



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

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS NUEVOS PROCESOS
DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO Y CRUDO A LA VEZ
EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO.**

Jorge Romeo Peñalongo de León

Asesorado por Ing. Mynor Rolando Estrada García

Guatemala, enero de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS NUEVOS PROCESOS
DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO Y CRUDO A LA VEZ
EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE ROMEO PEÑALONZO DE LEÓN

ASESORADO POR: ING. MYNOR ROLANDO ESTRADA GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ENERO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. Mario Junio Girón Palacios
EXAMINADOR	Ing. Mario René Santizo Calderón
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
SECRETARIO	Ing. Efraín Estuardo Boburg Castellanos

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:

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:

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE DOS NUEVOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR BLANCO Y CRUDO A LA VEZ EN UN INGENIO AZUCARERO GUATEMALTECO.

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Carrera de Ingeniería Química, con fecha 02 de octubre del 2003.

JORGE ROMEO PEÑALONZO DE LEÓN

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS** Fuente de toda sabiduría
- A MIS PADRES** Francisco Peñalongo Santiago (Q.E.P.D.)
Marina L. De León vda. de Peñalongo
Una pequeña recompensa a su ayuda.
- A MI SUEGRA** Aurolia Alvarado vda. de Somoza
Por sus consejos en todo momento.
- A MI ESPOSA** Magali Somoza de Peñalongo
Por todo su amor y paciencia.
- A MIS HIJOS** Jorge Francisco, José Andrés y Magali
María.
Con todo amor
- A MIS HERMANOS** Leonel, César, María, Maribel, Lucky,
Anabella, Esperanza (Q.E.P.D) y Francisco
(Q.E.P.D.)
Por su apoyo y consejos en todo momento.
- A MIS CUÑADOS** José G., Alby, Manolo, Rudy, Yolanda,
Aurolia, Gilma, Janette, Laura, Shený,
Bartolo, Chito, Boris.
Con cariño
- Al Dr. Adonías López (Q.E.P.D)
Recuerdos inolvidables de los momentos
que pasamos juntos
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**
- A MIS AMIGOS DE INGENIO LA UNIÓN**
- AL CENTRO UNIVERSITARIO “CIUDAD VIEJA”**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XII
OBJETIVOS	XIV
HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
1. ANTECEDENTES	1
2. GENERALIDADES	5
2.1 El color	5
2.2 Características de la sacarosa	7
2.3 Variedades de caña	11
3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR	14
3.1 Preparación de la caña	14
3.2 Clarificación del jugo	16
3.3 Evaporación	18
3.4 Cristalización	19
3.5 Centrifugación o purga	21

4.	MODIFICACIONES AL PROCESO, PARA PRODUCIR AZÚCAR BLANCO DE ALTA CALIDAD	23
5.	HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	27
5.1	Histogramas	27
5.2	Diagramas de dispersión	28
5.3	Gráfica de caja y extensión	28
5.4	Media aritmética	29
5.5	Mediana	30
5.6	Moda	31
5.7	Medidas de dispersión	31
5.8	Varianza	31
5.9	Desviación estándar	32
5.10	Hipótesis estadística	32
5.10.1	Comparación de la varianza de dos poblaciones	33
5.11	Prueba de la tasa de varianza	34
6.	METODOLOGÍA	36
6.1	Unidad experimental	36
6.2	Muestras	36
6.3	Equipo	36
6.4	Reactivos	37
6.5	Procedimientos para cada muestra	37
6.6	Resultado	38
6.6.1	Fórmula	38

7. RESULTADOS	39
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53
APÉNDICE	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Estructura molecular del azúcar	7
2	Diagrama de flujo del proceso de transformación del azúcar usando una línea de extracción	25
3	Diagrama de flujo del proceso de transformación del azúcar usando doble línea de extracción	26
4	Diagrama de dispersión color de azúcar estándar zafra 2000-2001	42
5	Diagrama de dispersión color de azúcar estándar zafra 2002-2003	43
6	Histograma de frecuencia y su curva normal zafra 2000-2001	44
7	Diagrama de caja y extensión color de azúcar estándar, zafra 2000-2001	45
8	Histograma de frecuencias y su curva normal zafra 2002-2003	46
9	Diagrama de caja y extensión color de azúcar zafra 2002-2003	47

TABLAS

I	Extracción de los no azúcares inorgánicos en la molienda	10
II	Censo de variedades zafra 2002-2003	13
III	Color de azúcar estándar zafra 2000-2001	39
IV	Color de azúcar estándar zafra 2002-2003	40
V	Comparación estadística del color de azúcar estándar zafra 2000-2001 y 2002-2003	41
VI	Datos calculados zafra 2000-2001	56
VII	Datos calculados zafra 2002-2003	57

LISTA DE SÍMBOLOS

°Bx	Símbolo de grados brix. Es igual al porcentaje de sólidos disueltos en una solución.
°Be	Símbolo de grados baumé. Medida de densidad de una solución definida con la fórmula siguiente: $145 - 145/g.e.$ a 20°C.
°C	Símbolo de grados centígrados, escala termométrica dividida en cien grados.
°F	Símbolo de grados fahrenheit, escala de medición de temperatura.
L	Símbolo de litro, medida de volumen equivalente a 1000 cc.
gal	Abreviatura de galón, medida de volumen equivalente a 3785 centímetros cúbicos.
g.e.	Abreviatura de gravedad específica. La razón del peso de cualquier cantidad de material al peso de un volumen igual de agua a una temperatura estipulada.
gpm	Abreviatura de galones por minuto. Medida de capacidad de desplazamiento de líquido.

ha	Abreviatura de hectárea equivalente a diez mil metros cuadrados.
lpm	Abreviatura de litros por minuto. Medida de capacidad de desplazamiento de líquido.
lb	Símbolo de libra inglesa. Medida de masa equivalente a 0.454 kilogramos.
nm	Símbolo de nanómetro. Unidad de medida equivalente a 10^{-9} m.
pH	Símbolo de potencial de hidrógeno. Medida de la acidez o alcalinidad de una solución, que se define como el inverso del logaritmo de la concentración de iones hidrógeno = $1/\log [H^+]$
psig	Abreviatura de libras por pulgada cuadrada, medida de presión de manómetro.
tc	Abreviatura de tonelada de caña. Medida de masa equivalente a 2000 libras de caña.
μ m	Símbolo de micrones. Unidad de medida equivalente a 10^{-6} m

GLOSARIO

Acidez	Medida de la concentración de ácidos en el jugo efectuada para disponer de un índice de descomposición y del consumo de cal para neutralizar.
Alcalización	Proceso que consiste en agregar cierta cantidad de cal al jugo de caña con el objeto de eliminar ciertas impurezas contenidas en él.
Bagazo	Es el producto de sólidos fibrosos resultante de la extracción de la sacarosa, constituido principalmente por celulosa.
Bagacillo	Bagazo fino de fibra corta que se separa del bagazo en la salida de los molinos.
Cachaza	Material de consistencia sólida que se extrae en la defecación.
Clarificación	Proceso para eliminar o reducir la materia que da color a una sustancia.
Color	Medida de la disminución de la intensidad de un haz de luz que atraviesa una solución.

COMETRO	Siglas de Comercializadora Metropolitana. Empresa encargada de comercializar en Guatemala el azúcar producida por la Asociación de Azucareros de Guatemala (AZASGUA).
Floculante	Son polímeros sintéticos basados en la repetición de unidades de ácido acrílico y sus derivados. Se utiliza en el proceso de clarificación de jugo como ayuda para eliminar sustancias extrañas que afectan el color.
Grado Brix	Escala arbitraria correspondiente al porcentaje de sólidos disueltos en una solución.
ICUMSA	Siglas de Comisión Internacional para la Uniformidad de los Análisis de Azúcar (<i>International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis</i>)
ISO 9000	Conjunto de normas técnicas validadas en el ámbito mundial por la organización internacional de normalización (ISO), en las cuales se establecen los lineamientos para implantar y evaluar sistemas de aseguramiento de calidad.
Jugo alcalizado	Es el producto intermedio del proceso de defecación que está constituido por el jugo mezclado, el cual se le agregó cal.
Jugo filtrado	Jugo extraído por los filtros rotativos, constituido por el agua de lavado y el jugo extraído a la torta de cachaza.

Jugo mezclado	Es el jugo extraído proveniente de la maceración del segundo y los restantes molinos de caña y se utiliza en el proceso de fabricación de azúcar cruda.
Jugo primario	Es el jugo extraído en el primer molino de caña y se utiliza en el proceso de fabricación de azúcar estándar.
Meladura	Producto formado por la evaporación, de aproximadamente dos terceras partes del agua que contiene el jugo de caña, en los evaporadores. También se le conoce como licor.
Pol	Porcentaje en peso de sacarosa disuelta medido por medio de la actividad óptica de la solución, el pol coincide con el porcentaje real de sacarosa sólo cuando la solución está formada por agua y sacarosa pura únicamente.
Tacho	Equipo de transferencia de calor orientado a la cristalización de soluciones azucaradas y al posterior desarrollo de granos formados.
Templa	Lote uniforme e instantáneo de la producción del sistema de tachos. Es generalmente la unidad mínima de control químico.
Zafra	Tiempo que dura la molienda de caña de azúcar y por ende la fabricación de azúcar de caña.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación es un estudio comparativo del comportamiento del color del azúcar estándar como producto final, de las zafra correspondientes a los años 2000–2001 y 2002–2003, en el ingenio La Unión, S.A., ubicado en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. En el período 2002-2003 se realizó la separación de la línea de jugo para obtener azúcar de dos calidades al mismo tiempo: azúcar estándar y azúcar cruda.

Se tomó la zafra 2000–2001 como parámetro de comparación, ya que a partir de esa fecha se hicieron cambios relevantes en el ingenio, para producir azúcar de alta calidad y así competir en el mercado interno, administrando de una mejor forma lo que tradicionalmente se venía haciendo.

Se usaron 68 muestras correspondientes a los promedios diarios del azúcar producida en la zafra 2000–2001, y se determina el color por medio del método GS1-7 ICUMSA. Luego se relacionan dichas corridas con las 68 muestras obtenidas en la zafra 2002-2003 y se determinó nuevamente el color por el mismo método.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente para demostrar que los cambios realizados mejoran cualitativa y cuantitativamente los parámetros referenciales y obligatorios que gobiernan el mercado nacional, aceptando o rechazando la hipótesis propuesta.

La modificación comprende la base técnica para satisfacer al cliente, que cada vez requiere mayor atención, ya que si el proceso permanece inestable, difícilmente permanecerá en el mercado la producción de azúcar en el ingenio, creando la necesidad de competencia a nivel nacional e internacional junto a la búsqueda de mejores ofertas para comercializar el azúcar.

La apariencia física, pero documentalmente comprobada, de esa apariencia, sigue siendo la norma de aceptación y como opción rápida está el color, que en definitiva es el parámetro que el cliente determina para decidir el producto que está comprando.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

COMPARAR LA EFICACIA DEL NUEVO PROCESO EN EL INGENIO LA UNIÓN, PRODUCIENDO DOS TIPOS DE AZÚCAR, BAJO LOS PARÁMETROS DE CALIDAD SEGÚN LOS RESULTADOS DE COLOR ICUMSA DEL GRANULADO PRODUCIDO.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- DETERMINAR EN CUÁL PROCESO SE LOGRA MAYOR EFICIENCIA Y CON QUÉ OPERACIÓN DESCENDE EL VALOR DEL COLOR EN UNIDADES ICUMSA.
- DETERMINAR LA REDUCCIÓN DE COLOR EN LOS DOS PROCESOS DE FABRICACIÓN, SEGÚN EL MÉTODO GS1-7 ICUMSA, Y CUÁL ES EL MEJOR EN EL PRODUCTO FINAL.
- APLICAR LA PRUEBA DE LA DIFERENCIA DE VARIANZAS, DISTRIBUCIÓN "F", A DOS POBLACIONES LIBRES DE DISTRIBUCIÓN, PARA DEMOSTRAR QUE LA VARIANZA DE DICHAS POBLACIONES SON DIFERENTES.

