



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

**INCIDENCIA DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS (HUMEDAD Y
TEMPERATURA) EN EL DETERIORO DEL COLOR DEL AZÚCAR
GUATEMALTECO**

EDIE MAICO BARRIENTOS AQUINO
ASESORADA POR: INGENIERO HÉCTOR FERNANDO ESTRADA

Guatemala, mayo de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INCIDENCIA DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS (HUMEDAD Y
TEMPERATURA) EN EL DETERIORO DEL COLOR DEL AZÚCAR
GUATEMALTECO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR**

EDIE MAICO BARRIENTOS AQUINO

ASESORADA POR: INGENIERO HÉCTOR FERNANDO ESTRADA

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza
EXAMINADOR	Ing. Jorge Adolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León de Paz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**INCIDENCIA DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS (HUMEDAD Y
TEMPERATURA) EN EL DETERIORO DEL COLOR DEL AZÚCAR
GUATEMALTECO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 15 de Enero de 2005

Edie Maico Barrientos Aquino

Guatemala, 8 de Abril, de 2005

Ingeniero Químico Julio Rivera
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Rivera:

Por medio de la presente hago constar que he revisado como asesor, el informe final del Trabajo de Graduación del alumno Edie Maico Barrientos Aquino con carné No. 1996-15822, titulada: **“INCIDENCIA DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS (HUMEDAD Y TEMPERATURA) EN EL DETERIORO DEL COLOR DEL AZÚCAR GUATEMALTECO”**, habiéndola encontrado satisfactoria y adecuada para su aprobación.

Por lo que lo remito a su consideración para proseguir con los trámites correspondientes.

Atentamente,

Ingeniero Héctor Fernando Estrada

Asesor

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro Señor

Por su inmenso amor. Dador de sabiduría, paciencia y voluntad, dones necesarios para haber culminado con éxito el presente trabajo.

A mi esposa

Simplemente por estar allí cuando necesité aliento, fuerzas para continuar y alcanzar mi objetivo.

A mis padres

Por su amor. Por quienes hoy estoy aquí culminando esta fabulosa etapa de mi vida.

**Al Ing. Estuardo Monroy y
al Ing. Héctor Estrada**

Por compartir sus valiosos conocimientos y su ayuda para la realización del presente trabajo.

A cada una de las personas

Que de una u otra forma contribuyeron en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VI
RESUMEN.....	VII
OBJETIVOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	IX
1. LA CAÑA DE AZÚCAR EN GUATEMALA	
1.1. Taxonomía y morfología.....	1
1.2. Aprovechamiento.....	2
1.3. Exigencias del cultivo.....	2
2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR EN GUATEMALA	
2.1. Labores de campo y cosecha.....	3
2.2. Patios de caña, picado de caña y molienda.....	4
2.3. Clarificación.....	7
2.4. Evaporación.....	10
2.5. Cristalización.....	13
2.6. Centrifugación.....	16
2.7. Secado, enfriamiento y envase.....	17
3. DIAGRAMA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR.....	21

4. BODEGAS PARA EL ALMACENAJE DEL AZÚCAR (VARIABLES CLIMATOLÓGICAS Y SU UBICACIÓN GEOGRÁFICA).....	23
5. MERCADO DE NEGOCIOS DEL AZÚCAR.....	29
5.1. El mercado mundial.....	29
5.2. El mercado en Guatemala.....	30
6. RESULTADOS.....	35
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	45
APÉNDICES.....	47
ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Diagrama simplificado del proceso de fabricación de azúcar.	21
2	Diagrama del proceso de fabricación del azúcar.	22
3	Promedio de degradación de color por mes versus el promedio de humedad relativa en las bodegas de almacenamiento.	35
4	Promedio de degradación de color por mes versus el promedio de temperatura en las bodegas de almacenamiento.	36
5	Promedio de % de humedades relativas en las bodegas de almacenaje	37
6	Promedio de temperaturas en las bodegas de almacenaje	38
7	Degradación promedio, azúcar del ingenio 1	51
8	Degradación promedio, azúcar del ingenio 2	51
9	Degradación promedio, azúcar del ingenio 3	52
10	Degradación promedio, azúcar del ingenio 4	52
11	Degradación promedio, azúcar del ingenio 5	53
12	Degradación promedio, azúcar del ingenio 6	53
13	Degradación promedio, azúcar del ingenio 7	54
14	Degradación promedio, azúcar del ingenio 8	54
15	Degradación promedio, azúcar del ingenio 9	55
16	Degradación promedio, azúcar del ingenio 10	55
17	Degradación promedio, azúcar del ingenio 11	56
18	Degradación promedio, azúcar del ingenio 12	56
19	Degradación promedio, azúcar del ingenio 13	57
20	Degradación promedio, azúcar del ingenio 14	57

TABLAS

I	Distribución del costo del azúcar, según su calidad	33
II	Resultados de análisis del color por mes, de las muestras por ingenio, en las bodegas analizadas	47
III	Temperatura promedio en las bodegas	49
IV	Porcentaje de humedad relativa en las bodegas	49
V	Promedio de degradación de color por mes en las bodegas versus la temperatura promedio en las bodegas	50
VI	Promedio de degradación de color por mes en las bodegas versus la humedad promedio en las bodegas	50

LISTA DE SÍMBOLOS

%H	Porcentaje de humedad relativa
TM	Toneladas métricas
Kg	Kilogramos
°C	Grados Celsius
BTU	Unidad de trabajo
pH	Potencial de hidrógeno
snm	Sobre el nivel del mar
X	Variable desconocida

GLOSARIO

Calor latente	Calor transmitido que va acompañado de un cambio de fase.
Calor sensible	Procedente de un aumento o disminución de temperatura de un fluido sin cambio de fase.
Dextrana	Polímero de glucosa de alto peso molecular y predominantemente de enlace fuerte con una mayoría de 1 a 6 enlaces glúcidos, formado por la acción de ciertas especies de bacteria, especialmente leuconostoc mesenteroides.
Humedad relativa	Es la relación de la presión real del vapor de agua en el aire con la presión de vapor de agua, si el aire estuviera saturado a la misma temperatura de bulbo seco.
Pol	Medición de la concentración de sacarosa (% Sacarosa) medido por medio de la rotación óptica de la luz que atraviesa una solución azucarada.
Sacarosa	Polisacárido, azúcar usualmente proveniente de la caña de azúcar o remolacha azucarera.
Tachos	Evaporador-cristalizador que se utiliza en la industria azucarera para cristalizar la sacarosa y hacer crecer el cristal de azúcar, formando masas cocidas.

RESUMEN

En el tema de la estabilidad del color del azúcar hay varios y muy importantes aspectos a tomar en cuenta, tales como la elección, recolección y transporte de la caña, el proceso de producción del azúcar, condiciones del almacenamiento y condiciones climatológicas del lugar en donde se encuentran ubicadas las bodegas. El presente trabajo se enfoca en las condiciones del almacenamiento y condiciones climatológicas del lugar en donde se encuentran ubicadas las bodegas.

Las condiciones climatológicas de almacenamiento (humedad relativa y temperatura) son de suma importancia para los comercializadores de azúcar, ya que de ello depende la logística de almacenamiento y la calidad del producto. No hay que dejar por un lado el hecho de que las bodegas están situadas geográficamente por estrategia de ventas, de allí lo crítico de estudiar sus limitaciones.

El color del azúcar es una de las más importantes propiedades organolépticas del producto para el consumidor; de esta propiedad se debe la clasificación por calidades del azúcar en estándar, refina y morena. Cada calidad de azúcar tiene un distinto valor económico, de ahí la importancia del presente trabajo.

En el mercado mundial y guatemalteco del azúcar es de gran importancia la clasificación de ésta por calidad (color). Como fue mencionado anteriormente, de ello depende la variación de los precios de venta del producto.

Como anexo al presente estudio se presentan figuras en donde se relaciona la degradación promedio del azúcar por bodega, de cada ingenio guatemalteco. Esta información es de utilidad para la logística de almacenaje y para determinar cuales ingenios producen azúcar más susceptible al deterioro por la temperatura y la humedad.

OBJETIVOS

- **General**

Analizar la incidencia de las variables climatológicas (humedad y temperatura) en el deterioro del color del azúcar guatemalteco.

- **Específicos**

1. Estudiar la influencia de la situación geográfica de las bodegas de almacenaje en el deterioro del color del azúcar.
2. Determinar la influencia de las variables de impacto que contribuyen en el deterioro del color del azúcar.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio pretende contribuir con la comercialización de azúcar de calidad para los guatemaltecos y el negocio de la comercialización de azúcar en Guatemala. Dicho estudio fue concebido junto con la industria azucarera guatemalteca, considerando los parámetros internamente asignados para las distintas calidades de azúcares ofertadas en el país.

El desarrollo y ejecución del estudio contribuirá en la comprensión del proceso de deterioro del color del azúcar de los distintos centros productores en las bodegas de almacenaje, localizadas éstas en las distintas zonas climatológicas del país.

Es importante recalcar que una de las cualidades organolépticas más importantes del azúcar para el consumidor es el color, el cual, entre otras propiedades, da origen a la clasificación del azúcar dentro de las distintas calidades y precios para su comercialización. De ahí la importancia del presente estudio, el cual contribuirá para que una de las comercializadoras azucareras del país brinde a sus consumidores azúcar de la calidad deseada.

Las condiciones de almacenamiento así como las condiciones climatológicas del área en donde se ubican las bodegas impactan directamente la curva de deterioro del color del azúcar, donde a mayor temperatura y humedad relativa se incrementa la degradación promedio del color.

1. LA CAÑA DE AZÚCAR EN GUATEMALA

La caña de azúcar común se cultiva a partir de esquejes desde la antigüedad; algunas variedades no producen semillas fértiles.

Se han ensayado con éxito varias máquinas de cortar caña. Dentro del proceso productivo del azúcar, el 70% de los costos lo constituye la cosecha, por lo que este rubro es de suma importancia para la disminución de los costos, de ahí el auge del corte mecanizado. El instrumento usado para cortar la caña por medios manuales suele ser un machete grande de acero con hoja de unos 50 cm de longitud y 13 cm de anchura, un pequeño gancho en la parte posterior y empuñadura de madera. La caña se abate cerca del suelo, se le quitan las hojas con el gancho del machete y se corta por el extremo superior, cerca del último nudo maduro. Las hojas se dejan en el suelo para enriquecerlo de materia orgánica.

1.1 Taxonomía y morfología

Pertenece a la familia de las gramíneas, género *Saccharum*. Las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines (*spontaneum*) procede del Extremo Oriente, de donde llegó a España en el siglo IX. España la llevó a América en el siglo XV.

Tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; puede propagarse por estos rizomas y por trozos de tallo.

La caña tiene una riqueza de sacarosa del 14% aproximadamente, aunque varía a lo largo de toda la recolección y según la variedad.

1.2 Aprovechamiento

La caña de azúcar suministra, en primer lugar, sacarosa para azúcar blanca, morena, refina, etc. También tiene aproximadamente 40 kg/tm de melaza (materia prima para la fabricación del ron y alimentación animal), 150 kg/tm de bagazo para generar energía y otros aprovechamientos de mucha menor importancia como los compost agrícolas, vinazas, ceras, fibra absorbente, etc.

1.3 Exigencias del cultivo

La caña de azúcar no soporta temperaturas inferiores a 0 °C, aunque alguna vez puede llegar a soportar hasta -1 °C, dependiendo de la duración de la helada. Para crecer exige un mínimo de temperaturas de 14 a 16 °C. La temperatura óptima de crecimiento parece situarse en torno a los 30 °C., con humedad relativa alta y buen aporte de agua.

Se adapta a casi todos los tipos de suelos, vegetando mejor y dando más azúcar en los ligeros, si el agua y el abonado es el adecuado. En los pesados y de difícil manejo constituye muchas veces el único aprovechamiento rentable. Los suelos muy calizos a veces dan problemas de clorosis.

2. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR EN GUATEMALA Y SUS EFECTOS EN EL COLOR

A continuación se presenta un resumen del proceso de producción (fabricación) del azúcar de caña:

La caña de azúcar ha sido uno de los productos de mayor importancia para el desarrollo comercial, tanto en el continente americano como en el europeo. El azúcar se consume en todo el mundo, pues constituye una de las principales fuentes de calorías en las dietas de todos los países.

El azúcar puede obtenerse principalmente a partir de la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla de caña germina hasta que el azúcar se comercializa nacional e internacionalmente.

