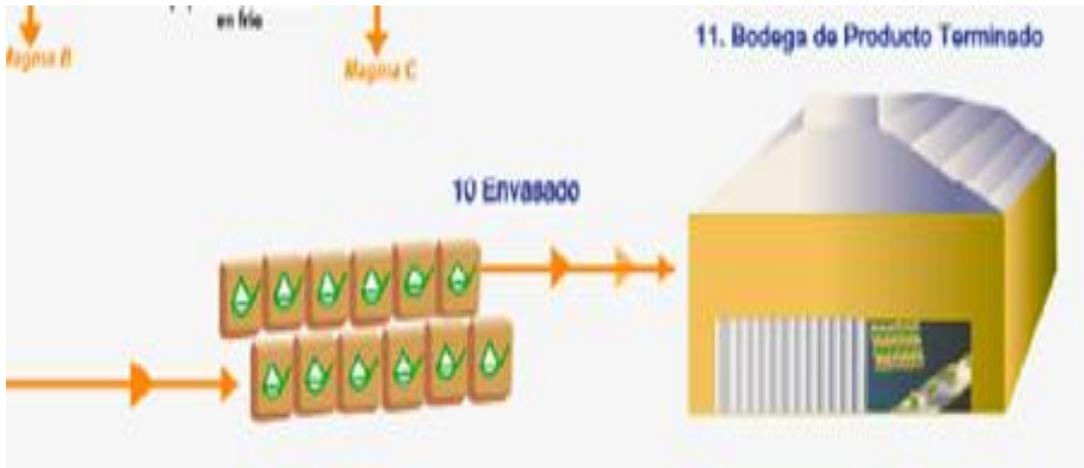
Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 10. Secado



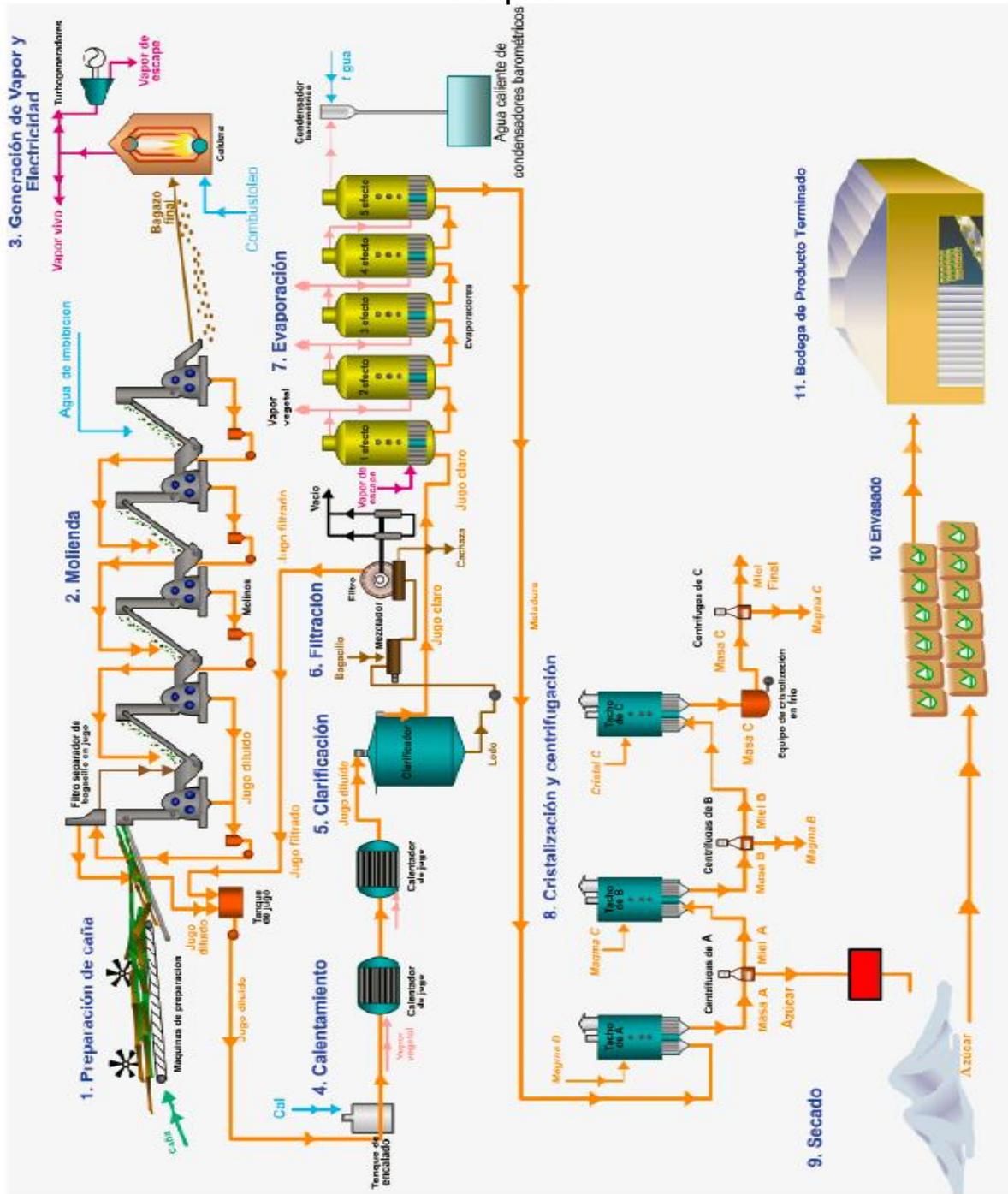
Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 11. Envasado



Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo12. El proceso de la fabricación de azúcar completo



Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/inicio>

Anexo 13. Sistema de color de azúcar en grano

SUPERIOR 100*  150*  200*  *Unidades lcumsa	ESTANDAR 250*  300*  350*  *Unidades lcumsa	MORENA 500*  1000*  1500*  *Unidades lcumsa	Sistema de Ordenamiento de Color de Azúcar en grano Indicaciones para el uso de la cartilla de Color La cartilla de color debe de utilizarse en lugares iluminados La muestra de azúcar a analizar debe de colocarse en una superficie clara No se debe de exponer la cartilla a la luz directa del sol, a la humedad o temperaturas altas No colocar los dedos sobre la superficie de la cartilla Guardar las cartillas de colores en un lugar fuera del alcance de la luz humedad y polvo
--	--	--	--

Fuente: elaboración propia.

Tabla I. **Las propiedades nutricionales de la caña de azúcar**

Propiedades Nutricionales (100 g)	
Agua	79,80%
Proteína	1,80%
Fibra	9,60%
Sacarosa	1,90%
Calorías	61 kcal

(Fretes, 2011).

Tabla II. **Azúcar blanco**

Parámetros	Requisito
Apariencia	Cristales blancos
Sabor	Libre de sabores extraños
Olor	Libre de olores extraños
Polarización	Mínimo 99.4°S
Humedad	Máximo 0.075%
Cenizas por conductividad	Máximo 0.1%
Azúcares reductores	Máximo 0.1%
Color	Máximo 350 U.I.
Materia insoluble en agua	Máximo 150 mg/kg
Flóculos	Máximo 0.14 uma
Mesófilos aerobios	Máximo 2×10^2 UFC/g
Coliformes totales	< 3 NMP/g
Mohos y levaduras	Máximo 1×10^2 UFC/g

(Fretes, 2011).

Tabla III. **Azúcar crudo y azúcar morena**

Parámetros	Requisito
Apariencia	Cristales de color marrón
Sabor	Libre de sabores extraños
Olor	Libre de olores extraños
Polarización	Mínimo 96°S
Humedad	Máximo 1.0%
Factor de seguridad	Máximo 0.30
Cenizas por conductividad	Máximo 0.7%
Azúcares reductores	Máximo 0.7%
Mesófilos aerobios	Máximo 2×10^2 UFC/g
Coliformes totales	< 3 NMP/g
Mohos y levaduras	Máximo 1×10^2 UFC/g

(Fretes, 2011).