HIPÓTESIS

LA MEDICIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA MODIFICACIÓN DEL PROCESO TRADICIONAL PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCAR BLANCO EN UN INGENIO GUATEMALTECO, ES POSIBLE CUANTIFICARLO MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTADÍSTICO, PARA MEJORAR PARÁMETROS DE COLOR.

INTRODUCCIÓN

El azúcar que se produce en Guatemala para consumo local posee una calidad aceptable en el mercado nacional. Sin embargo, es necesario garantizar que toda el azúcar guatemalteca cumpla con los requerimientos mínimos establecidos para clientes industriales y comerciales cuyas expectativas de calidad son más exigentes cada año.

El azúcar de Guatemala es producida por 17 ingenios que utilizan la caña como materia prima. De la producción total del país, 25% se dirige al mercado local y el 75% se destina para la exportación.

Durante años el ingenio azucarero La Unión, ubicado en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, ha elaborado azúcar de dos tipos: azúcar cruda y azúcar estándar bajo un mismo proceso, utilizando el jugo mezclado proveniente de los molinos, produciendo azúcar de la calidad exigida en el mercado nacional. Sin embargo, el rápido crecimiento de esta industria, requiere de modificaciones en las instalaciones para producir azúcar de mayor calidad, que cumpla e incluso supere las normas nacionales e internacionales establecidas.

Varios consumidores de embotelladoras y de productos alimenticios, indican falta de cumplimiento de estándares en la calidad del azúcar estándar producida, por lo que se han hecho necesarias diversas modificaciones para la producción de azúcar estándar especial.

Con la tecnología actual, se modificó la línea de jugo de la caña, para obtener jugo más rico, con parámetros lo suficientemente aptos para obtener colores que oscilen entre 120 a 170 (método ICUMSA), y polarización de 99.70 promedio.

1. ANTECEDENTES

La palabra azúcar se deriva del vocablo sánscrito, *sárkara*. El origen de la caña de azúcar aún es materia de investigación. Se considera que puede ser originaria del archipiélago de Melanesia en Nueva Guinea, aproximadamente 1500 A.C., habiéndose difundido hacia las islas vecinas, China e India. Posteriormente se diseminó hacia otros países, hasta llegar a las Islas Canarias. A América la trajo Cristóbal Colón en su segundo viaje en el año 1493. Se sembró en la isla “La Española”, actualmente República Dominicana, de donde se difundió al resto de América. En el año de 1500 los portugueses la llevaron a Brasil.

Pertenece a la familia de las gramíneas y al género *saccharum*. Se considera que existen seis especies, dos silvestres y cuatro domesticadas. Entre las domesticadas está la especie *saccharum officinarum* que está incluida entre los programas de mejoramiento de variedades. Se supone que fue domesticada a partir de la *saccharum robustum*. La caña de azúcar por su morfología y fisiología, almacena energía por períodos largos por lo que es considerada como uno de los cultivos más eficientes en el aprovechamiento de la energía solar (fotosíntesis).

El aprovechamiento de esta energía llevó a los griegos y romanos a experimentar y cristalizar por primera vez el jugo de la caña. Es en Persia donde se logró producir en forma de cristales de azúcar y fueron los árabes los que establecieron el arte de la refinación de azúcar, pero a pesar de eso, en el

año 1600 se decía que la producción de azúcar en América tropical era la industria mayor del mundo.

Conforme transcurrió el tiempo fue necesario implementar nuevos sistemas y métodos para la fabricación de azúcar, convirtiéndose en un proceso continuo y complejo, para mejorar la extracción y la calidad del grano.

La cantidad y naturaleza de la materia colorante en un azúcar reviste gran importancia. El color de azúcar hoy en día es una de las características de mayor relevancia para determinar su calidad.

El origen del color de azúcar se atribuye típicamente al oscurecimiento enzimático y al oscurecimiento no enzimático. El primero es una relación oxidativa de los compuestos polifenólicos, que hacen las veces de enzimas como catalizadores, entre ellos se puede citar el tipo de suelo que suministra la caña, la variedad y la madurez de la caña. También influye la cantidad de hojas y cogollos entregada al ingenio y la generación de dextranas. El oscurecimiento de tipo no enzimático incluye reacciones entre aminoácidos y azúcares reductores que forman la melanoidina. También influyen las reacciones de degradación y condensación térmicas que forman caramelos y las reacciones alcalinas de degradación y condensación de azúcares.

El concepto analítico de color de azúcar está referido a sustancias que absorben cierta cantidad de energía, cuando la luz a una longitud de onda de 420 nm, atraviesa soluciones filtradas a través de membranas con poro de 45 μm y ajustadas a pH 7. La absorción de energía en esta longitud de onda la ocasionan distintos grupos funcionales, entre ellos, el grupo funcional de tipo fenólico y sustancias inorgánicas como hierro III.

Entre los factores industriales que influyen en el deterioro del color están la generación de dextranas, la clarificación (exceso de sales de calcio y bagacillo), sobrecalentamiento y caramelización del jugo y el lavado en centrífugas.

Chen (1991.786) ha demostrado que es importante contar con un nivel bajo inicial de color ya que a través del tiempo, la curva de ganancia de color tiene una pendiente menor, que la que se obtienen con azúcares con alto nivel inicial de color.

Es de hacer notar que el incremento de color en el azúcar que se almacena es inevitable. El color no sólo aumenta en el color de la película de miel que rodea al cristal, sino también en el color interno de los cristales.

Revisando la bibliografía relacionada con el tema se encuentra la tesis de graduación del ingeniero químico Erick Javier Maldonado Velásquez, escrita en 1996, y titulada “Mejoramiento del color del azúcar por medio de la clarificación de Meladura” en la que obtuvo datos del granulado utilizando el método de aeración para mejorar el color del azúcar, pero sin llegar a separar la línea de jugo en la primera extracción. En este trabajo explica el ingeniero Maldonado que el color de la meladura y el color del azúcar guardan un comportamiento directamente proporcional.

Así mismo el ingeniero José Fernando Cano en el Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), celebrado del 26 al 30 de agosto del año 2002, presentó el artículo “Analizando la capacidad del proceso: color, peso y vitamina en el azúcar blanco estándar de ingenio La Unión S.A., Guatemala”. En él explica la técnica de análisis de capacidad del proceso para mejorar tres

variables de interés: color, peso y vitamina A en el azúcar blanco estándar y así utilizar el correcto criterio de análisis estadístico y las soluciones ingenieriles de los problemas identificados con cada una de las variables. Explica el ingeniero José Cano que la solución ingenieril para mejorar la calidad del producto es controlar mejor el proceso en la siguiente zafra y reducir la variación con un cambio de tecnología, en este caso la doble línea, que es el motivo de este trabajo.

2. GENERALIDADES

2.1 El color

El color ha sido utilizado por el ser humano como sinónimo de pureza y limpieza libre de contaminación. Sin embargo, durante el desarrollo de la industria azucarera, se ha ido conceptualizando de mejor forma el color en el azúcar, llegando a condicionar la aceptación o rechazo del producto de acuerdo al nivel de color visual utilizado para la obtención del margen colorimétrico.

El color del azúcar varía desde una apariencia café oscura hasta el incoloro. La intensidad del color como medida de transmitancia o absorbancia de la luz se hace por medio de un patrón óptico que está afectado por varios factores especialmente por la longitud de onda del rayo de luz, la concentración de la solución azucarada y del instrumento utilizado en el laboratorio. El pH de la solución también es un factor que afecta el valor obtenido.

El ojo humano tiene gran sensibilidad a la longitud de onda del verde y el amarillo, el color, por lo tanto, en una solución azucarada, se sitúa en el rango de los 400 a 600 nm.

El azúcar llamado de consumo directo o estándar es el que se elabora directamente a partir del jugo de caña concentrado. Para producir azúcar estándar o azúcar cruda es necesario recurrir a procesos más complejos que la

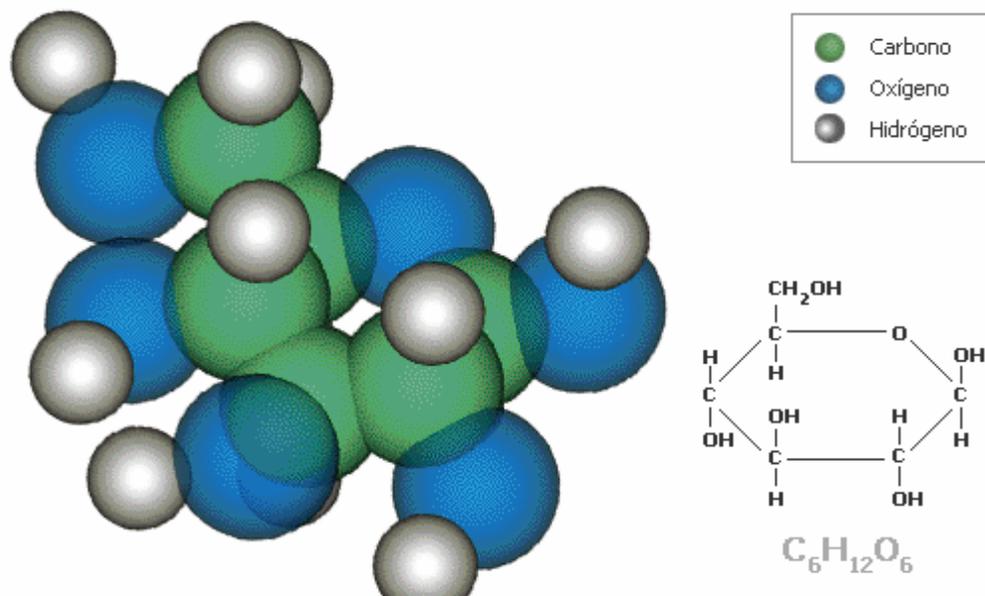
simple defecación. Los procesos que utilizan SO_2 o CO_2 junto con la cal (sulfatación y carbonatación, respectivamente) son los métodos más antiguos y de hecho, los únicos de uso general.

Es difícil producir en el ingenio un azúcar de calidad uniforme debido a la variación en la pureza de la materia prima. Por lo tanto, 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 azúcares producidos por el proceso de carbonatación tienen una calidad más uniforme que los producidos por sulfatación, pero el costo es mucho mayor y los consumidores no están dispuestos a pagarlo.

Los procesos de extracción y refinación, no hacen más que separar las sustancias no sacarinas del azúcar, las cuales están presentes en la planta. El azúcar refinada es una de las sustancias más puras que se conocen llegando a obtener hasta un 99.96 % de sacarosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), (Honig, 1974.126).