2.1 Labores de campo y cosecha

El proceso productivo se inicia con la preparación del terreno, etapa previa de siembra de la caña. Una vez la planta madura, las personas encargadas del área de cosecha se disponen a cortarla y recogerla a través de alce mecánico y/o corte manual para llevarla hacia los patios de caña de los ingenios.

Proceso

- Cosecha de caña de azúcar manual o mecánica.
- Remoción de hojas de la parte superior por quema o equipo mecánico.
- Un proceso que no debe durar más de 24 horas, hasta llegar al patio de caña. (este tiempo depende si el corte es mecánico o manual). En la práctica, este tiempo llega a ser hasta 72 horas.

Problemas

- Crecimiento y variedad de la caña: contenido de azúcar y de almidones.
- Hojas verdes y topes: almidones, polifenoles, flavonoides. Aportan color al jugo, por lo tanto, al azúcar.
- Tiempo de corte y molienda: descomposición microbiana por leuconostoc, dextranas, pérdidas de sacarosa.

2.2 Patios de caña, picados de caña y molienda

La caña que llega del campo se muestrea para determinar las características de calidad y el contenido de sacarosa, fibra y nivel de impurezas. Luego se pesa en básculas y se conduce a los patios donde se almacena temporalmente, o se dispone directamente en las mesas de lavado de caña, para dirigirla a una banda conductora que alimenta las picadoras.

El primer paso en el proceso fabril para la producción de azúcar de caña es la extracción de jugo mediante la compresión de la caña entre cilindros de gran tamaño llamados mazas. Antes de esta extracción se prepara la caña para la molienda; haciéndola pasar bajo cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas.

Luego, entre masas de rayado grueso que quiebran la caña y exprimen gran parte del jugo. A continuación se pasa por desfibradoras en forma de molinos de martillos, que desfibran la caña sin exprimir jugo o, más generalmente, a través de combinaciones de dos o tres de estos métodos.

Los molinos son unidades múltiples de combinaciones de tres o cuatro mazas entre las cuales pasa sucesivamente la caña exprimida o bagazo. Al salir de cada unidad, se rocía la torta de bagazo con chorros de agua o jugo pobre en azúcar, esto ayuda a la extracción del azúcar por lixiviación. Este proceso, llamado imbibición, tiene muchas variantes. Los mejores procedimientos de molienda logran extraer, en forma de jugo, más del 95% del azúcar que contiene la caña. Este porcentaje se llama la extracción de sacarosa (pol de la extracción) o simplemente % de extracción.

El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraída, la fibra leñosa y de un 40% a 50% de agua. Este producto suele ir a las calderas para servir de combustible.

Las picadoras son equipos colocados sobre los conductores accionados por turbinas, provistos de cuchillas giratorias que cortan los tallos y los convierten en astillas, dándoles un tamaño uniforme para facilitar así la extracción del jugo en los molinos.

La caña preparada por las picadoras llega a un tándem de molinos, constituido cada uno de ellos por tres o cuatro mazas metálicas y mediante presión extrae el jugo de la caña. Cada molino esta equipado con una turbina de alta presión.

A pesar de la diversidad de plantas de molienda y de las máquinas empleadas para ella, la composición física del bagazo varía entre límites bastante estrechos. Su propiedad más importante, desde el punto de vista de vapor, es su humedad.

El bagazo que sale del último molino debe distribuirse en los hornos de las calderas.

Proceso

- Caña de azúcar: corte en pedazos, desmenuzado y molienda a través de grandes cuchillas y rodillos.
- Extracción continua de jugo con agua en contra corriente.
- El bagazo extraído se usa para alimentas las calderas.

Problemas

- Calidad del jugo (contenido de azúcar, pureza, % de inversión de la sacarosa, pH, dextranas, almidones): puede afectar la capacidad del ingenio para purificar el jugo y cumplir las especificaciones.

- La calidad del agua y el saneamiento del ingenio: críticos para evitar pérdidas, inversión y daños; afecta directamente la calidad del jugo.
- Condición y edad de la caña: la caña vieja o sucia se descompone rápidamente y afecta la calidad del jugo, ya que después del corte se inicia un proceso de inversión del azúcar y descomposición en alcoholes y otros afectando con ello el % de recuperación.

2.3 Clarificación

Existen tres procesos de clarificación: (1) carbonatación => cal y CO₂, (2) Fosfatación => cal y ácido fosfórico y (3) sulfitación => cal y SO₂.

El jugo obtenido en la etapa de molienda es de carácter ácido (pH aproximado: 5.2). Éste se trata con lechada de cal, la cual eleva el pH con el objetivo de minimizar las posibles pérdidas de sacarosa. La cal también ayuda a precipitar impurezas orgánicas o inorgánicas que vienen en el jugo y para aumentar o acelerar su poder coagulante, se eleva la temperatura del jugo encalado mediante un sistema de intercambiadores de calor.

La clarificación del jugo por sedimentación, los sólidos no azúcares se precipitan en forma de lodo llamado cachaza y el jugo claro queda en la parte superior del tanque. Este material sobrante, la cachaza, se envía al campo para el mejoramiento de los suelos pobres en materia orgánica.

Proceso (1) clarificación por carbonatación

(Este proceso es utilizado únicamente en alguno de los países orientales, debido a sus costos elevados).

Proceso (2) clarificación por fosfatación

- Se añaden ácido fosfórico y cal al jugo caliente.
- Se permite que se forme un flóculo
- Remoción del flóculo por sedimentación o separación del sobre nadante (separación de la cachaza).
- Se elimina : 30-60% de color y 90% + de turbidez.

Problemas (2) clarificación por fosfatación

- Control del proceso: se deben monitorear el pH, la temperatura y el nivel de cal para observar si la remoción de impurezas ha sido efectiva.
- Flóculo: si no se elimina debido a que no se controló cualquier variable del proceso (temperaturas, tiempo, velocidad de agitación etc), puede arrastrarse hasta el producto final.

Proceso (3) clarificación simple y sulfitación

El jugo que va de los molinos al proceso se somete a un tamizado basto después del cual, en la mayoría de los ingenios, se acostumbra pesar la totalidad del jugo. Por lo tanto, en las fábricas en las que hay recirculación a los molinos de parte del jugo o las aguas de las cachazas es necesario que el pesaje se efectúe después de terminada la clarificación.

Los procedimientos recientes indican la necesidad de la eliminar mayor cantidad de los sólidos en suspensión, especialmente si la caña se cosecha por medios mecánicos. El material a extraer consiste principalmente en tierra, arena y roca molida que extrajo el tamizado preliminar.

El principal objetivo de la clarificación es eliminar la máxima cantidad de impurezas del jugo en la etapa más temprana del proceso para así tener consideraciones, tales como la claridad y reacción del jugo claro. En la fabricación del azúcar crudo la cal y el calor son casi los únicos agentes que se utilizan con este fin, aunque generalmente se añade una pequeña cantidad de fosfato soluble. La fabricación de azúcares para el consumo directo requiere el uso de otras sustancias químicas además de la cal.

La clarificación con cal y calor, conocida como proceso de defecación simple, es el método más antiguo para purificar el jugo, y en muchos sentidos es el más efectivo. El procedimiento varía ampliamente en las diferentes localidades y en las diferentes condiciones. Por lo general, se añade la cal suficiente para neutralizar los ácidos orgánicos que contiene el jugo, y después se eleva la temperatura a 95 grados Celsius o más.

Este tratamiento con cal y calor forma un precipitado denso de composición compleja, en parte más ligero y en parte más denso que el jugo, que contiene sales insolubles de calcio, albúmina coagulada y porciones variables de ceras, grasas y gomas. El precipitado por floculación arrastra consigo la mayor parte del material fino que está en suspensión en el jugo y que no ha sido extraído por el tamizado mecánico cuando existe. La separación del precipitado del jugo que lo rodea se efectúa casi universalmente mediante la sedimentación y la decantación.

Es difícil producir en el ingenio un azúcar de calidad uniforme debido a la variación en la pureza de la materia prima. Resulta obvio que cualquier selección de los jugos, con el fin de obtener una mayor pureza en la fabricación del azúcar blanco, contribuirá a mantener la uniformidad del producto.

Los procesos de sulfitación están sujetos a casi tantas modificaciones como la defecación simple. Entre las variaciones pueden incluirse las siguientes; 1) modificación de la secuencia de adición de la cal y el SO₂. 2) modificaciones de la temperatura. 3) adición de los reactivos.

2.5 Evaporación

Aquí se comienza a evaporar el agua del jugo. El jugo claro que posee casi la mitad composición del jugo crudo extraído (con la excepción de las impurezas eliminadas en la cachaza) se recibe en los evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 14 y 16 % y post proceso de evaporación se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 al 60 % (o más).

A continuación se describen algunas definiciones importantes para el desarrollo de la clarificación.

Evaporación. Es la operación que extrae agua de una solución por vaporización mediante la aplicación de calor.

Calefacción. Es la operación que aumenta la temperatura de una solución, también por medio de la aplicación de calor.

Unidad de calor, BTU. (unidad térmica británica). Es la cantidad de calor necesaria para producir un aumento de temperatura de un grado Fahrenheit en una libra de agua.

Calor latente. Es la cantidad de unidades de calor, BTU., que se requieren para evaporar una libra de agua sin cambiar su temperatura. Su valor varía según la temperatura.

2.5.1 Evaporación en múltiple efecto

con el sistema sencillo que se describió anteriormente, los evaporadores se pueden conectar en equipo en forma tal que la evaporación producida en uno de ellos se utiliza como vapor de calefacción del siguiente. Sólo es necesario disminuir la presión de cada unidad sucesiva que se añada, y así se establecerá una diferencia de temperatura adecuada que permitirá el funcionamiento correcto del aparato.

El proceso en evaporadores de múltiples efectos al vacío consiste en una solución de celdas de ebullición dispuestas en serie. El jugo entra primero en el pre-evaporador y

se calienta hasta el punto de ebullición, el preevaporador no está al vacío. Al comenzar a ebullición se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así menor punto de ebullición en cada evaporador. En el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura. La meladura es purificada en un clarificador.

La operación es similar a la anterior para clarificar el jugo filtrado, con la diferencia básica de que debido a la concentración de la meladura el proceso no es por sedimentación sino que por fosfoflotación, para lo cual es necesario burbujear aire.

Proceso

- El jugo (ingenio) es concentrado en una serie de evaporadores.
- Se lleva la solución a una concentración de 55 a 60 brix.

Problemas

- Desarrollo de color: debe minimizarse porque el color puede ser arrastrado hasta el azúcar final.
- Acumulación de incrustaciones: puede arrastrarse hasta el azúcar final.

2.6 Cristalización

La función del tacho es la producción y desarrollo de cristales satisfactorios de azúcar a partir del jarabe del que se alimenta. Las cualidades deseables del azúcar están sujetas a la influencia del diseño de los tachos y de la forma en que se operan. Las altas densidades de producto que entra a los tachos disminuyen el consumo de vapor y la duración del ciclo, pero hacen que el control satisfactorio de las operaciones sea cuestión delicada que implica peligro de la producción de conglomerados y falso grano.

Un tacho de calandria es un evaporador de simple efecto, de diseño especial, dotado de tubos cortos de gran diámetro y un tubo central grande sirve para facilitar la circulación de la masa cocida pesada y viscosa que se elabora en conchuras llamada templeas. El jarabe y las melazas, en ciertas proporciones, desarrollan cristales de azúcar. Se comienza por la cobertura de la superficie calórica a un nivel a penas suficiente para lograr que haya circulación, y se termina con la carga completa que constituye la templea, cuyo volumen es el triple del volumen con que se comienza.

El jarabe es el jugo concentrado que sale de los evaporadores. La mezcla de azúcar y licor madre que descarga el tacho se llama masa cocida. El licor madre se llama melaza. La magma consiste de azúcar de baja calidad mezclada con jarabe o melaza y depositada en cristalizadores, de los cuales se extrae hacia los tachos para comenzar con ella una templea (cantidad de masa cocida que descarga un tacho) de alta calidad. La cantidad de magma que se utiliza para cada templea llamada pie de templea, es suficiente para cubrir la calandria. La transferencia de masa cocida de un tacho a otro se llama corte, y el acto de practicar dicha transferencia se llama dar cortes. Hacer grano, fabricar grano, hacer semilla es el proceso mediante el cual se inicia la formación de cristales de azúcar.

Procesos de semillación. Los más conocidos son el de semillamiento por choque y el de semillamiento total. El primero sustituyó al método más antiguo, que consistía en permitir que el grano se formara espontáneamente. En el método de semillamiento por choque el líquido se concentra hasta un punto superior al de saturación, después de lo cual se introduce al tacho una cantidad pequeña (aproximadamente $\frac{1}{2}$ kg) de polvo de azúcar. Este polvo no sirve de núcleo al grano, sino constituye un choque a la solución sobresaturada, mediante el cual se induce la formación del grano nuevo.

En el semillamiento total, considerado el sistema mejor para lograr una buena formación de grano, el mismo significa la inyección, en el momento debido, de la cantidad plena de cristales que se desea que contenga la templa terminada. No se forman cristales en el tacho en ningún momento, y hay que mantener la concentración en la zona de crecimiento de cristales.

El licor madre de las masacocidas de baja pureza no se puede agotar adecuadamente de la sacarosa cristalizable en el tacho. Esta imposibilidad se debe primordialmente a la disminución rápida de la velocidad de cristalización y a las altas viscosidades que se encuentran a medida que el licor madre se aproxima al estado de agotamiento. Consecuentemente, después que la masacocida se ha llevado a la máxima consistencia que se puede trabajar en el tacho, se descarga a un cristalizador, en el cual ocurre la cristalización en movimiento hasta que el licor madre llega a ser una melaza sustancialmente agotada.

La cristalización en movimiento es una operación subsidiaria en la cual la masacocida se agita lentamente mientras pierde la temperatura a la que abandonó el tacho y se aproxima a la de la atmósfera que le rodea. La disminución progresiva de la temperatura disminuye la solubilidad y hace que siga ocurriendo la cristalización.

La agitación continua disminuye las diferencias internas de temperatura y sobresaturación, evitando así la formación de nuevos núcleos. Los cristalizadores son recipientes de sección cilíndrica o en forma de U dotados de agitadores que se mueven a baja velocidad.

Proceso

- Ebullición controlada en el cristalizador (tacho).
- Adición de semillas de cristal y permitir que crezcan.
- Tiempo y enfriamiento en cristalizadores.

Problemas

- Velocidad de ebullición. Si es muy lenta, el color puede aumentar. Si es muy alta, los cristales pueden tener calidades muy variables.
- La agitación afecta el nivel de conglomerados (grupos de cristales) del azúcar final.
- Uniformidad y tamaño de los cristales semilla: afectan la uniformidad y consistencia de los cristales finales.

2.7 Centrifugación

Las masacocidas, en la forma que salen de los tachos o de los cristalizadores, van primero a un mezclador, que suele ser un recipiente en forma de canal dotado de brazos giratorios cuyo movimiento evita el asentamiento de los cristales. Los cristales que contiene la masacocida son separados de las melazas o jarabe que los rodea por la acción de la fuerza centrífuga en una máquina llamada centrífuga.

En esencia una centrífuga consta de un tambor perforado o canasto, dispuesto de tal forma que puede girar en un eje vertical llamado buso, flecha o eje. El canasto gira dentro de un envolvente metálico que recoge la melaza expulsada por la fuerza centrífuga. Los costados verticales del canasto tienen muchas perforaciones, y en su interior se colocan varios forros.

El primer forro, es decir el que queda precisamente dentro del metal del canasto, es una malla de alambre de bronce, con unas diez mallas por pulgada, y dentro de éste va una lámina perforada de bronce o latón a la que se llama tela. La malla permite el drenaje más rápido de la miel, cada batería de estas máquinas tiene su propio mezclador, y cada una de ellas recibe su carga de masa por su propia válvula o compuerta, situada al fondo del mezclador.

Se ha visto una mejora progresiva de los métodos utilizados para lavar los azúcares durante la purga. Desde los primeros días se reconoció la necesidad de medir el agua que se aplicaba, puesto que su cantidad afecta la cantidad de azúcar que se disuelve durante la purga, y por ende la pureza de la melaza y el rendimiento de cristales que se obtienen. Es corriente que en las máquinas de alta velocidad se use agua caliente (82 grados Celsius o más).

El lavado del azúcar por admisión de vapor saturados al canasto, cuya tapa se cierra, se utiliza en la producción de azúcares turbinados o de consumo directo.

Proceso

- La fuerza centrífuga se usa para separar la miel del azúcar.
- El azúcar es lavado con agua (rociado 2-4 segundos) para remover la melaza.

Problemas

- Calidad del agua de lavado. El condensado de una agua de mala calidad puede contaminar el azúcar. La contaminación microbiológica es virtualmente imposible, debido a las altas temperaturas de los condensados, pero es importante vigilar la calidad fisicoquímica.
- La cantidad de agua (tiempo de lavado) es crítico para un equilibrio de mejoramiento de color versus pérdida de azúcar.

2.8 Secado, enfriamiento y envase

El azúcar húmedo se transporta por elevadores y bandas para alimentar las secadoras, que son cilindros rotatorios en los cuales el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El azúcar debe tener baja humedad, aproximadamente 0.05 %, para evitar los terrones.

El azúcar se seca con temperatura cercana a 60 °C, se pasa por los enfriadores rotatorios inclinados que llevan el aire frío, en donde se disminuye su temperatura hasta aproximadamente 40°C (no mayor) para ser llevada a las unidades de envase.

El azúcar seca y fría se empaca en sacos de 50 kilogramos y se despacha a la bodega de producto terminado donde es almacenada (en estibas, donde se apilan los sacos uno sobre otro) para su posterior venta y comercio.

Proceso

- El azúcar húmedo (aprox. 1% humedad) se seca contra corriente en un secador y posteriormente a un enfriador rotativos. (Ref. Manual del azúcar de caña, Spencer Meade).
- El azúcar se empaca en bolsas de 50 kilogramos o en *big bags* de 2,800 lbs aprox.
- El azúcar almacenado a granel puede acondicionarse con aire seco y fresco.

Problemas

- Temperatura de secado muy alta (>93grados Celsius), puede formar azúcar amorfo aumentando el apelmazamiento.
- Temperatura de empaque muy alta, por un mal enfriamiento y/o temperatura de secado muy alta (>35 grados Celsius) puede causar apelmazamiento.

Cambios del azúcar almacenado:

- Color: puede aumentar 20%+ en 6 meses a temperatura ambiente.
- Turbidez, cenizas: no cambian.
- Los azúcares de mejor calidad (bajo color y baja humedad) son los más estables.

Razones de los cambios:

- La película en la superficie de los cristales que puede contener precursores del color (ácidos fenólicos, ácidos lácticos, productos de reducción del sulfito, etc)
- Se puede desarrollar color en contacto con humedad, aire, luz, y altas temperaturas.

3. DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL AZÚCAR

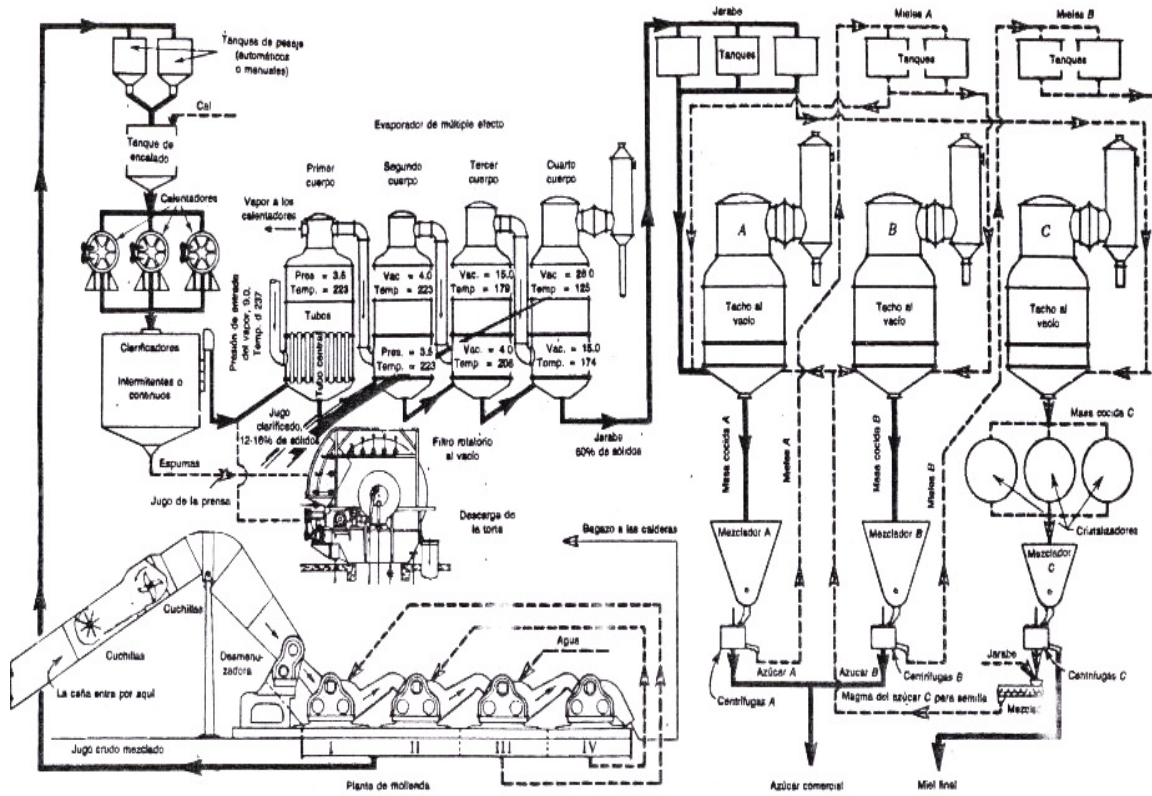
La siguiente figura muestra el esquema simplificado del proceso de fabricación del azúcar.

Figura 1. Diagrama simplificado del proceso de fabricación de azúcar



Fuente: Página de internet www.perafan.com

Figura 2. Diagrama del proceso de fabricación del azúcar



Fuente: Meade, Chen, Manual de la caña de azúcar, editorial Limusa, 1991.

4. BODEGAS PARA EL ALMACENAJE DEL AZÚCAR (VARIABLES CLIMATOLÓGICAS Y SU UBICACIÓN GEOGRÁFICA)

Las ubicaciones de las bodegas de la comercializadora son las siguientes:

- Bodega 1: Km 36 carretera al Pacífico.
- Bodega 2: 8ª Avenida 5-18 zona 2 Colonia Aceituno, Mazatenango, Suchitepéquez.
- Bodega 3: Km 13.8 carretera Roosevelt, Zona 3, Mixco.
- Bodega 4: Km 121.5 carretera a Esquipulas.
- Bodega 5: 2ª Avenida 6-08 Z.2, Quetzaltenango.

4.1 Zonas climáticas de Guatemala

El clima es producto de los factores astronómicos, geográficos y meteorológicos, adquiere características particulares por la posición geográfica y topografía del país. Climáticamente, por el sistema Thorntwaite, se ha zonificado al país en seis regiones perfectamente caracterizadas.

4.2 Las planicies del norte

Comprende las planicies de Peten. La región norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz e Izabal. Las elevaciones oscilan entre 0 a 300 metros snm. El ascenso se realiza mientras se interna en el territorio de dichos departamentos, en las estribaciones de las sierras de Chamá y Santa Cruz.

Es una zona muy lluviosa durante todo el año, aunque de junio a octubre se registran las precipitaciones más intensas. Los registros de temperatura oscilan entre los 20 y 30 °C.

En esta región se manifiestan climas de género cálidos con invierno benigno, variando su carácter entre muy húmedos, húmedos y semisecos, sin estación seca bien definida. La vegetación característica varía entre selva y bosque.

4.3 Franja transversal del norte

Definida por la ladera de la sierra de los Cuchumatanes, Chamá y las Minas, norte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz y Cuenca del Río Polochic. Las elevaciones oscilan entre los 300 hasta los 1400 metros snm, es muy lluviosa y los registros más altos se obtienen de junio a octubre, los niveles de temperatura descienden conforme aumenta la elevación .

En esta región se manifiestan climas de género cálido con invierno benigno, cálidos sin estación seca bien definida y semicalidos con invierno benigno. Su carácter varía de muy húmedos sin estación seca bien definida. La vegetación característica es de selva a bosque.

4.4 Meseta y altiplanos

Comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, Guatemala, sectores de Jalapa y las Verapaces. Las montañas definen mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1,400 metros snm, generando diversidad de microclimas. Son regiones densamente pobladas por lo que la acción humana se convierte en factor de variación apreciable.

Las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes éstas pueden ser deficitarias. En cuanto a la temperatura, en diversos puntos de esta región se registran los valores más bajos de país.

En esta región existen climas que varían de templados y semifríos con invierno benigno a semicalidos con invierno benigno, de carácter húmedos y semisecos con invierno seco.