La sacarosa (α -D-glucopiranosil- β -D-fructofuranósido) es un carbohidrato disacárido, compuesto de la síntesis de dos hexosas: D-glucosa y D-fructosa, siendo su fórmula empírica $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ su peso molecular de 342.296 g/mol y su estructura de Hayworth la siguiente (Fig. 1)

Fig. 1 Estructura molecular del azúcar



Enciclopedia Encarta, © Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

2.2 Características de la sacarosa

Las características químicas de la sacarosa son:

- No reduce el reactivo de Tollens ni el de Fehling.
- No forma anómeros (estereoisómeros que no son imágenes especulares superponibles y son diferentes por la configuración cíclica de la molécula).
- No presenta mutarrotación (cambio de su rotación óptica específica) en solución.
- No contiene un grupo aldehído o cetona libre.
- Sufre hidrólisis si se somete a la acción de invertasa o a ácidos diluidos.
- Los ácidos minerales fuertes pueden provocar la descomposición a otros compuestos, básicamente por la eliminación de agua.

- g. La hidrólisis invierte el signo de la rotación óptica de dextrógira a levógira (la mezcla equimolar de D-(+)-glucosa y D-(-)-fructosa se conoce como azúcar invertido).
- h. Exhibe un comportamiento ligeramente ácido en soluciones no neutras.
- i. La presencia de álcalis y calor descompone la sacarosa produciendo ácido láctico y posteriormente otros productos.
- j. La sacarosa seca funde a 185 – 186 °C sin descomposición apreciable, pero a 200 °C manifiesta la formación de una masa de color café, no dulce y no fermentable denominada caramelo.

El conocimiento de las características anteriores hace, por lo tanto, de la sacarosa en la obtención del jugo de la caña, el éxito o fracaso en la operación de purificación.

La meta de la purificación es la separación de una máxima cantidad de no-azúcares inorgánicos que son considerados de naturaleza insoluble o que se vuelven insolubles durante las operaciones de concentración y cristalización, contaminando el azúcar elaborado. En particular, la separación del ácido silícico, sesquióxidos, fosfatos, calcio y algunas veces los sulfatos, es esencial para la correcta elaboración de azúcares crudos de alto grado (Honig, 1974.106).

De acuerdo con la experiencia que se tiene, prácticamente todos los cationes están presentes como iones y no como compuestos orgánicos complejos. Éstos son indudablemente los casos del potasio, el sodio y el calcio; y en gran parte el magnesio; y en un 80% del tiempo con los sesquióxidos. En cuanto a los aniones, hay una dificultad inherente en el hecho de que el fosfato esté presente en los jugos crudos, en forma de mono o di fosfato, así que de

acuerdo con eso tiene que ser expresada la cantidad de cationes relacionada con el fosfato.

Para los cationes, los grupos principales son: (a) álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$); (b) tierras alcalinas ($\text{MgO} + \text{CaO}$); y (c) sesquióxidos ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) y para los aniones: (a) cloruro(Cl); (b) sulfato, ácido silícico y fosfato ($\text{SO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5$); (c) organatos y carbonatos (Honig, 1974.516).

La composición de las cenizas es también de importancia práctica en la determinación analítica de éstas por medio de la conductividad eléctrica de los jugos o de azúcares disueltos. Se ha encontrado que la proporción de conductividad eléctrica y cenizas gravimétricas puede usarse como índice de la calidad de un azúcar blanco en cuanto a su comportamiento en el proceso y la calidad.

En la tabla siguiente (Tabla I) se puede ver el grado de extracción de los no azúcares inorgánicos en la molienda y el efecto que sobre ellos tiene la clarificación y en la calidad del azúcar.

Tabla I. Extracción de los no azúcares inorgánicos en la molienda

Cationes	Lugar de proceso	Estado en el jugo
K_2O	Extraído en el mismo grado que la sacarosa.	No removido
Na_2O	Se deja en el bagazo relativamente más Na_2O	No removido
CaO	Extraído de 75% a 85%	Incremento en la clarificación.
MgO	Extraído en un 80%	Incremento en la clarificación.
Fe_2O_3	Extraído en un 50%	Removido en un 50%
Al_2O_3	Extraído en un 60%	Removido en un 75%

Aniones	Lugar del proceso	Estado en el jugo
Cl	Extraído en el mismo grado que la sacarosa	No removido
SO_3	Extraído en un 85%	No removido
P_2O_5	Extraído en un 85%	Removido

Fuente: Pieter Honing, **Principios de tecnología azucarera**, Pag.268

La producción de azúcar a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es básicamente un proceso de separación que consta de cuatro etapas: separación de fibra material sólido insoluble, estabilización y separación de impurezas en suspensión, separación de agua, cristalización y separación del grano de azúcar de la miel. Estos cuatro procesos se realizan consecutivamente y en cada uno ocurre una pérdida de sacarosa mezclada en los materiales separados.

Cada una de las etapas se efectúa con equipo especialmente diseñado para el efecto, buscando en cada etapa la separación máxima de la sacarosa del material que no es sacarosa y se desea eliminar, pérdida mínima de sacarosa por motivos de proceso, buena calidad de materiales producidos para otras etapas y proceso estable.

2.3 Variedades de caña

Uno de los factores que más inciden en el desarrollo de la agroindustria cañera del país, es el factor varietal, dado que de la adecuada selección de variedades de caña para cada zona ecológica de cultivo, dependerá el éxito de la producción azucarera por unidad de área sembrada, así como la calidad del azúcar.

Guatemala es un país importador de variedades, y es hasta el año 1992 cuando se empieza la adecuada selección de variedades de la caña para cada zona ecológica, por medio del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). Los aspectos más importantes que se desea destacar en una variedad, son definidos al establecer un programa de mejoramiento.

En el ingenio La Unión S.A. la variedad CP-722086 alcanzó en la zafra 02-03 cerca del 85% del área cultivada, la variedad MEX 69290 con 4.12% y la variedad PR-872080 ocupó el tercer lugar con 3.47% del área cultivada. El siguiente cuadro (Tabla II), nos explica las diferentes variedades en este ingenio.

Tabla II Censo de variedades 2002-2003

VARIEDAD	%
CP-722086	85.81
MEX-69290	4.12
PR-872080	3.47
L-6840	1.67
SP-792233	1.56
PPQK	0.84
CP-731547	0.80
MEX-68P23	0.61
VARIAS	0.40
PR-752002	0.23
CP-881165	0.14
PR 61-632	0.09
CP-801827	0.02
CP-811384	0.01
PORCENTAJE	100
ÁREA TOTAL ha	15,743

3. PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR

3.1 Preparación de la caña

La caña cortada en el campo es llevada al ingenio por medio de camiones compuestos por jaulas, los cuales trasladan la caña a granel y en otros casos, se transporta la caña atada con cadenas formando maletas, en camiones y plataformas. Toda la caña es sometida a un prelavado para poder eliminar el polvo. Luego la caña es descargada de los medios de transporte hacia las mesas alimentadoras, por medio de descargadores móviles con accionamiento hidráulico. En las mesas alimentadoras se le aplica agua para lavarla y las mesas dosifican la caña a los conductores de caña. Éste es el punto inicial del proceso de fabricación de azúcar. En este lugar como toda materia prima, es necesario saber la calidad de la caña, para ello se toman muestras de las unidades de transporte (jaulas), cuyo muestreo dependerá de la cantidad de caña que ingresa por hora, capacidad del equipo toma-muestras y del recurso humano que se cuente para realizar esta actividad.

Luego del paso de la caña por las mesas, la caña descarga a los conductores de caña, en los cuales la caña es preparada para la molienda haciéndola pasar por picadoras, las cuales cortan la caña en astillas pequeñas por medio de cuchillas giratorias.

Una vez preparada la caña, sale de los conductores y es alimentada a un tándem de seis molinos. En este lugar es donde se define la eficiencia de operación de la molienda y la extracción de azúcar. El grupo de molinos se

encuentra dispuesto en un tándem instalados en serie, y es aquí, donde se efectúa el primer paso en el proceso fabril del azúcar como es la extracción del jugo (guarapo) mediante la compresión de la caña entre los cilindros rotativos llamados mazas. Al entrar la caña al primer molino se obtiene un primer jugo, el de primera extracción, que contiene la mayor cantidad de sólidos disueltos y la más alta pureza. A medida que se extrae en los demás molinos todo el jugo, la pureza disminuye en virtud de que se obtienen otros componentes no deseados como azúcar no cristalizables, ceras, gomas, etc.

El tándem del ingenio posee seis molinos y para ayudar a la extracción del jugo se rocía la torta de bagazo, al salir de cada molino, con chorros de jugo macerado con lo cual se ayuda a la extracción de azúcar por Lixiviación. Este proceso llamado imbibición (o menos frecuente, maceración o saturación) tiene muchas variantes. Los mejores procedimientos de molienda logran extraer el jugo de la caña más del 95% del azúcar que contiene la caña y en el ingenio se ha logrado obtener un 92%; este porcentaje se llama extracción de sacarosa o simplemente extracción.

El bagazo final que sale del último molino (el número seis), contiene el azúcar no extraída, la fibra leñosa, y aproximadamente, el 51% de agua. Este producto se envía al departamento de calderas para que sirva de combustible. Este bagazo contiene jugo con sólidos azucarados que ya no se pudieron extraer, y por ende, se pierden al quemarse en las calderas en aproximadamente 2 ó 3% de pol en bagazo (sacarosa aparente).

Es de hacer notar que en los molinos el jugo de la caña es un caldo nutritivo para el desarrollo de microorganismos que degradan el jugo. Los productos azucarados que ocurren si el proceso no está limpio durante su

descomposición microbiológica son variados, entre ellos están la glucosa y fructuosa (azúcares reductores) que los microorganismos producen a partir de la sacarosa y diferentes especies de dextrana más otras estructuras bioquímicas.

Por último, el jugo que se recolecta de la molienda es bombeada hacia la fábrica para su posterior preparación de cristales de azúcar.

3.2 Clarificación del jugo

El jugo procedente de los molinos es ácido y de color verde oscuro, primero se aplica SO_2 gaseoso, el cual reacciona con los principales colorantes del jugo. Después se le neutraliza por medio de una suspensión de cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Este proceso forma sales insolubles de calcio, principalmente fosfatos de calcio y además, sulfatos insolubles. Luego el jugo alcalizado se lleva hasta $105\text{ }^\circ\text{C}$, esto coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas. Con la aplicación de un polímero polielectrolítico se forma un precipitado que atrapa los sólidos en suspensión y las partículas más finas y sale un jugo claro, libre de partículas sólidas, en forma cristalina.

Los aparatos que hacen la clarificación son muy variados, pero los de uso tradicional están formados por bandejas cónicas de poca profundidad (tres, cuatro o cinco) colocadas una sobre otra, generalmente con los vértices hacia abajo o hacia arriba, encerradas en un cuerpo cilíndrico. En la entrada del jugo hay una cámara de floculación situada en la parte superior del clarificador. El jugo fluye a través de las bandejas depositando las cachazas, las que son empujadas hacia la salida (que puede estar en el centro o en la periferia de la bandejas) por la acción de raspadores giratorios. Los puntos de extracción del

jugo claro varían en cuanto a localización según el diseño, y las cachazas se extraen del fondo del tanque por bombeo.

Todos los clarificadores están aislados a fin de conservar el calor y facilitar la sedimentación de las cachazas, para permitir ahorro de mano de obra y ocupar menos espacio que otros equipos.

El modelo que ha tenido buenos resultados es el Rapi-Dorr 444, introducido en Cuba en 1918. Consta de cuatro compartimientos con medidas para la alimentación, separación de rebose y extracción de la cachaza, lo que permite que la unidad opere como cuatro clarificadores totalmente independientes encerrados en un compartimiento común.

Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación y se filtran en filtros rotativos al vacío. El jugo filtrado regresa al tanque de jugo alcalizado.

El objetivo de este proceso es estabilizar el pH del jugo para hacer mínima la pérdida de sacarosa por inversión y mejorar el proceso de cristalización, otro objetivo es eliminar todo el material insoluble suspendido o acarreado en el jugo (fibra, residuos de suelo, sólidos en suspensión y coloides, principalmente).

Al jugo, en estos equipos, se le baja su velocidad puntual para permitir la decantación de los flóculos formados para así separar en forma continua el jugo claro y el material extraño se extrae en el fondo del clarificador. El tiempo de residencia de estos equipos es variado, pudiendo oscilar entre 0.25 y 3 horas dependiendo de las condiciones del proceso y del diseño del equipo utilizado.

3.3 Evaporación

El jugo clarificado tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído, excepto las impurezas extraídas en la clarificación por el tratamiento con cal, y contiene alrededor del 85% de agua. Dos terceras partes de esta agua se evaporan en evaporadores al vacío de múltiple efecto, normalmente de cuatro a cinco efectos de evaporación. La evaporación consiste en una sucesión de cuerpos dispuestos en serie de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un vacío más alto, y por lo tanto, una temperatura de ebullición más baja. El vapor del último cuerpo llega a un condensador. El jugo entra y sale del sistema en forma continua. El jarabe que sale del último efecto (meladura) lleva una concentración aproximada de 60 a 65% de sólidos en peso.

El objetivo de este proceso es eliminar la mayor cantidad de agua presente sin provocar cristalización (alrededor del 75% del material inicial), también hacer mínima la descomposición de sacarosa por altas temperaturas durante tiempos largos y conseguir la evaporación deseada con la cantidad de vapor de calentamiento procedente del escape de las turbinas de los molinos por la combustión del bagazo.

En este proceso se tienen los siguientes productos involucrados: jugo clarificado; vapor vegetal, (el vapor producido en un evaporador como resultado de la ebullición del jugo que se encuentra en el interior); y vapor de escape (vapor de baja presión que se produce por las turbinas de no condensación).

La operación de un sistema de evaporación química de múltiples efectos es relativamente sencilla, debido esencialmente a que si se fijan las condiciones de flujo de entrada y salida, nivel en cada efecto y extracciones de vapores vegetales hacia el exterior, entonces tendremos que el equilibrio del sistema será automático en lo que a presiones, temperaturas y consumo de vapor se refiere.

La evaporación se realiza en equipos continuos y secuenciales en los que el vapor y el jugo, en cámaras separadas, fluyen en el mismo sentido (co-corriente).

Los factores que son importantes para una buena operación de evaporadores son: presión absoluta del último efecto, controlada por la cantidad de agua suministrada al equipo de condensación, concentración de meladura (debe mantenerse debajo de 70 °Brix para evitar la cristalización); nivel del líquido en el interior de los tubos, que debe mantenerse lo suficientemente bajo para mantener buena velocidad de evaporación y baja presión hidrostática.

3.4 Cristalización

La cristalización tiene lugar en tachos al vacío de simple efecto, donde el agua en el jarabe se evapora hasta quedar saturado de azúcar. En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de núcleos para los cristales de azúcar, y se va añadiendo más jarabe, según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho, durante este proceso no se debe permitir la formación de cristales adicionales, de tal manera que cuando el tacho está totalmente lleno todos los cristales tienen el tamaño

deseado. Los cristales y el jarabe forman una masa densa llamada masa cocida.

El objetivo de la cristalización es producir cristales de sacarosa en condiciones óptimas para separación posterior, agotar al máximo el contenido de sacarosa del producto residual del proceso, melaza o miel final, operar toda la evaporación con el tipo y cantidad de vapor disponible y evitar hasta donde sea posible, la descomposición térmica de sacarosa.

En el proceso están involucrados los siguientes productos: masa cocida, es una mezcla de grano cristalizado y su miel madre (la miel de donde se originaron y donde crecieron los cristales); miel, que es un producto intermedio sin grano presente, al que ya se le ha extraído por lo menos una fracción de la sacarosa que se encontraba presente; miel virgen, es un producto sin grano presente, al que no se le ha extraído sacarosa.

Se emplea actualmente para la elaboración de azúcar crudo un sistema de tres masas, la cual produce masas C, que se purgan y producen miel final para la venta y magma de C. El magma de C sirve de semilla para producir masas de B que se alimentan con miel A proveniente de la purga de las centrífugas de masa A. Las masas B se purgan para generar miel B y magma de B. El magma de B sirve de semilla para las masas de A, las cuales se purgan y producen azúcar para la venta y miel A, la cual se reprocesa.

Para la elaboración de azúcar blanca de 150 de color unidades ICUMSA aproximadamente, se utiliza un procedimiento de dos masas, iniciándose con la cristalización con miel A de blanco y semilla. Esto genera la masa B de blanco que al purgarse nos da miel B de blanco y magma B de blanco. La masa A de

blanco se desarrolla utilizando magma de B de blanco con meladura de 65 brix y 88.9 de pureza. De la purga de dicha masa de producción se obtienen 2 productos que son azúcar como producto terminado y miel A que servirá para levantar masas cristalizadas, como se dijo anteriormente.

3.5 Centrifugación o purga

La masa cocida proveniente del cristizador se carga a máquinas giratorias de alta velocidad, conocidas como centrífugas. Es un tambor cilíndrico suspendido de un eje, el tambor tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con un juego de una tela metálica y dos mallas metálicas de 8 y 5 mesh respectivamente. El revestimiento perforado retiene los cristales de azúcar lavada, la miel pasa a través de las telas debido a la fuerza centrífuga. Actualmente existen centrífugas para purgar masas de azúcar crudo y azúcar blanca al mismo tiempo.

El objetivo de esta etapa del proceso es separar completamente la miel madre y los cristales presentes en las masas; mantener hasta donde sea posible el tamaño y características de los cristales que se encuentren presentes y efectuar la separación azúcar-miel en el menor tiempo posible, con el menor uso de energía y agua.

Los productos involucrados son: lavado, que es una mezcla homogénea sin grano de tres componentes básicos: el agua utilizada para lavar el grano dentro de la centrífuga, residuos de la miel madre que ha envuelto a los cristales y disolución parcial del azúcar presente.

Para purgar masas de tercera existe una centrífuga Western States CC6 y tres centrifugas BMA K-850. Para purgar las masas de segunda de crudo existen cinco centrifugas BMA 850, una centrífuga Western States CC5 y una centrífuga Western States CC6.

4. MODIFICACIONES AL PROCESO PARA PRODUCIR AZÚCAR BLANCO DE ALTA CALIDAD

Para obtener azúcar de mejor calidad, se separa el jugo extraído en el primer molino obteniéndose dos clases de jugo: jugo mixto y jugo del primer molino el cual continúa por las diferentes etapas del proceso de fabricación de azúcar usando dos líneas separadas con los mismos equipos ya existentes. Se producirá dos clases de azúcar: azúcar jugo mixto y azúcar estándar jugo del primer molino.

La alternativa de producción para una capacidad de molienda de 12,000 qq de azúcar estándar equivale al 40% de la producción total cuando se muele a razón de 12,500 tons.

Esta proporción es la mayor que se puede conseguir con las instalaciones del ingenio, ya que está amarrada a la cantidad de vasos evaporadores que se dispone en esa línea.

Al analizar los balances vemos que en esa proporción de producción el departamento crítico es la evaporación, así que éste es el departamento que fijó la capacidad. El consumo de vapor con esta alternativa es de 834 libras por tonelada de caña, y se requiere hacer pequeños cambios sobre el proyecto original para lograrlo.

La separación de jugo primario y mixto se hace de la forma original debiendo desviar el jugo del primer molino para blanco equivalente a 486,152 libras por hora, correspondiente a 950 gpm y el jugo restante se deja para la línea de crudo.

El siguiente diagrama de flujo (Fig. 2), explica la forma tradicional de extracción de jugo y luego la separación de ambas líneas (Fig. 3), para la obtención de azúcar crudo y azúcar estándar al mismo tiempo.

Fig. 2 Diagrama de flujo

Proceso de transformación de caña usando una línea de extracción

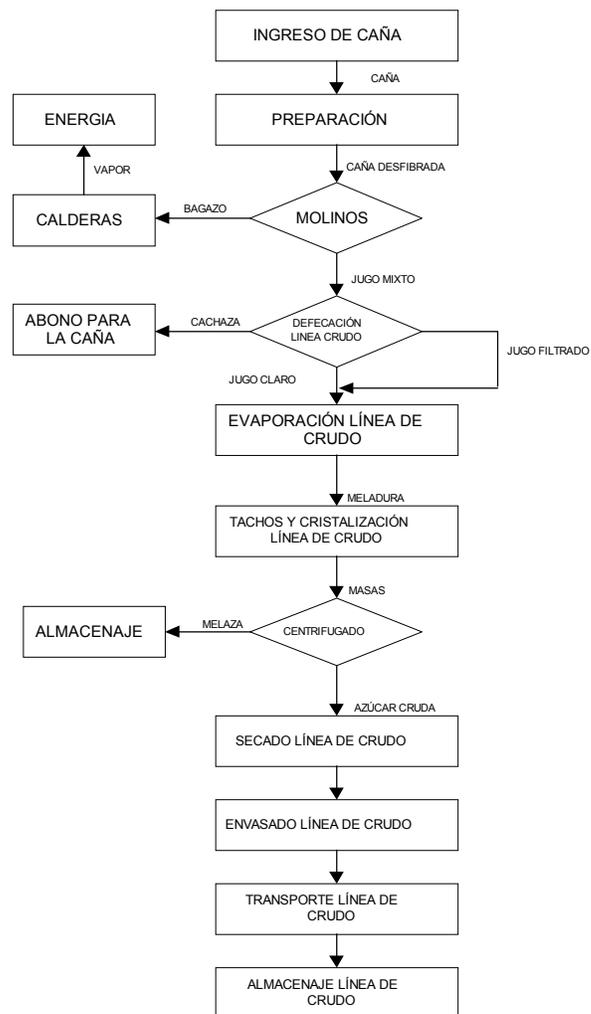
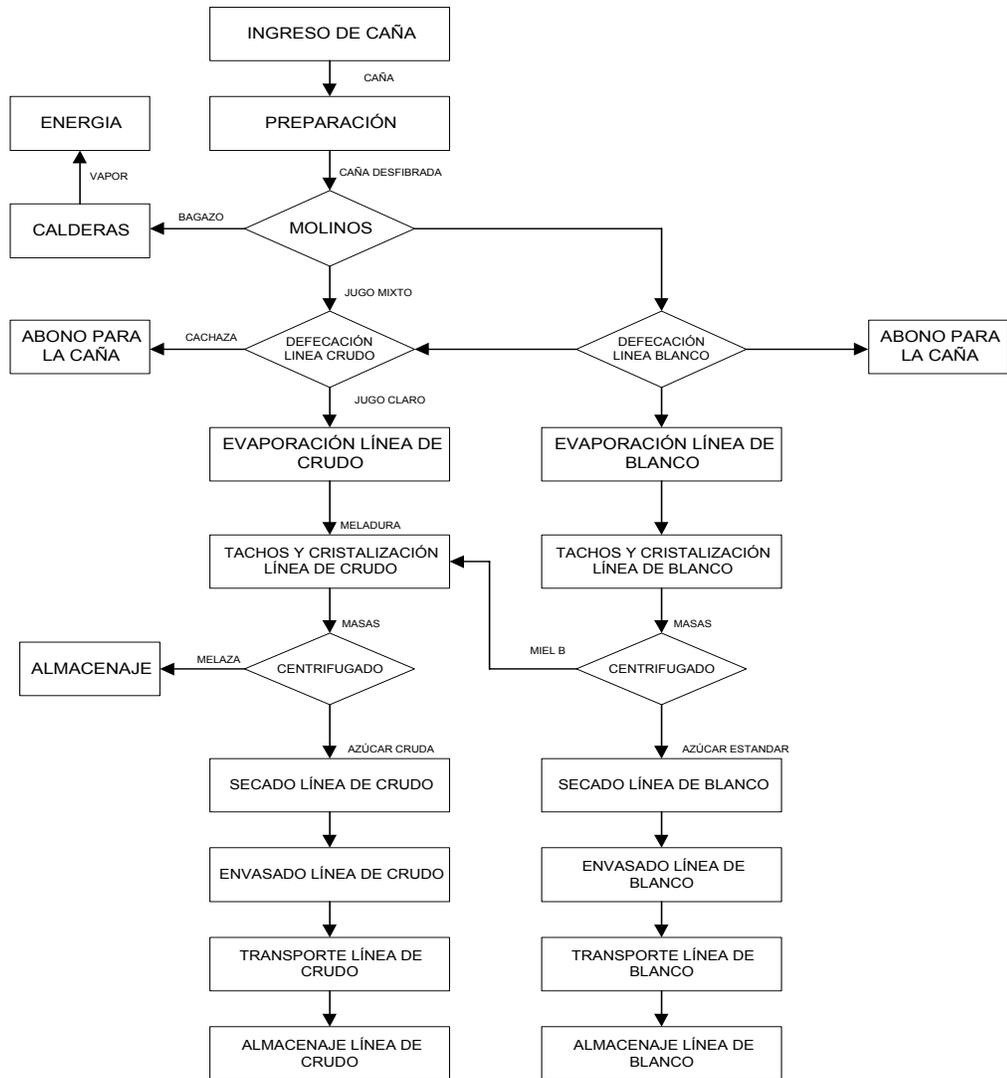


Fig. 3 Diagrama de flujo proceso de transformación de caña de azúcar usando doble línea de extracción



5. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

Cada área de la vida diaria se puede beneficiar del análisis estadístico. La estadística ha demostrado ser una herramienta valiosa sobre las decisiones sociales, no solamente para minimizar costos, sino también para combinar productos y realizar inventarios. En la investigación de mercados, es donde más se aplica esta ciencia, para determinar qué tan probable es el éxito de un producto, pero no solamente en esta rama sino, también en los procesos industriales donde se utiliza, para tomar decisiones y solucionar problemas para obtener excelente posición en la demanda del producto y competir con empresas afines. Si no se está en capacidad de aplicar la estadística y otros métodos cuantitativos seguramente se estará en desventaja por promover la calidad del producto y enriquecer las cualidades inherentes de dicha materia.

5.1 Histogramas

Los gráficos son métodos útiles para describir conjuntos de datos, el histograma coloca las clases de una distribución de frecuencia en el eje horizontal y las frecuencias en el eje vertical. En este diagrama se revelan detalles y patrones que no se pueden discernir fácilmente de los datos originales. Mientras más grande sea la muestra, más información obtendremos sobre la población, pero un aumento en el tamaño de la muestra también implica un aumento en la cantidad de datos, y esto puede llegar a hacer difícil comprender la población a partir de esos datos, aún cuando se organicen en tablas. En ese caso, necesitamos un método que nos permita comprender la población de un vistazo. Un histograma responde a esta necesidad.

5.2 Diagramas de dispersión

El diagrama de dispersión puede brindar dos tipos de información. Primero podemos buscar los patrones que indican qué variables están relacionadas y segundo, si existe una relación entre ellas, podemos ver qué clase de línea, o ecuación de estimación, describe dicha relación. En la práctica, frecuentemente es necesario estudiar la relación de correspondencia de dos variables.

Para leer los diagramas de dispersión se debe tomar en cuenta lo siguiente: así como es posible captar la forma de la distribución en un histograma, también es posible leer la distribución general de los pares de datos a partir de un diagrama de dispersión. Al hacerlo, lo primero es examinar si hay o no hay puntos muy apartados del grupo en el diagrama. Puede suponerse que estos puntos apartados en el grupo principal, son el resultado de errores de medición o de registro de los datos, o fueron causados por algún cambio en las condiciones de operación. Es necesario excluir estos puntos del análisis correlacional; sin embargo, en lugar de despreciar completamente estos puntos, se debe dar la debida atención a la causa de esas irregularidades porque con frecuencia se obtiene información muy útil averiguando por qué ocurre.

5.3 Grafica de caja y extensión

Las gráficas de caja y extensión, se utilizan para proporcionar una imagen y resumir así un conjunto de datos experimentales. Las ayudas gráficas que se utilizan junto con la prueba de hipótesis no se usan como un reemplazo del procedimiento de prueba. En realidad, el valor de la estadística de prueba indica el tipo apropiado de evidencia en apoyo de H_0 y H_1 . Sin embargo, una

representación como imagen proporciona una buena ilustración y a menudo es un mejor comunicador de evidencia para el beneficiario del análisis. Además, una imagen con frecuencia dejará claro por qué se encontró una diferencia significativa. La falla de una suposición importante se puede descubrir mediante un resumen de tipo gráfico.

Para la comparación de las medias, la gráfica de caja y extensión proporciona una presentación reveladora. En la figura 7 aplicamos el uso del diagrama de caja y extensión para expresar en forma visual la consistencia de la hipótesis propuesta en este documento. Podemos observar que el comportamiento de los valores muestrales de la zafra 2000-2001 (figura 7) tienen una mediana de 250.73 y desviación estándar de 8.89, pero todos los valores están concentrados en el rango de 246.33 y 254.66 para un intervalo de confianza de 95%; mientras que en la zafra 2002-2003 (figura 9) la mediana tiene un valor de 184.00 y desviación estándar de 27.91 y los valores están concentrados en los rangos de 180.77 y 194.29 para un intervalo de confianza de 95%. Es decir que estadísticamente la figura 9 revela una variabilidad más pequeña que el grupo de la zafra 2000-2001 (figura 7). Lo anterior se expresa aún mejor, mediante el uso de la curva del histograma utilizado en las figuras 6 y 8.

5.4 Media aritmética

Las medidas de tendencia central son las que localizan el centro de la distribución. Una de las medidas de tendencia central más común y útil, es el promedio común de un conjuntos de mediciones. En estadística, a este valor se le conoce como la media aritmética, o simplemente la media, de un conjunto de medidas, ya que se quiere distinguir entre las medias de una muestra y de una

población, se utilizará el símbolo \bar{x} con un raya para representar la media muestral y μ (la letra griega mu minúscula) para representar la media población.

La media aritmética de un conjunto de n medidas o mediciones $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, es igual a la suma de los valores dividida entre n .

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

\bar{x} = media aritmética
 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ = valores o mediciones
 n = número de elementos

5.5 Mediana

La mediana algunas veces es llamada media posicional, porque queda exactamente en la mitad del conjunto de datos después de que las observaciones se han colocado en serie ordenada. La mitad de las observaciones estará por encima de la mediana, la otra mitad estará por debajo de ella. También se define la mediana como la tendencia central que representa el promedio aritmético de un conjunto de observaciones.

$$\text{Posición de la mediana} = (n+1)/2$$

5.6 Moda

Es la observación que ocurre con mayor frecuencia. Si en un conjunto de datos aparecen dos o más observaciones con mayor frecuencia, entonces el conjunto será bimodal, trimodal, etc.

5.7 Medidas de dispersión

La variación es una medida muy importante de los datos. Aparte de la importancia práctica de la variación en los datos, se necesita una medida de esta característica para la elaboración de la imagen mental de la distribución de frecuencias. Una descripción más completa del conjunto de datos puede obtenerse si se mide qué tan dispersos están los datos alrededor de dicho punto central. Las medidas de dispersión miden qué tanto se dispersan las observaciones alrededor de su media.

5.8 Varianza

En una población de n mediciones x_1, x_2, \dots, x_n , se define como la medida de los cuadrados de las desviaciones de mediciones respecto a su propia media μ .

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \mu)^2}{N} = \frac{\sum x^2 - n\mu^2}{N}$$

Donde:

σ^2 = La varianza de la población

x = Elemento u observación

μ	=	Media de la población
N	=	Número total de elementos de la población
Σ	=	Suma de todos los valores $\Sigma(x - \mu)^2$ o sea todos los valores x^2

5.9 Desviación Estándar

Es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza. La varianza se mide en términos del cuadrado de las unidades originales de las mediciones. Así, la varianza se expresaría en kilogramos al cuadrado, para datos originales en kilogramos. Al sacar la raíz cuadrada positiva de la varianza, se obtendrá la desviación estándar $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$.

Donde:

σ = desviación estándar de la muestra.

σ^2 = varianza de la población.

5.10 Hipótesis estadística

A menudo, el problema al que se enfrenta en la toma de decisiones por el área ingenieril, no es tanto la estimación de un parámetro poblacional, sino más bien la formación de un procedimiento de decisión que se base en los datos que pueda producir una conclusión acerca de algún problema industrial. En la toma de decisiones, se puede tener una base de datos muestrales y si hay una diferencia entre la precisión de dos tipos de medidores, es necesario apoyarse en la herramienta estadística. En este caso se postula o se conjetura algo acerca de un sistema. De manera formal, en cada caso, la conjetura se puede poner en forma de hipótesis estadística. Los procedimientos que conducen a la aceptación o rechazo de hipótesis estadísticas comprenden un

área principal de la inferencia estadística. Una hipótesis estadística es una aseveración o conjetura a una o más poblaciones.

La verdad o falsedad de una hipótesis estadística nunca se sabe con absoluta certidumbre a menos que examinemos toda la población, que es poco práctico en la mayoría de situaciones. Es por eso que tomamos una muestra aleatoria de la población de interés y utilizamos los datos contenidos en esta muestra para proporcionar evidencia que apoye o no la hipótesis. La evidencia de la muestra que es inconsistente con la hipótesis que se establece conduce al rechazo de ésta, mientras que la evidencia que la apoya conduce a su aceptación.

5.10.1 Comparación de la varianza de dos poblaciones

Varias de las pruebas estadísticas parten de la suposición de varianzas poblacionales iguales. Para demostrar cómo determinar si ambas varianzas son iguales se utiliza la distribución F , la cual fue denominada así en 1924 en honor a Sir Ronald A. Fisher. Cuando se comparan las varianzas de dos poblaciones, se toma una muestra de cada población. Las varianzas de la muestra sirven como estimados de sus varianzas poblacionales respectivas. Una distribución F se forma por la razón de estas dos varianzas muestrales y se define así:

$$F = s_1^2/s_2^2$$

Donde s_1^2 = es la más grande de las dos varianzas muestrales

s_2^2 = es la más pequeña de las dos varianzas muestrales

Se asume que la varianza de la segunda muestra excede la de la primera. Entre más exceda s^2_2 a s^2_1 , menos probable es que $\sigma^2_1 = \sigma^2_2$ y más grande será la razón de F , por lo tanto, un valor F grande conllevará a un rechazo de la hipótesis nula $H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2$.