4.5 La bocacosta

Es una región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Jutiapa, situada en la ladera montañosa de la Sierra Madre, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del Pacífico, con elevaciones de 300 a 1,400 metros snm. Las lluvias alcanzan los niveles más altos del país juntamente con la transversal del norte, con máximos pluviométricos de junio a septiembre, los valores de temperatura aumentan a medida que se descende hacia el litoral del Pacífico.

En esta región existe un clima generalizado de género semicálido y sin estación fría bien definida, con carácter de muy húmedo, sin estación seca bien definida, en el extremo oriental varía a húmedo y sin estación seca bien definida. La vegetación característica es selvática.

4.6 Planicie costera del Pacífico

Esta región también se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Jutiapa, con elevaciones de 0 a 300 metros snm.

Las lluvias tienden a disminuir conforme se llega al litoral marítimo con deficiencia durante parte del año, los registros de temperatura son altos.

En esta región existen climas de género cálido sin estación fría bien definida. Con carácter húmedo con invierno seco, variando a semiseco. Con invierno seco. La vegetación varía de bosque a pastizal en el sector oriental.

4.7 Zona oriental

Comprende la mayor parte del departamento de Zacapa y sectores de los departamentos de El Progreso, Jalapa, Jutiapa y Chiquimula. El factor condicionante es el efecto de sombra pluviométrica que ejercen las sierras de Chuacus y de Las Minas, y a lo largo de toda la cuenca del Río Motagua las elevaciones son menores o iguales a 1,400 metros snm.

La característica principal es la deficiencia de lluvia (la región del país donde menos llueve) con marcado déficit la mayoría del año y con los valores más altos de temperatura.

En esta región se manifiestan climas de género cálido con invierno seco, variando su carácter de semisecos sin estación seca bien definida hasta secos. La vegetación característica es el pastizal.

5. MERCADO DE NEGOCIOS DEL AZÚCAR

5.1 El mercado mundial

El azúcar se produce en unos 120 países. El 70% de la producción se obtiene de la caña de azúcar, y el resto de la remolacha. Dado el incremento continuo de la producción de azúcar de caña y la estabilización de la producción de azúcar de remolacha, la diferencia es cada vez más favorable a la caña. En la mayor parte de los países la producción de azúcar se destina sobre todo al consumo interno. Así, en China y la India casi no exportan azúcar y sólo el 30% de la producción se negocia en el mercado internacional.

Hay dos características que definen el mercado mundial de azúcar.

Primero, las intervenciones considerables de los gobiernos influyen en los mercados nacionales e internacionales. La mayor parte de los países productores de azúcar protegen sus mercados nacionales con aranceles elevados u otras medidas de carácter proteccionista para aumentar (o, a veces, crear) la producción interior. De esta manera, los productores nacionales obtienen precios superiores al precio mundial. Este sistema se aplica tanto en los principales países industrializados como en los países de desarrollo. De esta manera, la India, China, EE.UU., Japón, son totalmente o casi totalmente autosuficientes y la Unión Europea es uno de los principales exportadores.

Otros países, cuya producción no es tan alta, intervienen también con fuerza en su mercado nacional, por lo que el comercio del azúcar es libre en muy pocos países.

En segundo lugar, el azúcar vendido en el mercado mundial no se suele negociar en el mercado libre sino, más bien, a través de contratos gubernamentales. Esto sucede, sobre todo en los países socialistas. Sin embargo, la Unión Europea y EE.UU. también han firmado contratos con varios países en desarrollo, garantizando la importación de un volumen determinado de azúcar al precio local. Así, los países exportadores de azúcar sirven estos pedidos antes de vender azúcar en el mercado libre.

Para muchos productores no hace falta que los precios mundiales reflejen sus costes de producción, puesto que pueden cubrir los costes fijos (máquina, refinerías) en su mercado interno o gracias a los contratos preferenciales y ofrecer en el mercado mundial precios atractivos que cubran sólo costes variables (sueldos, alquileres, energía). En muchos casos, los gobiernos subvencionan las exportaciones de azúcar, por lo que los precios mundiales son inferiores a los costes reales de producción de la mayor parte de los países productores y hasta de los países exportadores.

La inestabilidad de los precios mundiales se debe a un mercado que los economistas califican de delgado: relativamente pocos vendedores y compradores, por lo que la modificación ocurrida en uno o varios de los grandes exportadores puede haber un impacto fuerte en el precio.

5.2 El mercado en Guatemala

Guatemala es el país septentrional de Centroamérica, colinda al norte con los países integrantes del Tratado de Libre Comercio de Norte América. Es la puerta del corredor logístico centroamericano, que ofrece al inversionista una de las regiones más propicias al desarrollo comercial del nuevo siglo.

En el área industrial de fabricación de alimentos y bebidas (galletas, pan, dulces, helados, chocolates, goma de mascar, jugos y sodas) ha experimentado en los últimos tres años un crecimiento acumulado de los productos elaborados a partir del azúcar de un 8.5% .

Es un país apropiado para producir y exportar, cuenta con una biodiversidad agro ecológica, que lo convierte en una fuente natural para la inversión. Tiene una gran variedad de productos agrícolas listos para su transformación. Actualmente es el quinto exportador a nivel mundial y tercero de Latinoamérica.

Durante la zafra 2002-2003 en Guatemala los 17 ingenios azucareros del país obtuvieron una cosecha que rindió 41.5 millones de quintales de azúcar para la temporada.

El azúcar es considerado uno de los productos tradicionales de exportación más importantes, por lo que la agroindustria azucarera guatemalteca desempeña un papel importante en la economía nacional, al generar cerca de 250,000 empleos directos e indirectos.

Actualmente, Guatemala ocupa el sexto lugar como país productor de azúcar a nivel mundial, y en el 2002 exportó 29.50 millones de quintales del endulzante, que tuvieron como principal destino los mercados de Corea del Sur, Rusia y Estados Unidos.

En las últimas cuatro décadas, el destino de la producción de azúcar guatemalteca ha cambiado. En 1960, el 90% de la cosecha se consumía en el mercado local, hoy en día, el 65% del azúcar producido en el país se vende en el

exterior. De esta forma, el azúcar pasó a ser un producto de exportación tradicional que genera más de US\$238 millones al año, lo que equivale a unos Q1,832 millones anuales.

En los últimos años los azucareros guatemaltecos inician la zafra cautelosos a la sombra de la cosecha azucarera de Brasil. Los mismos han manifestado su preocupación por un eventual aumento en la cosecha de azúcar brasileña, lo que vendría a presionar los precios internacionales del azúcar, perjudicando no sólo al sector, sino que también a la economía nacional en general.

Ante tal situación, los azucareros guatemaltecos, al igual que otros productores mundiales de azúcar, apuestan por la mejora de la competitividad, y la diversificación de subproductos derivados del cultivo de la caña de azúcar.

Entre los usos que los productores dan a la caña de azúcar, aparte de la producción del endulzante, se encuentran la extracción de melaza, la generación de energía eléctrica por medio del bagazo de caña, y más recientemente, la producción de alcohol carburante más conocido como etanol, que tiene amplio mercado en Estados Unidos, debido a las exigencias en algunos estados de utilizar aditivos carburantes para el combustible que no generen contaminación. En Guatemala se producen alrededor de 109 millones de galones de miel de caña o melaza.

La calidad del azúcar en cuanto a su color afecta fuertemente el precio a consumidor así como el mercado al cual se dirige el producto. Las calidades de azúcar vendidas en Guatemala son azúcar refino, cristal o superior o estándar especial, estándar y morena. Las características de color de las calidades mencionadas, así como sus diferenciales en el precio, se indican a continuación:

Tabla I. Distribución de costos del azúcar, según su calidad

CALIDAD	COLOR EN UNIDADES ICUMSA	DIFERENCIAL DE PRECIO (Q)
Refino	0-60	16.58% +
Cristal o superior o estándar sspecial	61-200	10.10% +
Standard	200-350	8.68% +
Moreno	1000-2000	X

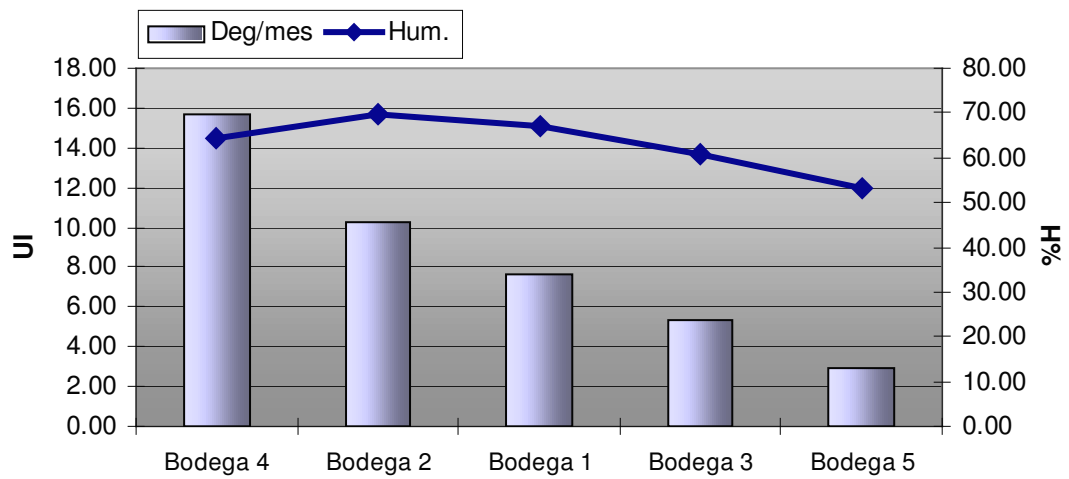
Fuente: Información proporcionada por la comercializadora.

Nota: El precio base para el cálculo de los porcentajes es X, que es el precio del azúcar moreno. Por discrecionalidad se presenta de esta manera.

Cabe notar que el porcentaje incremental en el precio es bastante interesante. Cualquier reclasificación del producto, por degradación de color, impacta fuertemente según el volumen a reclasificar.

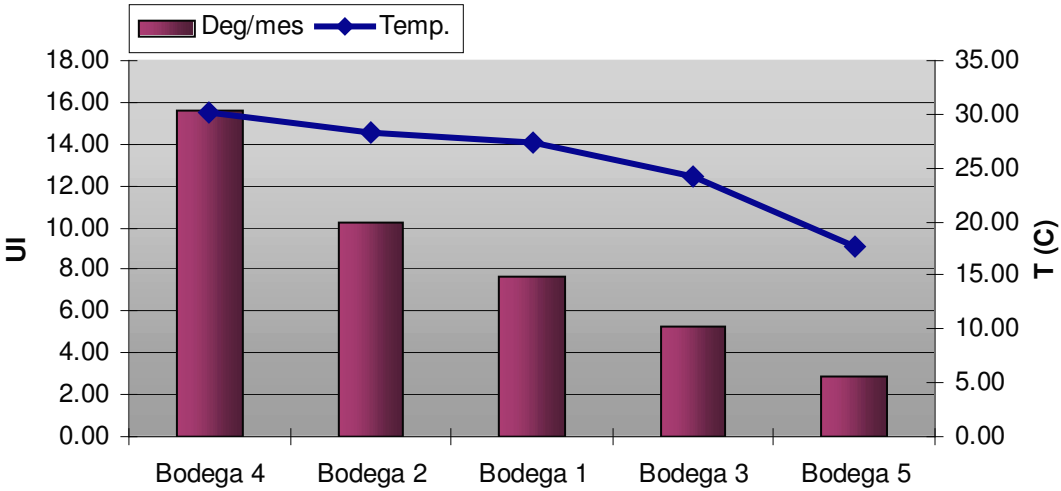
6. RESULTADOS

Figura 3. Promedio de degradación de color por mes versus el promedio de humedad relativa en las bodegas de almacenaje



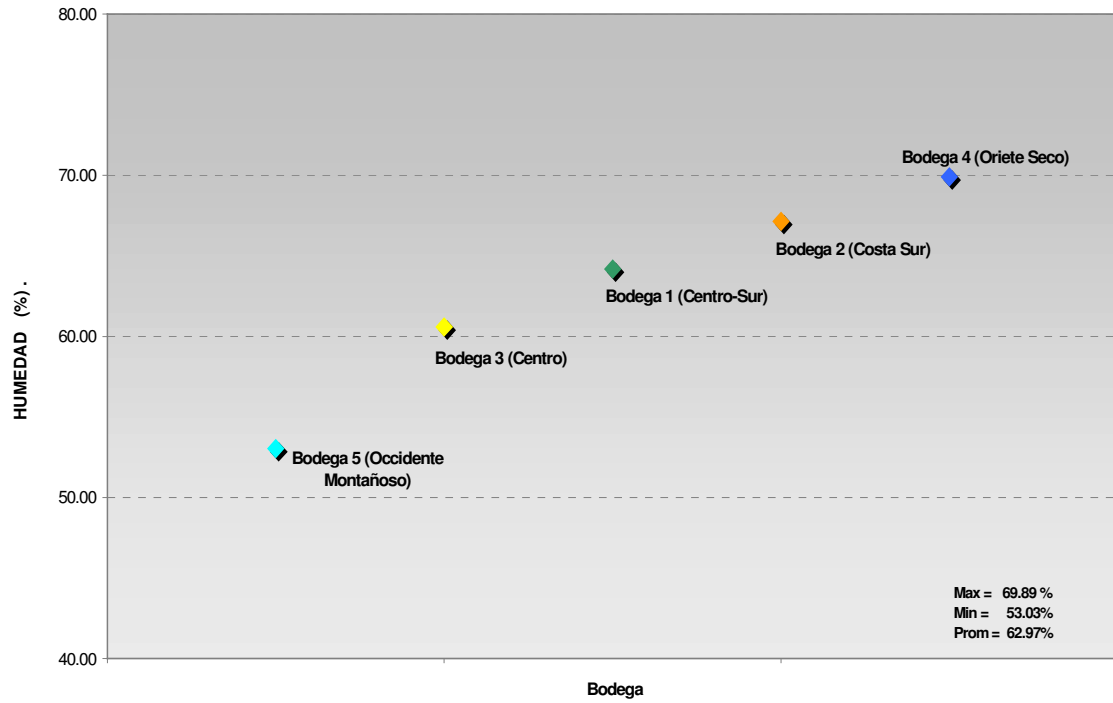
Fuente: Tabla V, Apéndice sección de datos calculados.