Manipular la razón F para garantizar que la varianza de la muestra más alta se coloque en el numerador asegurará que el valor F siempre sea mayor que 1.

Debido a que la razón F está restringida para exceder siempre de 1, resulta sólo una zona de rechazo en la cola derecha. Está prohibida toda zona de rechazo que hubiera aparecido de otro modo en la cola izquierda. Por tanto, sólo la mitad del área bajo la distribución es accesible como zona de rechazo y es necesario dividir por 2 el valor σ seleccionado e identificar una zona de rechazo única en la cola derecha, con un área igual a $\sigma/2$.

5.11 Prueba de la tasa de varianza

Se toma una muestra de tamaño n_1 de una distribución normal $N_1 (\mu_1, \sigma_1)$ y una muestra de tamaño n_2 de una distribución normal $N_2 (\mu_2, \sigma_2)$. En este momento se establecen las regiones críticas a ambos lados de la distribución F en conformidad con la distribución F de grados de libertad (n_1-1, n_2-2)

Hipótesis a ser probada (hipótesis nula) $H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

Hipótesis alternativa $H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

La prueba se efectúa usando

$$V_1 < V_2 \quad V_2/V_1 > F(\alpha/2, n_2 - 1, n_1 - 1)$$

$$V_1 > V_2 \quad V_2/V_1 > F(\alpha/2, n_1 - 1, n_2 - 1)$$

μ_1 : media de la población 1

μ_2 : media de la población 2

σ^2_1 : varianza de la población 1

σ^2_2 : varianza de la población 2

V_1 : varianza no polarizada 1

V_2 : varianza no polarizada 2

α : nivel de significancia

6. METODOLOGÍA

6.1. Unidad experimental

La elaboración de azúcar en el ingenio La Unión, bajo el nuevo proceso modificado se lleva a cabo mediante la separación del jugo del primer molino y del jugo mixto que se obtiene de los restantes molinos. En el proceso antiguo el jugo provenía solamente de la mezcla de todo el jugo que provenía de los molinos. Estos dos procesos serán los que servirán para la elaboración del presente trabajo. El producto final que se obtendrá de las dos diferentes líneas servirán para compararlas utilizando el método de Análisis de Color Azúcar Blanco, método ICUMSA GS1-7 (1994), las condiciones de operación que se utilizarán en ambas líneas serán a condiciones normales, esto es a la misma presión atmosférica, la misma temperatura, el mismo pH y el mismo equipo así mismo el factor varietal, incidirá en las características de purezas y rendimientos comerciales.

6.2. Muestras

Azúcar estándar línea de jugo mixto.

Azúcar estándar proveniente del primer molino.

6.3 Equipo

Espectrofotómetro / 420 nm \pm 10 nm.

Beaker de 250 ml

Plancha con agitador magnético

Bomba de vacío

Filtro de vacío

Papel filtro de millipore de 47 μm , tamaño de poro 0.45 micrones o equivalente

Balanza analítica, precisión 0.001 g

Celdas de 20 mm \pm 0.01 mm

Refractómetro

6.4 Reactivos

Solución de hidróxido de sodio 0.1 Normal de una solución de hidróxido de sodio 1 N, preparada con titrisol, tomar 100 ml en un balón de 1000 ml, y aforar el balón con agua destilada.

- a. Solución de ácido clorhídrico 0.1 Normal de una solución de ácido clorhídrico 1 Normal, preparada con titrisol, tomar 100 ml en un balón de 1000 ml, y aforar el balón con agua destilada.
- b. Ayuda filtrante (tierra silíceas)

6.5 Procedimiento para cada muestra

- a. Pesar 50 \pm 0.1 g de azúcar blanco y agregar a las muestras 50 \pm 0.1 g de agua destilada (para colores que están en el rango de 100 a 200 unidades ICUMSA) y para colores mayores de 200 unidades ICUMSA pesar 30 \pm 0.1 g y agregar 70 \pm 0.1 g de agua destilada.
- b. Colocar la solución en una plancha de agitación magnética hasta disolver completamente el azúcar.

- c. Filtrar la solución colocando en el embudo-filtro, un filtro millipore; usando la bomba de vacío; si es necesario agregue a la solución un gramo de ayuda filtrante.
- d. Tomar el pH de la solución filtrada, y regular el pH a 7 ± 0.1 , añadiendo pequeñas cantidades de solución ácido o solución de soda, según este muy alto o bajo respectivamente, en esta operación utilizar agitador magnético si es necesario.
- e. Tomar 5 ml de la solución, y leer en el refractómetro la cantidad de sólidos solubles, Brix, anotar el dato.
- f. Colocar parte del filtrado en una celda de absorción de 20 nm. Llenar otra celda de las mismas características con agua destilada, la cual servirá como referencia (cero).
- g. Determinar la absorbancia de la solución a 420 nm, en el espectrofotómetro.

6.6 Resultado

6.6.1 Fórmula

Color (unidades ICUMSA)=(Abs) * (100000)/(Brix solución)*(B)*(Densidad)

Donde:

Densidad = brix solución buscar en tabla #16, pp 1113-1115 del libro Manual del Azúcar de Caña, Chen, 1991.

B = ancho de la celda en cm = 2

7. RESULTADOS

Tabla III Color de azúcar estándar zafra 2000-2001

No.	color	No.	color
1	259.01	35	234.38
2	246.37	36	237.98
3	232.92	37	240.84
4	223.99	38	237.12
5	242.17	39	221.90
6	228.99	40	227.44
7	251.17	41	236.54
8	263.23	42	232.41
9	297.51	43	271.06
10	254.20	44	272.75
11	274.06	45	275.46
12	264.81	46	247.96
13	285.83	47	257.11
14	270.79	48	261.54
15	266.28	49	255.21
16	259.32	50	249.49
17	260.36	51	235.77
18	253.39	52	274.61
19	249.01	53	268.18
20	253.57	54	280.46
21	244.94	55	277.99
22	255.42	56	275.01
23	266.33	57	248.06
24	252.22	58	255.79
25	248.56	59	262.85
26	244.26	60	288.18
27	229.46	61	277.73
28	253.00	62	280.23
29	243.11	63	268.61
30	257.37	64	266.98
31	264.92	65	247.89
32	272.37	66	245.15
33	259.63	67	250.70
34	288.10	68	248.56

Tabla IV Color de azúcar estándar. Zafra 2002-2003

# MUESTRAS	COLOR
1	291.29
2	277.83
3	206.19
4	178.27
5	183.96
6	191.35
7	195.08
8	209.56
9	163.54
10	150.23
11	171.58
12	150.14
13	137.30
14	131.02
15	156.83
16	164.93
17	198.64
18	225.91
19	167.81
20	245.82
21	182.10
22	192.52
23	177.88
24	183.59
25	190.88
26	177.28
27	172.59
28	180.41
29	166.87
30	161.31
31	161.84
32	196.65
33	141.86
34	165.93

35	172.91
36	200.97
37	201.67
38	190.07
39	193.76
40	218.03
41	177.32
42	162.94
43	166.16
44	185.28
45	184.02
46	183.99
47	205.43
48	207.92
49	162.98
50	209.14
51	192.69
52	184.30
53	170.90
54	182.40
55	177.81
56	178.08
57	200.04
58	180.45
59	170.04
60	190.81
61	197.92
62	187.79
63	194.79
64	209.37
65	216.57
66	199.39
67	198.20
68	249.20

Tabla V Comparación estadística del color de azúcar estándar

Zafra 2000 – 2001

Máximo	297.50
Mínimo	223.90
Media	256.30
Desviación Estándar	16.80
Promedio	256.30

Zafra 2002 - 2003

Máximo	291.29
Mínimo	131.02
Media	184.00
Desviación Estándar	27.92
Promedio	187.53

Fig. 4 Diagrama de dispersión color de azúcar estándar zafra 2000-2001

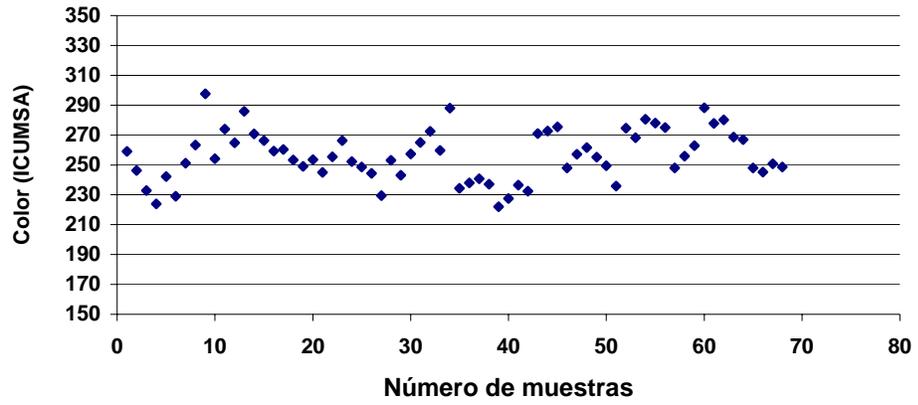


Fig. 5 Diagrama de dispersión color de azúcar estándar zafra 2002-03

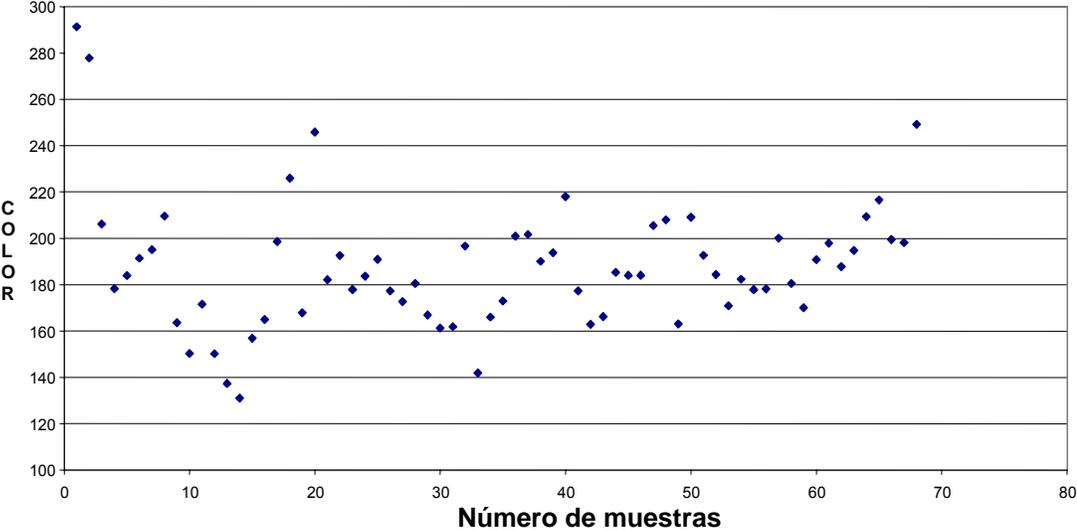


Fig. 6 Histograma de frecuencias y su curva normal zafra 2000-2001

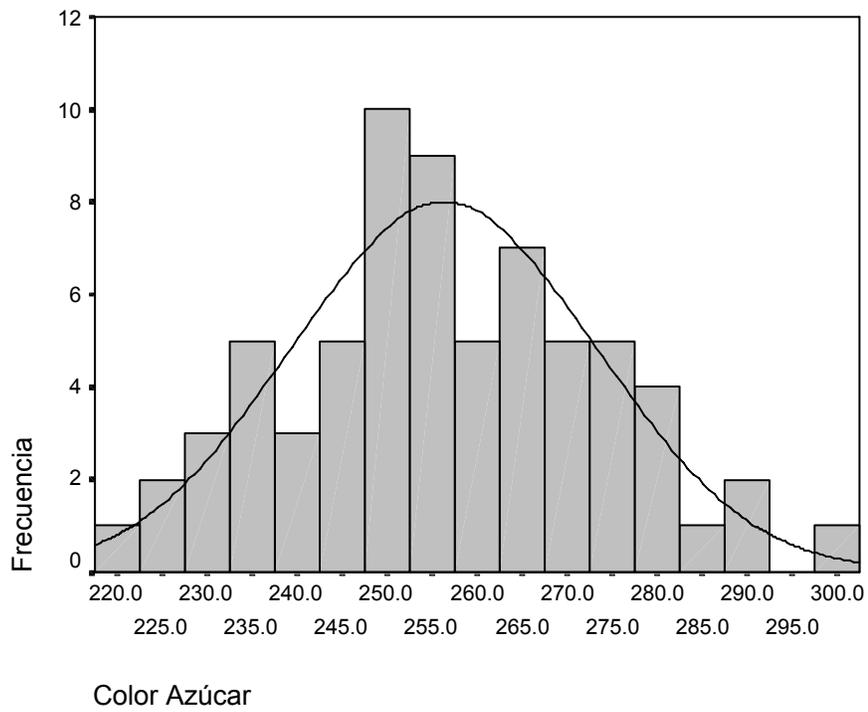


Fig. 7 Diagrama de caja y extensión color de azúcar estándar, zafra 2000-01

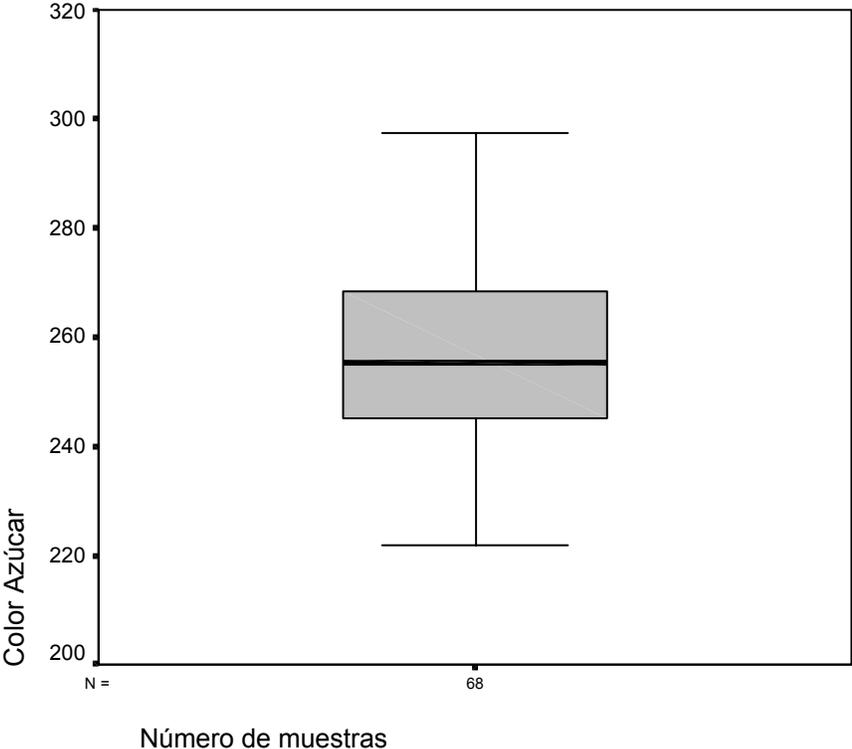


Fig. 8 Histograma de frecuencias y su curva normal, zafra 2002-2003

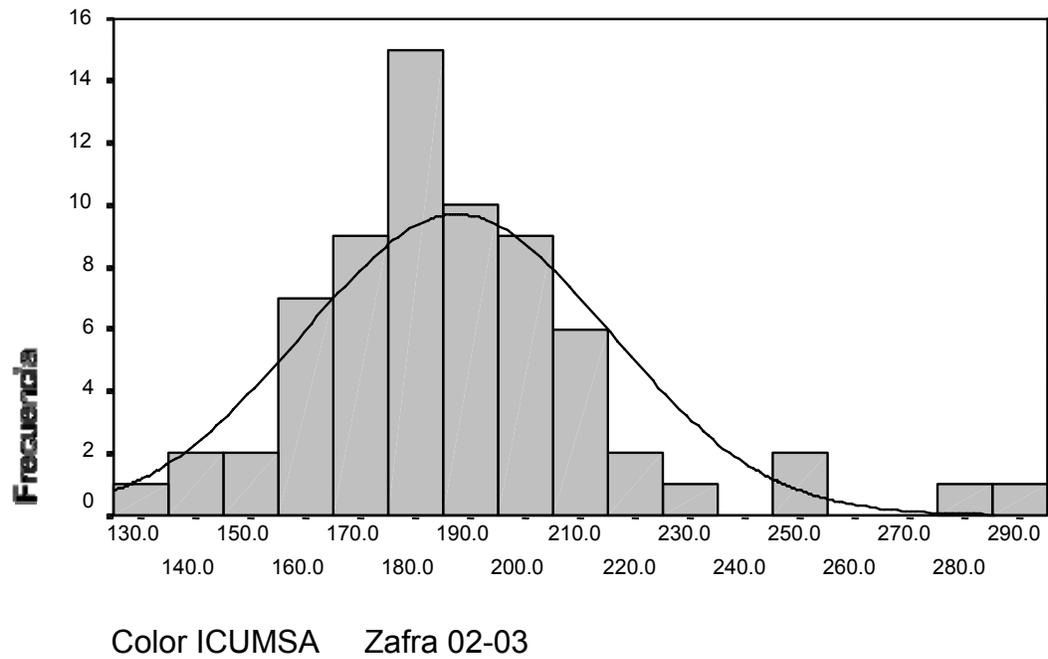
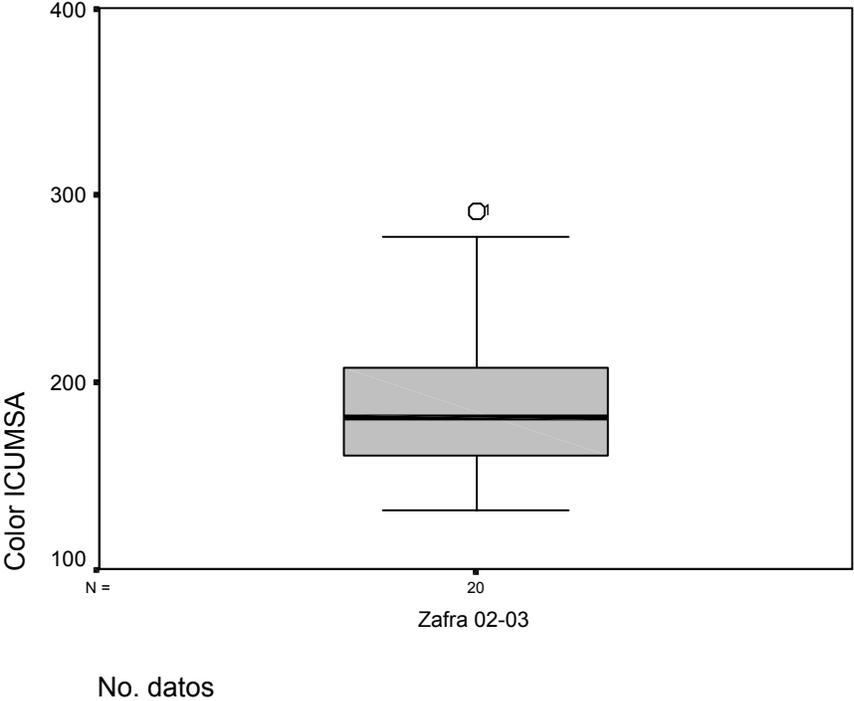


Fig. 9 Diagrama de caja y extensión, color de azúcar estándar, zafra 2002-2003.



8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La Comisión Internacional para la Uniformidad de los Análisis de Azúcar (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis – ICUMSA*), expresa que la pureza de una solución de azúcar está relacionada con el color del azúcar, por eso resulta una medición clave de la calidad del azúcar, ya que los consumidores establecen especificaciones muy estrictas acerca de este parámetro. Es así que los clientes utilizan el color como una medida de impurezas.

Examinando la tabla V se observa que la media de dicha población, expresado en unidades ICUMSA, es más baja en 70.81 unidades, comprobando lo que se planteó en los capítulos 1 y 4 de este documento, describiendo que para mejorar la calidad del producto se optó por controlar mejor el proceso y reducir así la variación con un cambio de tecnología.

También examinamos en la figura 8, el análisis y la hipótesis propuesta. Para la comparación de las medias, la gráfica de caja y extensión proporciona una presentación reveladora. En la figura 7 aplicamos el uso del diagrama de caja y extensión para expresar en forma visual la consistencia de la hipótesis propuesta en este documento. Podemos observar que el comportamiento de los valores muestrales de la zafra 00-01 (figura 7) tienen una mediana de 254.81 y desviación estándar de 16.33, pero todos los valores están concentrados en el rango de 246.33 y 254.66 para un intervalo de confianza de 95%; mientras que en la zafra 02-03 (figura 9), la mediana tiene un valor de 184.00 y desviación estándar de 27.91 y los valores están concentrados en los

rangos de 180.77 y 194.29 para un intervalo de confianza de 95%. Es decir que estadísticamente la figura 9 revela una variabilidad más pequeña para el grupo de la zafra 00-01. Lo anterior se expresa aún más, mediante el uso de la curva del histograma utilizado en las figuras 6 y 8.

Luego al realizar el análisis estadístico (la prueba F de cola para 2 poblaciones diferentes), se analizaron 68 datos de la primera población (zafra 2000-2001), la media aritmética es 254.81 y la desviación estándar 16.33. Para la segunda población, se analizaron 68 datos, la media aritmética es de 184.00 y la desviación estándar es de 27.92 con un nivel de significancia de 5%.

El resultado de la prueba es $2.718 > 1.891$ evidenciando que la varianza de la población para la zafra 00-01 es totalmente distinta para la población de la zafra 02-03.

CONCLUSIONES

1. El proceso que logra mayor eficiencia y descenso de color en unidades ICUMSA, es el producido por la línea de jugo de la primera extracción, en comparación con la línea tradicional del jugo mixto según la prueba de hipótesis utilizada para comparar la media aritmética de las dos poblaciones estudiadas.
2. Para la zafra 2000-2001 (línea de jugo con una sola extracción) la media aritmética de la población fue de 256.30 unidades ICUMSA, mientras que para la zafra 2002-2003 (línea de jugo con dos extracciones) la media aritmética fue de 187.53 unidades ICUMSA, comprobando que la modificación de la línea de jugo de la caña de la primera extracción del tándem de molinos, es el proceso para mejorar la calidad del granulado producido.