Figura 4. Promedio de degradación de color por mes versus el promedio de temperatura en las bodegas de almacenaje



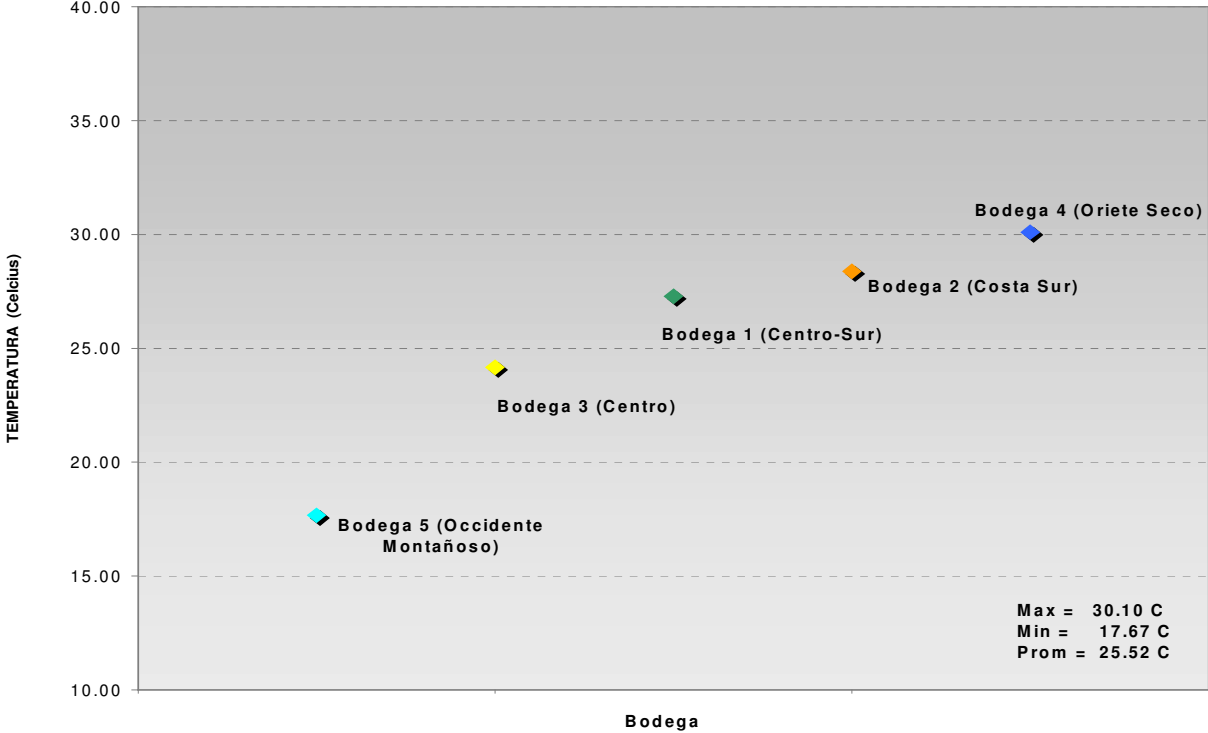
Fuente: Tabla IV, Apéndice sección de datos calculados.

Figura 5. Promedio de % humedades relativas en las bodegas de almacenaje



Fuente: Tabla III, Apéndice sección de datos originales.

Figura 6. Promedio de temperaturas en las bodegas de almacenaje



Fuente: Tabla II, Apéndice sección de datos originales.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se llegó a determinar la degradación de color promedio por bodega y posición geográfica, a partir de los datos originales obtenidos del análisis de color a través del tiempo. Se determinaron las temperaturas y porcentaje de humedad promedio en cada una de las bodegas, a partir de los datos originales.

Se procedió a graficar el promedio de degradación de color del azúcar por bodega en un plano XY, en el mismo plano se graficó el porcentaje de humedad promedio por bodega (figura 3). De este gráfico se deduce una clara relación (directa) entre el porcentaje de humedad promedio, debido a la posición geográfica de la bodega, con la degradación del color del azúcar.

La tendencia o comportamiento observado es que a mayor porcentaje de humedad mayor degradación de color. Esta condición se cumple en el 80% de los casos, el otro 20% corresponde a una bodega (bodega 4, oriente seco) en la que se presentan condiciones especiales.

Se procedió a graficar el promedio de degradación de color del azúcar por bodega en un plano XY, en el mismo plano se graficó el porcentaje la temperatura promedio por bodega (figura 4). De este gráfico se deduce una clara relación (directa) entre la temperatura promedio, debido a la posición geográfica de la bodega, con la degradación del color del azúcar.

La tendencia o comportamiento observado es que a mayor temperatura mayor degradación de color, cumpliéndose esta en el 100% de los casos.

Ambas condiciones climatológicas mantienen la misma tendencia, en el caso de la bodega 4 ubicada en oriente seco, persisten condiciones especiales, en donde el porcentaje de humedad no es extremo, pero la temperatura sí (30.10 grados Celsius promedio), debido a esta condición se atribuye que en un 93% de los casos, mostrados en los anexos (degradación de color promedio en azúcar de los distintos ingenios de Guatemala) y en las figuras 1 y 2 en los resultados, en esta bodega se observa el mayor gradiente de degradación de color.

La degradación máxima calculada fue de 40.33 UI por mes (figura 20) siendo esto un problema si el azúcar se almacena en estas condiciones, lo cual puede provocar reclasificaciones de azúcar.

CONCLUSIONES

1. Existe una relación directa entre la temperatura debido a la situación geográfica de la bodega y la degradación de color del azúcar, de tal manera que a mayor temperatura, mayor la degradación de color del azúcar.
2. Existe una relación directa entre el porcentaje de humedad debido a la situación geográfica de la bodega y la degradación de color, de tal manera que a mayor porcentaje de humedad mayor la degradación de color del azúcar.
3. Las variables climatológicas están directamente relacionadas con la posición geográfica de las bodegas.

RECOMENDACIONES

1. En las bodegas que se determinó una mayor degradación del color en el azúcar, debe estudiarse y analizarse la viabilidad de instalar un sistema de enfriamiento (refrigeración) para lograr disminuir la temperatura y el porcentaje de humedad.
2. Según la información recopilada (anexos) se verificó que el azúcar de algunos ingenios tiende a degradarse en color más lentamente que la de otros. Este aspecto debe ser tomado en cuenta para la logística de almacenaje, especialmente en las bodegas críticas.
3. Son importantes los aspectos como rotación de inventarios y buenas prácticas de almacenaje, para reducir el impacto de la temperatura y la humedad en la degradación del color.

BIBLIOGRAFÍA

1. Meade P., George . **Manual del azúcar de caña**. España: Editorial Aragón, 1967.
2. Perry, Robert y Don Green. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 6ª edición. Estados Unidos: Editorial Mc Graw Hill, 1996.
3. Rafael Junquera M. "**Documentos para la historia de industria azucarera**", Revista Azúcar. Suplemento No. 1 México, 1981.

APÉNDICE

Datos originales

Tabla II. Resultados de análisis de color por mes, de las muestras por ingenios en las bodegas analizadas

<i>Azúcar Ingenio No.1</i>									
MACRO / MES	Mar-02	May-02	Jun-02	Jul-02	Ago-02	Sep-02	Oct-02	DEG./TOT.	DEG./MES
Bodega 5	265	<u>257</u>	<u>252</u>	<u>259</u>	<u>248</u>	<u>243</u>	267	2	0.29
Bodega 3	265	270	<u>261</u>	276	<u>267</u>	<u>224</u>	284	19	2.71
Bodega 2	265	<u>261</u>	274	282	302	<u>293</u>	301	36	5.14
Bodega 1	265	<u>241</u>	270	<u>261</u>	292	284	310	45	6.43
Bodega 4	265	279	<u>276</u>	315	322	327	382	117	16.71
<i>Azúcar Ingenio No.2</i>									
Bodega 5	335	<u>330</u>	<u>331</u>	<u>331</u>	<u>322</u>	<u>311</u>	<u>335</u>	0	0.00
Bodega 3	335	<u>330</u>	<u>334</u>	<u>326</u>	<u>317</u>	<u>287</u>	347	12	1.71
Bodega 1	335	<u>309</u>	<u>336</u>	341	<u>339</u>	346	354	19	2.71
Bodega 2	335	<u>318</u>	351	<u>339</u>	361	<u>357</u>	365	30	4.29
Bodega 4	335	352	<u>349</u>	367	384	394	406	71	10.14
<i>Azúcar Ingenio No.3</i>									
Bodega 3	197	199	197	210	194	<u>240</u>	206	9	1.50
Bodega 5	197	<u>196</u>	<u>195</u>	198	215	215	<u>215</u>	18	3.00
Bodega 2	197	<u>292</u>	207	209	221	<u>213</u>	227	30	4.29
Bodega 1	197	199	203	<u>193</u>	205	234	234	37	5.29
Bodega 4	197	208	<u>206</u>	218	236	<u>328</u>	242	45	6.43
<i>Azúcar Ingenio No.4</i>									
Bodega 5	242	242	<u>231</u>	<u>241</u>	<u>234</u>	<u>217</u>	242	0	0.00
Bodega 3	242	245	<u>241</u>	<u>242</u>	<u>242</u>	248	258	16	2.29
Bodega 2	242	245	248	259	264	269	274	32	4.57
Bodega 1	242	<u>229</u>	251	<u>244</u>	<u>240</u>	281	281	39	5.57
Bodega 4	242	266	<u>262</u>	<u>251</u>	266	291	339	97	13.86
<i>Azúcar Ingenio No.5</i>									
Bodega 5	291	<u>286</u>	291	<u>287</u>	<u>288</u>	<u>286</u>	312	21	3.00
Bodega 3	291	297	301	<u>300</u>	<u>291</u>	<u>278</u>	315	24	3.43
Bodega 1	291	<u>290</u>	305	306	322	345	351	60	8.57
Bodega 2	291	<u>353</u>	317	320	339	<u>315</u>	<u>329</u>	48	9.60
Bodega 4	291	310	319	344	<u>335</u>	345	386	95	13.57
<i>Azúcar Ingenio No.6</i>									
Bodega 1	323	<u>290</u>	<u>263</u>	<u>305</u>	<u>302</u>	<u>319</u>	<u>319</u>	0	0.00
Bodega 5	323	<u>285</u>	<u>323</u>	<u>296</u>	<u>268</u>	<u>299</u>	<u>296</u>	0	0.00
Bodega 3	323	<u>332</u>	<u>304</u>	<u>308</u>	<u>295</u>	<u>216</u>	327	4	0.57
Bodega 2	323	<u>261</u>	<u>312</u>	328	<u>317</u>	<u>311</u>	330	7	1.00
Bodega 4	323	330	<u>284</u>	<u>316</u>	359	392	440	117	16.71
<i>Azúcar Ingenio No.7</i>									
Bodega 5	297	<u>287</u>	302	303	<u>286</u>	<u>252</u>	<u>276</u>	6	1.50
Bodega 3	297	<u>277</u>	<u>284</u>	306	<u>302</u>	<u>224</u>	344	47	6.71
Bodega 1	297	311	317	<u>306</u>	335	357	367	70	10.00
Bodega 2	297	330	330	352	367	<u>363</u>	396	99	14.14
Bodega 4	297	319	<u>460</u>	340	350	373	410	113	16.14

Continuación, tabla II

Azúcar Ingenio No.8									
Bodega 5	424	<u>275</u>	430	<u>416</u>	<u>420</u>	<u>418</u>	436	12	1.71
Bodega 3	424	<u>425</u>	433	443	<u>423</u>	<u>227</u>	470	46	6.57
Bodega 1	424	<u>407</u>	439	456	480	482	513	89	12.71
Bodega 2	424	468	486	505	523	560	535	111	15.86
Bodega 4	424	<u>421</u>	<u>315</u>	486	501	571	615	191	27.29
Azúcar Ingenio No.9									
Bodega 3	296	305	<u>297</u>	307	307	<u>252</u>	326	30	4.29
Bodega 5	296	300	300	319	<u>292</u>	<u>292</u>	<u>309</u>	23	5.75
Bodega 2	296	<u>390</u>	331	334	348	<u>336</u>	350	54	7.71
Bodega 1	296	305	309	309	330	333	363	67	9.57
Bodega 4	296	316	330	367	<u>351</u>	<u>361</u>	369	73	10.43
Azúcar Ingenio No.10									
Bodega 5	354	<u>352</u>	371	<u>356</u>	374	<u>355</u>	<u>372</u>	20	4.00
Bodega 3	354	372	<u>349</u>	403	<u>369</u>	<u>332</u>	421	67	9.57
Bodega 2	354	<u>350</u>	403	411	433	<u>429</u>	448	94	13.43
Bodega 1	354	359	367	382	408	425	478	124	17.71
Bodega 4	354	378	409	456	465	561	564	210	30.00
Azúcar Ingenio No.11									
Bodega 1	264	<u>260</u>	286	288	314	<u>306</u>	<u>303</u>	39	7.80
Bodega 3	264	<u>229</u>	276	289	289	<u>381</u>	319	55	7.86
Bodega 5	264	268	269	313	<u>259</u>	<u>253</u>	<u>256</u>	49	9.80
Bodega 2	264	276	289	306	334	336	<u>314</u>	72	12.00
Bodega 4	264	301	<u>292</u>	326	328	349	373	109	15.57
Azúcar Ingenio No.12									
Bodega 5	219	219	<u>217</u>	219	<u>212</u>	<u>218</u>	233	14	2.00
Bodega 3	219	<u>282</u>	233	235	<u>222</u>	237	244	25	3.57
Bodega 1	219	228	235	<u>231</u>	249	251	256	37	5.29
Bodega 2	219	233	252	258	272	271	273	54	7.71
Bodega 4	219	246	<u>234</u>	252	267	268	289	70	10.00
Azúcar Ingenio No.13									
Bodega 3	238	<u>252</u>	250	260	<u>251</u>	280	281	43	6.14
Bodega 5	238	238	242	251	<u>243</u>	283	<u>251</u>	45	7.50
Bodega 2	238	<u>231</u>	268	276	295	<u>288</u>	297	59	8.43
Bodega 1	238	241	253	253	266	292	301	63	9.00
Bodega 4	238	270	<u>269</u>	290	302	328	363	125	17.86
Azúcar Ingenio No.14									
Bodega 3		324	348	<u>336</u>	<u>328</u>	<u>255</u>	355	31	5.17
Bodega 1		321	344	344	351	391	404	83	13.83
Bodega 4		348	373	401	423	448	482	134	22.33
Bodega 2		202	374	398	419	417	444	242	40.33

Tabla III. Temperaturas promedio en las bodegas

		ABRIL	MAYO	JUNO	JULIO	AGOSTO	SETP.	PROMED	MAX.
Bodega 5 (Occidente Montañoso)	T.P. (°C)	17.25	17.50	17.00	17.67	18.17	18.40	17.67	18.40
Bodega 3 (Centro)	T.P. (°C)	24.90	24.80	23.70	22.80	24.60	24.20	24.17	24.90
Bodega 1 (Centro-Sur)	T.P. (°C)	28.50	28.00	27.50	27.70	25.00	27.00	27.28	28.50
Bodega 2 (Costa Sur)	T.P. (°C)	28.80	28.30	27.80	28.40	29.08	27.91	28.38	29.08
Bodega 4 (Oriente Seco)	T.P. (°C)	31.00	30.30	30.30	30.00	30.00	29.00	30.10	31.00

Tabla IV. Porcentaje de humedad relativa en las bodegas

		ABRIL	MAYO	JUNO	JULIO	AGOSTO	SETP.	PROMED	MAX.
Bodega 5 (Occidente Montañoso)	HR	49.58	59.67	50.30	46.90	52.25	59.50	53.03	59.67
Bodega 3 (Centro)	HR	55.33	61.00	65.20	64.30	57.40	60.30	60.59	65.20
Bodega 4 (Oriente Seco)	HR	65.00	60.10	63.20	61.50	65.30	70.00	64.18	70.00
Bodega 1 (Centro-Sur)	HR	45.75	59.50	75.00	75.80	69.83	77.00	67.15	77.00
Bodega 2 (Costa Sur)	HR	59.00	70.40	75.40	71.75	68.00	74.80	69.89	75.40

Datos calculados

Tabla V. Promedio de degradación de color por mes en las bodegas versus la temperatura promedio en las bodegas

	Deg/mes	Temp.
Bodega 4 (Oriente Seco)	15.65	30.10
Bodega 2 (Costa Sur)	10.21	28.38
Bodega 1 (Centro-Sur)	7.69	27.28
Bodega 3 (Centro)	5.29	24.17
Bodega 5 (Occidente Montañoso)	2.88	17.67

Fuente: Datos originales.

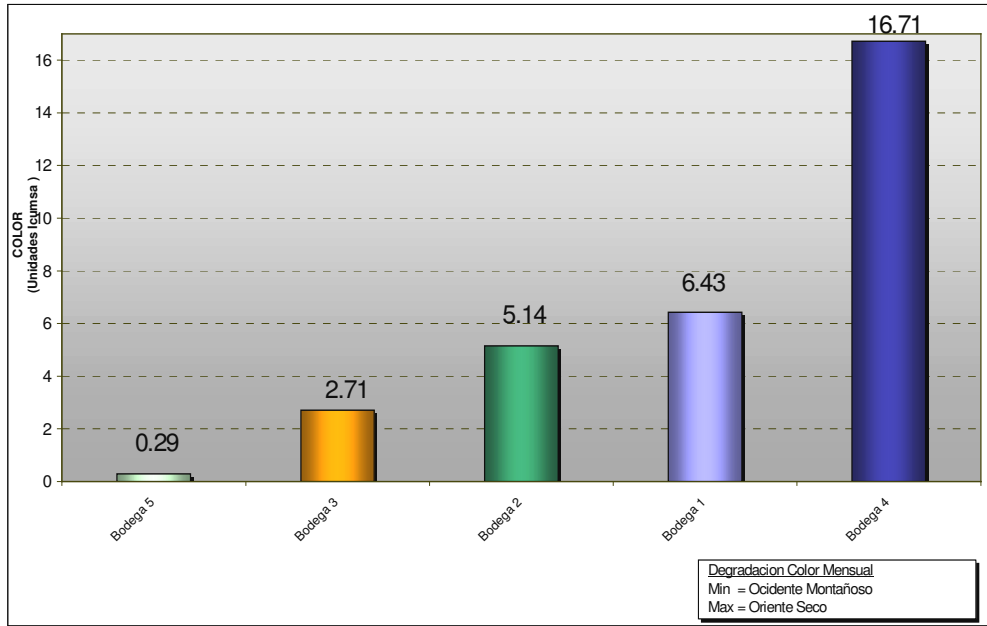
Tabla VI. Promedio de degradación de color por mes en las bodegas versus la humedad promedio en las bodegas

	Deg/mes	Hum.
Bodega 4 (Oriente Seco)	15.65	64.18
Bodega 2 (Costa Sur)	10.21	69.89
Bodega 1 (Centro-Sur)	7.69	67.15
Bodega 3 (Centro)	5.29	60.59
Bodega 5 (Occidente Montañoso)	2.88	53.03

Fuente: Datos originales.

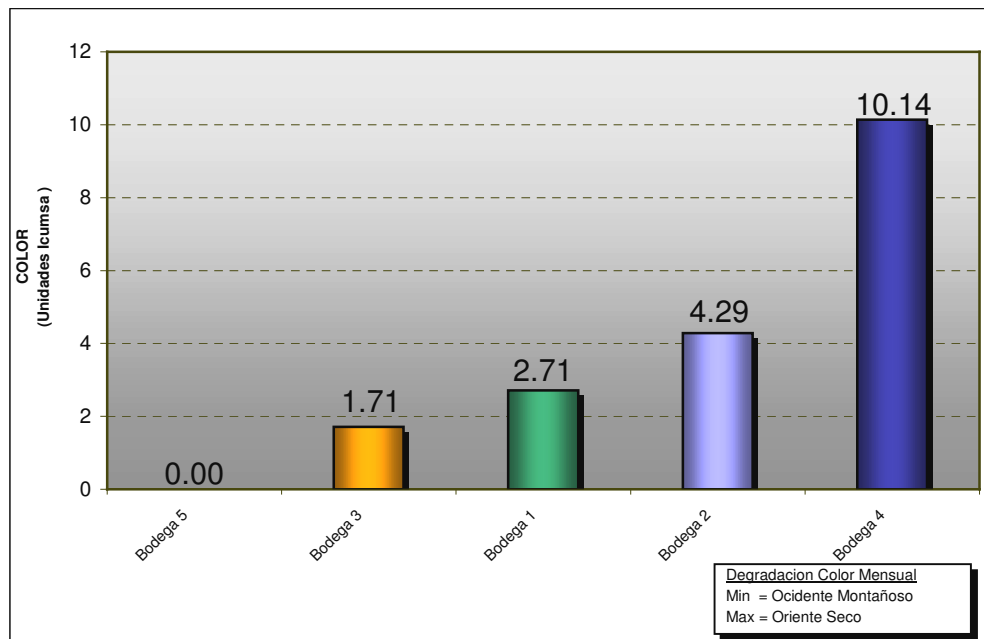
ANEXOS

Figura 7. Degradación promedio, azúcar ingenio 1



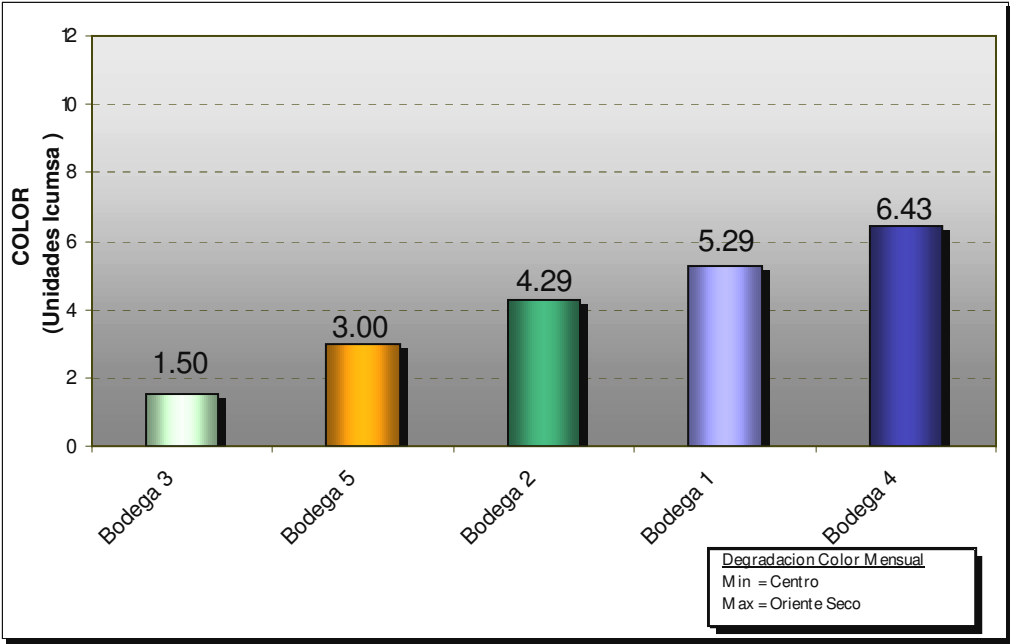
Fuente: Tabla II, datos originales.