RECOMENDACIONES

1. Para uniformizar el color y el tamaño del granulado producido, se debe tener a la mano los manuales de operación. Es la mejor opción para diseñar, escribir y conocer el sistema que se está operando y estandarizar el color.
2. Los análisis que se realicen para obtención de color, deben corresponder a los requerimientos operativos. No vale la pena hacer análisis adicionales a los requeridos por la operación si no van a ser usados.
3. Establecer un factor de seguridad debajo de 0.20 para evitar la posibilidad de deterioro del azúcar en la bodega.
4. Mantener las condiciones de asepsia en los molinos, para minimizar la inversión que producen las dextranas, éstas dan como resultado reproducciones de grano en los tachos e incremento de mieles no cristalizables, y por consiguiente, aumento de color en el azúcar.
5. La irregularidad en la operación de entrega de caña, cañas enfermas, mezclas varietales, y cortes fuera del punto de madurez provocan la variación del color.
6. El proceso de sulfitación debe estar bajo control, al utilizar la combustión del azufre para la formación de dióxido de azufre (anhídrido sulfuroso) y para esto se sugiere que la diferencia de pH entre el jugo diluido y el jugo sulfitado no sea mayor de 0.5 de unidades de pH. Este

dato nos garantiza la no formación de trióxido de azufre (anhídrido sulfúrico), que posee propiedades no blanqueadoras, ya que es un ácido fuerte.

7. La pureza del jugo filtrado debe ser igual a la pureza del jugo clarificado, ya que la relación de sólidos brix y sólidos pol se mantiene. Esto indica que a mayor diferencia entre la pureza de ambos, existe inversión de azúcar, y por ende, deterioro en el color.
8. Evitar el sobrecalentamiento del jugo en el departamento de evaporadores, ya que esto provoca caramelización, y por consiguiente, aumento de color en el producto final.
9. El tiempo perdido en el tándem de molinos es un agente catalizador del aumento del color del azúcar, ya que al estar la caña desfibrada en los conductores, está expuesta a los agentes microbiológicos provocando inversión de azúcar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hugot, E. **“Manual para ingenieros azucareros”**. Traducido por Carlos Ruiz Coutino. Cuarta edición. Séptima impresión. México: Editorial Continental , S.A. 1984. 803 pp
2. Guzmán Sergio. **“IV curso de especialización en ingeniería azucarera fabricación y laboratorio”**. TAYASAL, Guatemala, 1990. 120 pp
3. Spencer, Guilfor L. y George Meade. **“Manual del azúcar de caña”** 9ª edición, España: Montaner & Simon 1967. 940 pp.
4. Honig, Pieter. **Principios de tecnología azucarera**. Tomo I. Traducido por José Esparza. México: compañía Editorial Continental, 1974.
5. Chen, James C. **Manual del azúcar de caña**. 11ª edición, México: Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1991.
6. Spencer y Meade. **Manual de azúcar de caña**. Traducción de novena edición. Barcelona, España: Editorial Montener Simón 1967.
7. Arca, Manuel P. y Raúl Esparza. **“Clarificación de jugo” Haciendo azúcar** vol 4, Miami Florida USA Arca Corporatioin 1983. 119pp.
8. Allen L. Webster. **Estadística aplicada a los negocios y la economía**. 3ª edición, Bogotá, Colombia: McGraw.Hill, 2002.

APÉNDICE

COLOR ICUMSA EXPERIMENTAL

De la ecuación para calcular el color de las dos poblaciones correspondientes a los años 2000-01 y 2002-03 mediante el método ICUMSA GS 1-7

Color (ICUMSA) = absorbanza x (100000)/(brix x (B) x densidad

Color = $0.31788 \times 100000 / (49.95 \times 2 \times 1.22854)$

Color = 259.01 unidades ICUMSA

En la tabla VI y VII se encuentran los resultados de los datos de color que se obtuvieron para las dos poblaciones, usando el brix de la solución según la tabla No. 16 pag. 113-115 de Chen (véase Pág. 50)

PRUEBA DE HIPÓTESIS

La hipótesis que se quiere probar es:

H_0 : El color del azúcar estándar de la zafra 2000-2001 tiene una varianza igual a la varianza proveniente del color del azúcar estándar de la zafra 2002-2003

H_1 : La varianza del color del azúcar estándar de la zafra 2000-2001 no es igual a la varianza del color del azúcar estándar de la zafra 2002-2003

$$n_1 = 68$$

$$x_1 = 256.30$$

$$S_1 = 286.72$$

$$\sigma_1 = 16.93$$

$$n_2 = 68$$

$$x_2 = 187.53$$

$$S_2 = 779.33$$

$$\sigma_2 = 27.92$$

$$\alpha = 5\%$$

$$\text{Valor } F = 2.71$$

$$\text{Grados de libertad} = 67$$

Resultado de la prueba:

$$9.905 > 1.988$$

La prueba es rechazada!

Tabla VI Datos calculados zafra 2000-2001

Muestra	Absorbancia	Brix	Densidad	Color ICUMSA
1	0.31788	49.95	1.22854	259.01
2	0.30237	49.95	1.22854	246.37
3	0.28586	49.95	1.22854	232.92
4	0.27490	49.95	1.22854	223.99
5	0.29721	49.95	1.22854	242.17
6	0.28104	49.95	1.22854	228.99
7	0.30857	50.00	1.22854	251.17
8	0.32338	50.00	1.22854	263.23
9	0.36477	49.90	1.22854	297.51
10	0.31167	49.90	1.22854	254.20
11	0.33602	49.90	1.22854	274.06
12	0.32467	49.90	1.22854	264.81
13	0.35045	49.90	1.22854	285.83
14	0.33186	49.90	1.22799	270.79
15	0.32633	49.90	1.22799	266.28
16	0.31780	49.90	1.22799	259.32
17	0.31908	49.90	1.22799	260.36
18	0.31053	49.90	1.22799	253.39
19	0.30530	49.90	1.22854	249.01
20	0.31089	49.90	1.22854	253.57
21	0.30031	49.90	1.22854	244.94
22	0.31316	49.90	1.22854	255.42
23	0.32654	49.90	1.22854	266.33
24	0.3091	49.90	1.22799	252.22
25	0.30522	50.00	1.22799	248.56
26	0.29994	50.00	1.22799	244.26
27	0.28121	49.90	1.22799	229.46
28	0.31006	49.90	1.22799	253.01
29	0.29793	49.90	1.22799	243.11
30	0.31541	49.90	1.22799	257.37
31	0.32466	49.90	1.22799	264.92
32	0.33379	49.90	1.22799	272.37
33	0.31818	49.90	1.22799	259.63
34	0.35307	49.90	1.22799	288.11

Muestra	Absorbancia	Brix	Densidad	Color ICUMSA
35	0.28724	49.95	1.22799	234.38
36	0.29165	49.95	1.22799	237.98
37	0.29515	49.95	1.22799	240.84
38	0.29059	49.95	1.22799	237.12
39	0.27194	49.95	1.22799	221.90
40	0.27886	49.95	1.22854	227.44
41	0.29001	49.95	1.22854	236.54
42	0.28495	49.95	1.22854	232.41
43	0.33234	49.95	1.22854	271.06
44	0.33441	49.90	1.22854	272.75
45	0.33773	49.90	1.22854	275.46
46	0.30401	49.90	1.22854	247.96
47	0.31523	49.90	1.22854	257.11
48	0.32066	49.90	1.22854	261.54
49	0.31290	49.90	1.22854	255.21
50	0.30589	49.90	1.22854	249.49
51	0.28907	49.90	1.22854	235.77
52	0.33669	49.90	1.22854	274.61
53	0.32881	49.90	1.22854	268.18
54	0.34386	49.90	1.22854	280.46
55	0.34152	50.00	1.22854	277.99
56	0.33770	50.00	1.22799	275.01
57	0.30461	50.00	1.22799	248.06
58	0.31410	50.00	1.22799	255.79
59	0.32277	50.00	1.22799	262.85
60	0.35388	50.00	1.22799	288.18
61	0.34104	50.00	1.22799	277.73
62	0.34411	50.00	1.22799	280.23
63	0.32985	50.00	1.22799	268.61
64	0.32784	50.00	1.22799	266.98
65	0.30440	50.00	1.22799	247.89
66	0.30104	50.00	1.22799	245.15
67	0.30785	50.00	1.22799	250.70
68	0.30522	50.00	1.22799	248.56

Tabla VII Datos calculados zafra 2002-2003

Muestra	Absorbancia	Brix	Densidad	Color ICUMSA	Muestra	Absorbancia	Brix	Densidad	Color ICUMSA
1	0.35734	49.95	1.22854	291.29	35	0.21200	49.9	1.22854	172.91
2	0.33981	49.95	1.22854	277.83	36	0.24641	49.9	1.22854	200.97
3	0.25307	50.00	1.22854	206.19	37	0.24726	49.9	1.22854	201.67
4	0.21857	49.90	1.22854	178.27	38	0.23304	49.9	1.22854	190.07
5	0.22600	50.00	1.22854	183.96	39	0.23757	49.9	1.22854	193.76
6	0.23461	49.90	1.22854	191.35	40	0.26732	49.9	1.22854	218.03
7	0.23951	49.90	1.22854	195.08	41	0.21741	49.9	1.22854	177.32
8	0.25693	49.90	1.22854	209.56	42	0.19978	49.9	1.22854	162.94
9	0.20083	50.00	1.22799	163.54	43	0.20372	49.9	1.22854	166.16
10	0.18411	49.90	1.22799	150.23	44	0.22716	49.9	1.22854	185.28
11	0.21027	49.90	1.22799	171.58	45	0.22562	49.9	1.22854	184.02
12	0.18400	49.90	1.22799	150.14	46	0.22548	49.9	1.22799	183.99
13	0.16860	50.00	1.22799	137.30	47	0.25227	49.9	1.22799	205.43
14	0.16089	50.00	1.22799	131.02	48	0.25532	49.9	1.22799	207.92
15	0.19258	50.00	1.22799	164.93	49	0.20013	49.9	1.22799	162.98
16	0.20212	49.90	1.22799	164.93	50	0.25682	49.9	1.22799	209.14
17	0.24354	49.90	1.22854	198.64	51	0.23662	49.9	1.22799	192.69
18	0.27698	49.90	1.22854	225.91	52	0.22586	49.9	1.22799	184.30
19	0.20575	49.90	1.22854	167.81	53	0.20944	49.9	1.22799	170.90
20	0.30139	49.90	1.22854	245.82	54	0.22353	49.9	1.22799	182.40
21	0.22371	50.00	1.22854	182.1	55	0.21791	49.9	1.22799	177.81
22	0.23651	50.00	1.22854	192.52	56	0.21824	49.9	1.22799	178.08
23	0.21853	50.00	1.22854	177.88	57	0.24516	49.9	1.22799	200.04
24	0.22499	49.90	1.22799	183.59	58	0.22125	49.9	1.22854	180.45
25	0.23393	49.90	1.22799	190.88	59	0.20848	49.9	1.22854	170.04
26	0.21726	49.90	1.22799	177.28	60	0.23394	49.9	1.22854	190.81
27	0.21151	49.90	1.22799	172.59	61	0.24315	50.0	1.22854	197.92
28	0.22059	49.90	1.22799	180.41	62	0.23070	50.0	1.22854	187.79
29	0.2045	49.90	1.22799	166.87	63	0.23930	49.9	1.22854	194.79
30	0.19808	50.00	1.22799	161.31	64	0.25670	49.9	1.22854	209.37
31	0.19873	50.00	1.22799	161.84	65	0.26553	49.9	1.22854	216.57
32	0.24148	50.00	1.22799	141.86	66	0.24448	49.9	1.22854	199.39
33	0.20335	49.90	1.22799	141.86	67	0.24300	49.9	1.22854	198.20
34	0.20344	49.90	1.22854	165.93	68	0.30553	49.9	1.22854	249.20