Figura 8. Degradación promedio, azúcar ingenio 2



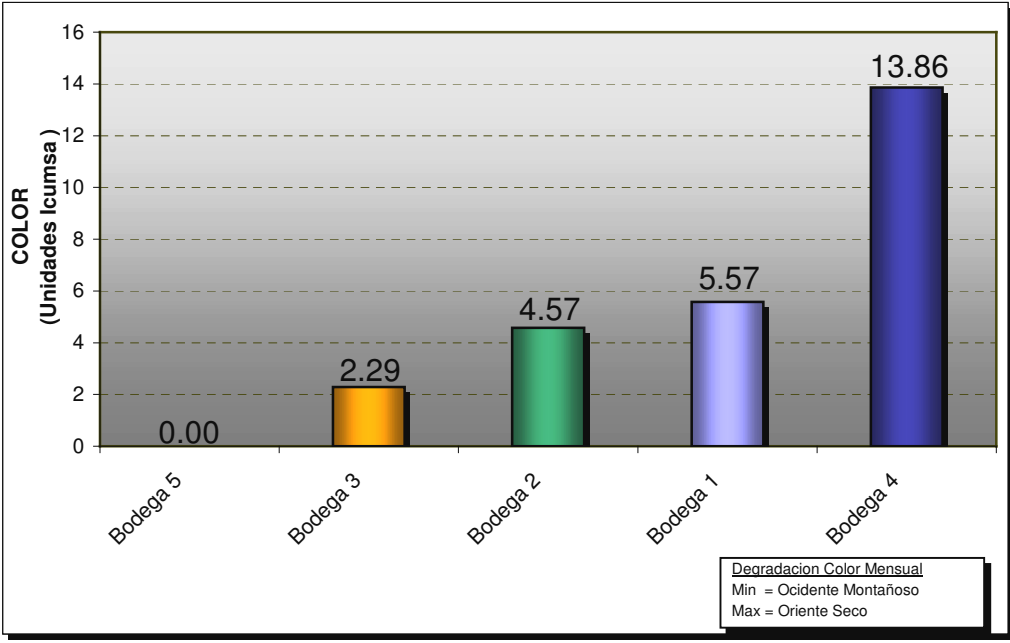
Fuente: Tabla II, datos originales.

Figura 9. Degradación promedio, azúcar ingenio 3



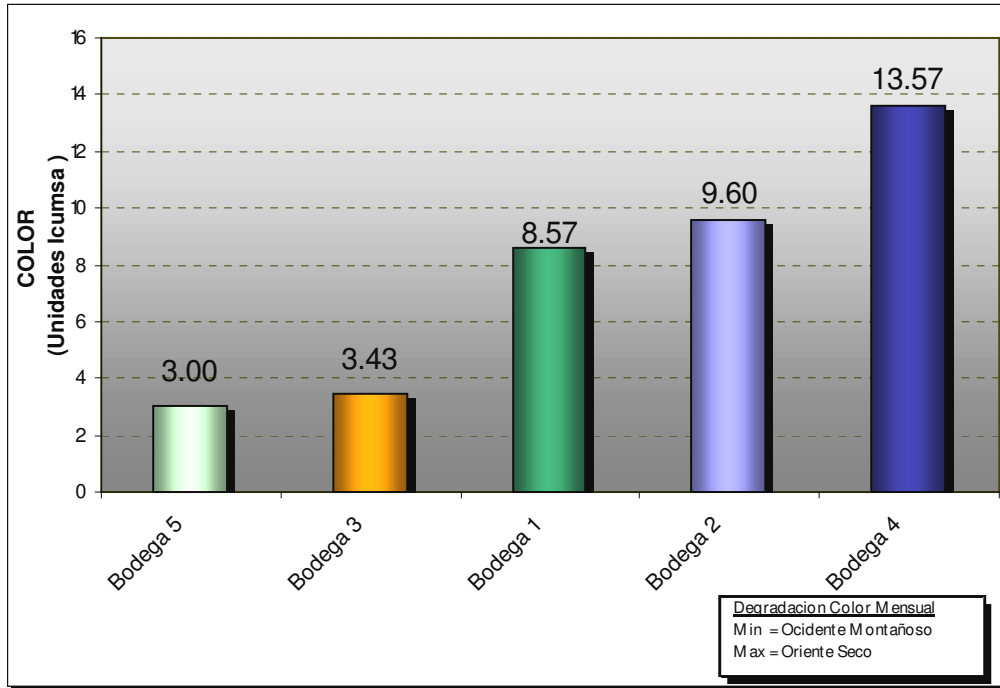
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 10. Degradación promedio, azúcar ingenio 4



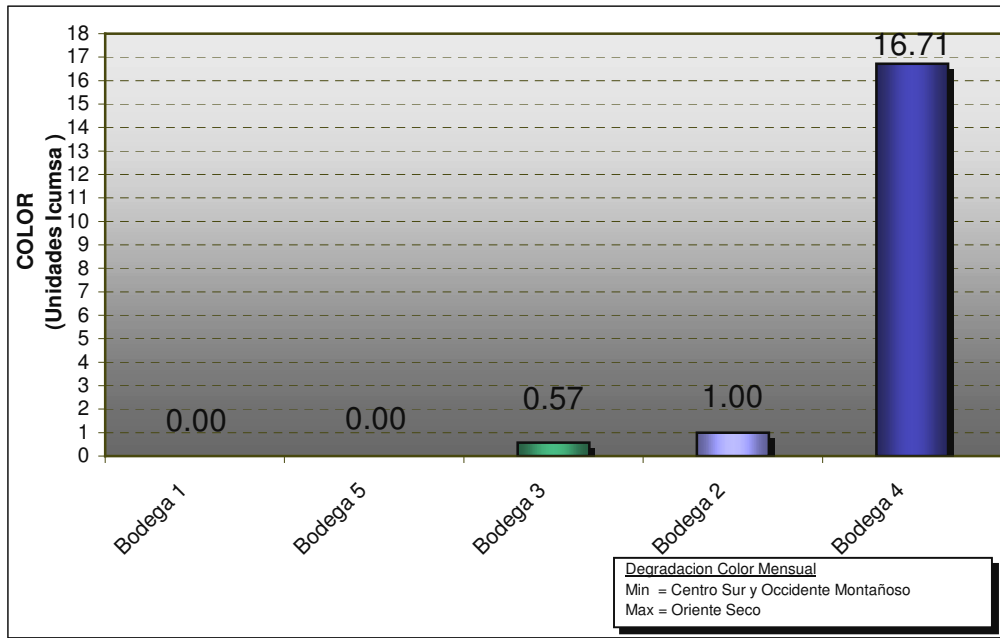
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 11. Degradación promedio, azúcar ingenio 5



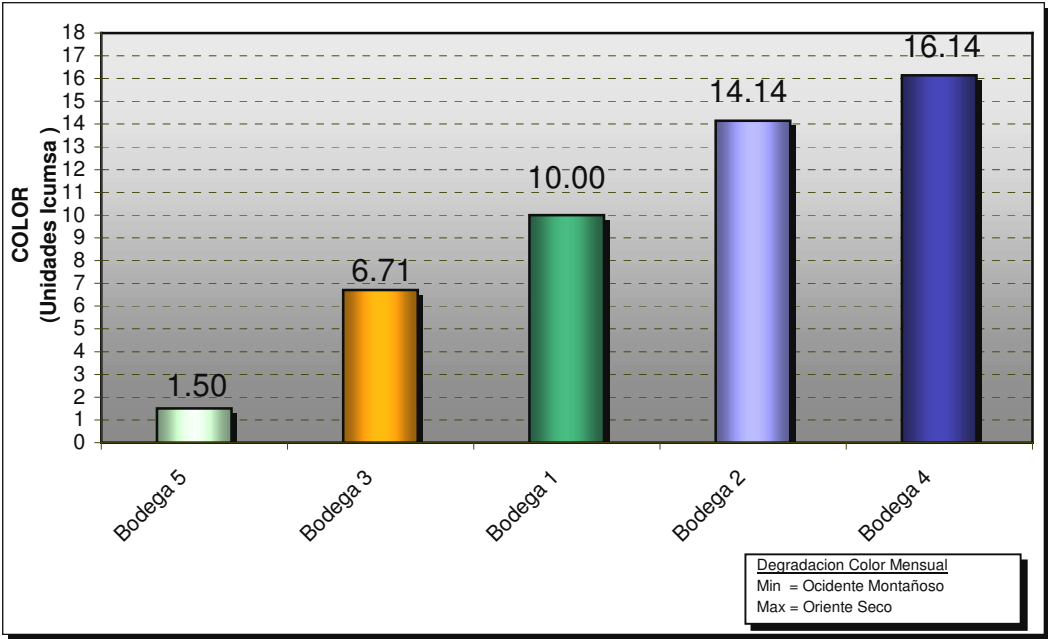
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 12. Degradación promedio, azúcar ingenio 6



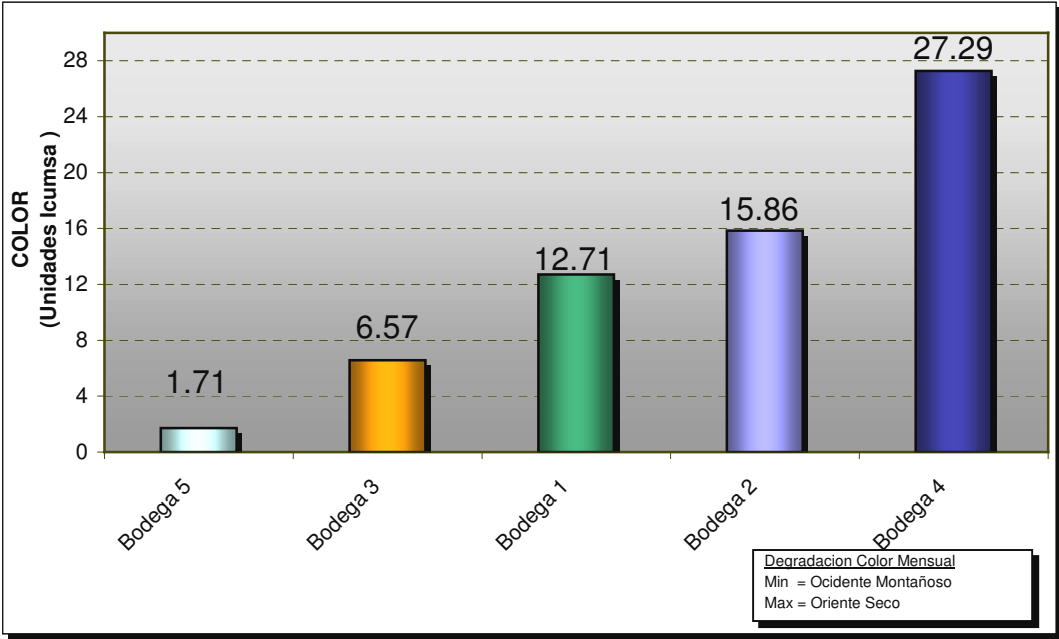
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 13. Degradación promedio, azúcar ingenio 7



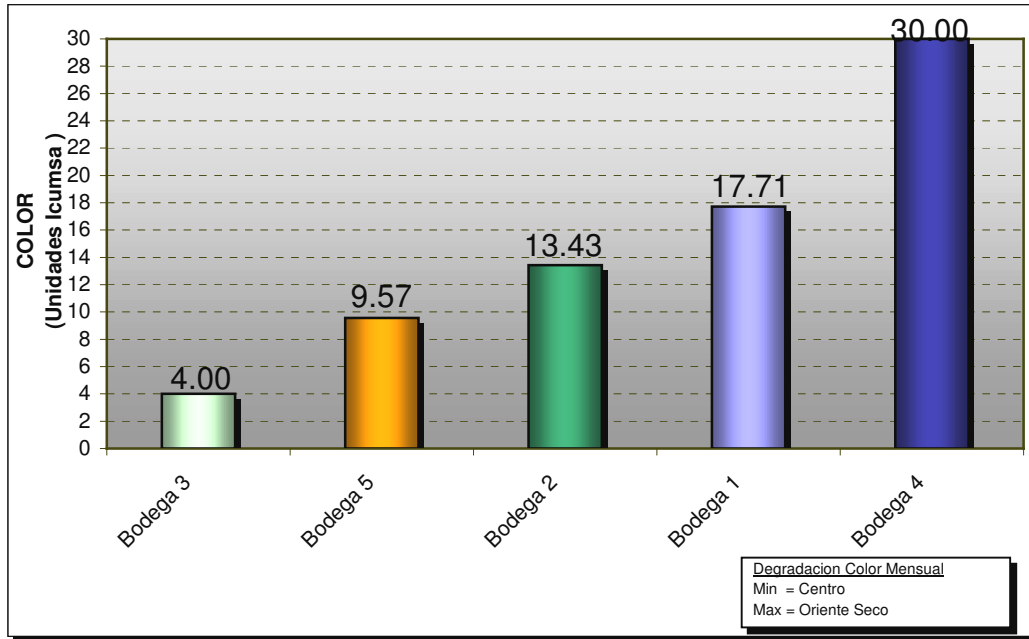
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 14. Degradación promedio, azúcar ingenio 8



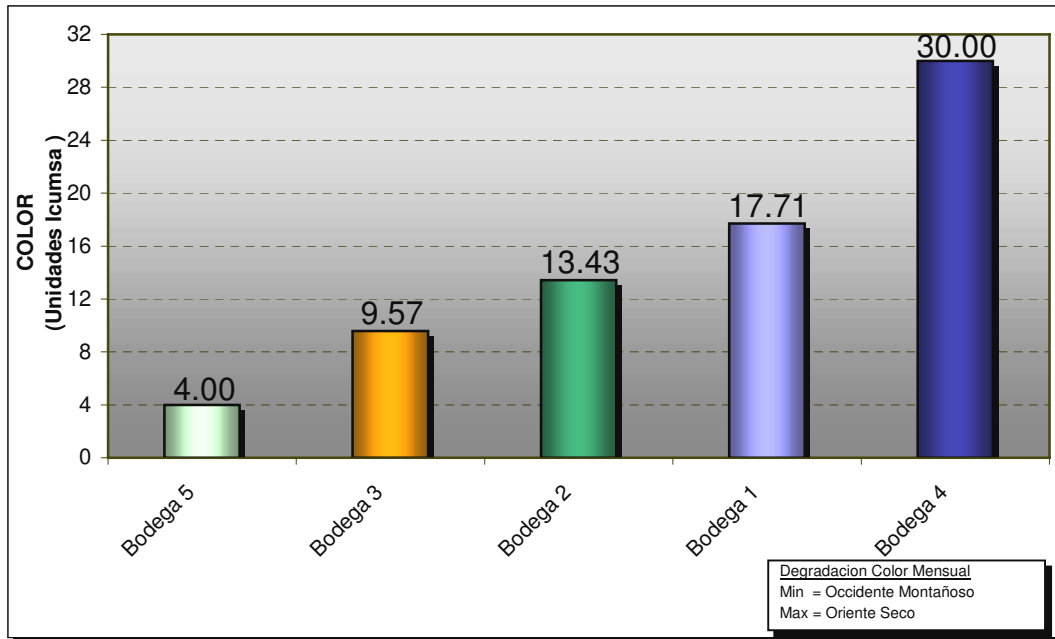
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 15. Degradación promedio, azúcar ingenio 9



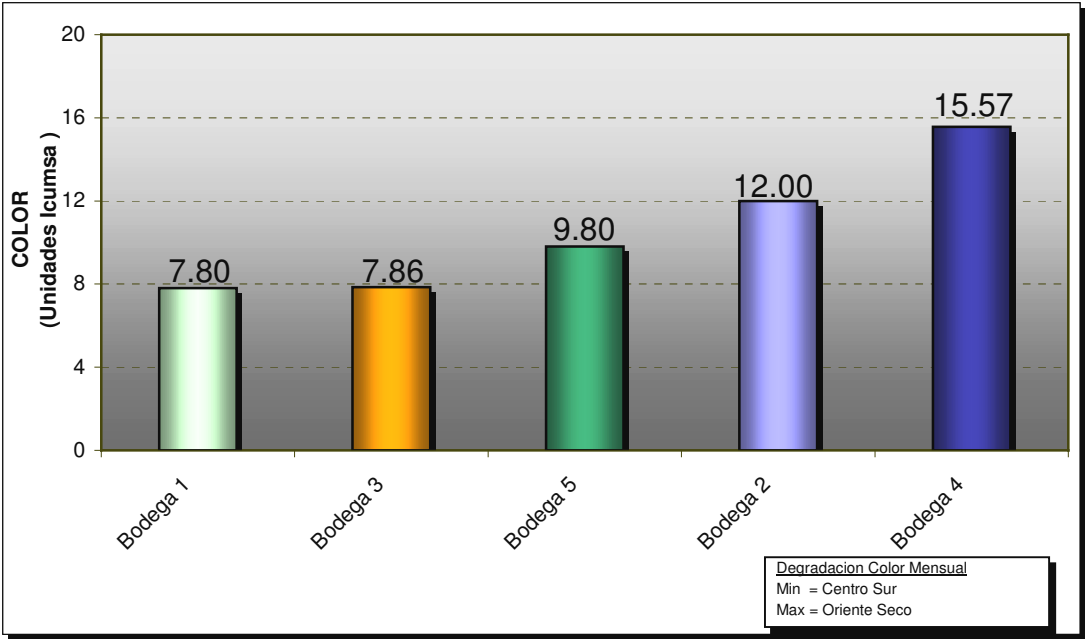
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 16. Degradación promedio, azúcar ingenio 10



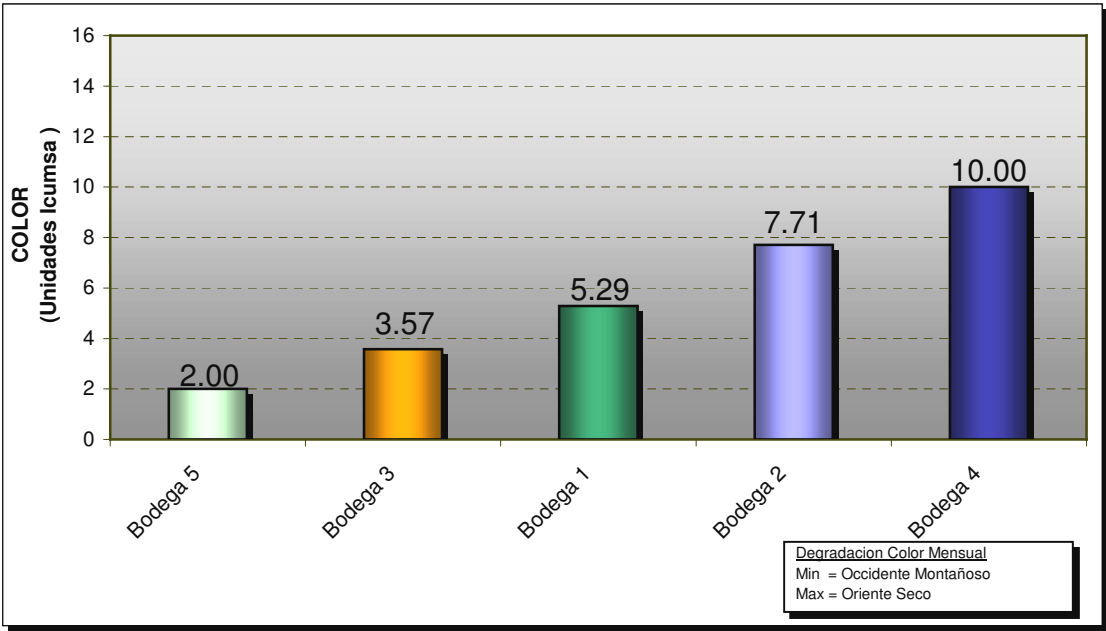
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 17. Degradación promedio, azúcar ingenio 11



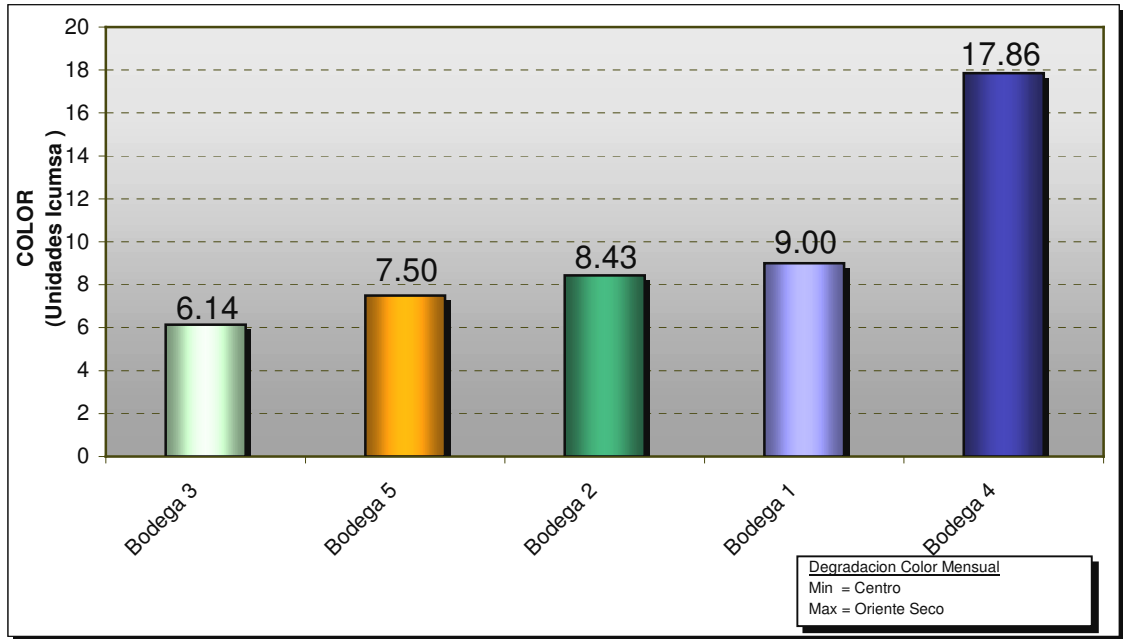
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 18. Degradación promedio, azúcar ingenio 12



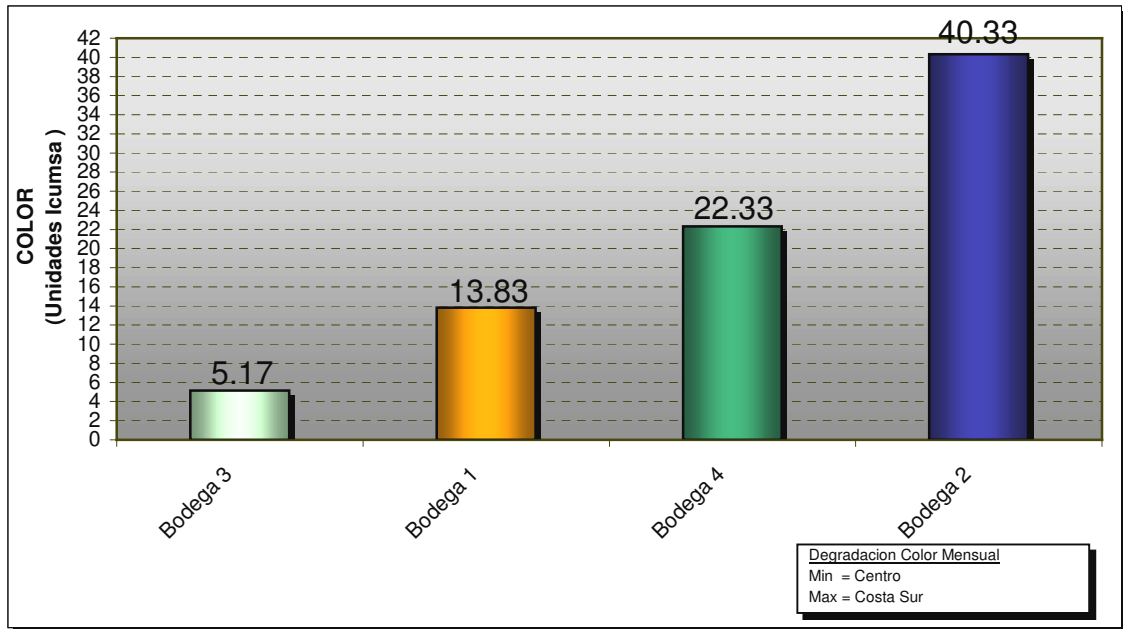
Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 19. Degradación promedio, azúcar ingenio 13



Fuente: Tabla II datos, originales.

Figura 20. Degradación promedio, azúcar ingenio 14



Fuente: Tabla II datos, originales.