



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE MATERIAS  
PRIMAS, PRODUCTOS INTERMEDIOS Y  
PRODUCTO FINAL EN UN INGENIO  
AZUCARERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

HECTOR CARMONA MAGAÑA



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

**JURADO ASIGNADO:**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>Prof. Ma. del Carmen Durán Domínguez</b>
<b>VOCAL</b>	<b>Prof. Lucía Cornejo Barrera</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Prof. Víctor Manuel Luna Pabello</b>
<b>1er. SUPLENTE</b>	<b>Prof. Hilda Elizabeth Calderón Villagómez</b>
<b>2o. SUPLENTE</b>	<b>Prof. Landy Irene Ramírez Burgos</b>

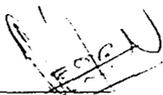
**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

**LABORATORIOS DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA AMBIENTAL Y QUÍMICA AMBIENTAL, PIQUASQA, LABORATORIO DE ALIMENTOS 4 A/B, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM E INGENIOS EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO.**



**ASESOR DEL TEMA**

**Dra.-Ing. Carmen Durán de Bazúa**



**SUSTENTANTE**

**Héctor Carmona Magaña**

---

## ÍNDICE

Agradecimientos

Dedicatorias

Resumen

1. Introducción	7
Objetivos de este proyecto	9
1.1 Antecedentes	10
1.2 Problemática del sector azucarero en México	11
1.3 Calidad total en la industria y su aplicación a la industria azucarera en México	11
2. Metodología de la producción de azúcar en México	16
2.1 Producción de azúcar estandar	17
2.1.1 Producción de azúcar refinada	23
3. Metodología y técnicas utilizadas	27
3.1 Métodos analíticos (Brix, Pol aparente, pH, sustancias reductoras)	28
3.2 Metodología para medir Fe, Cu, Pb, As y Ca	36
3.3 Determinación de <i>Leucanstoc mesenteroides</i>	37
3.4 Fechas de muestreo	37
4. Resultados y discusión	
4.1. Tablas y gráficas de resultados	87
4.2. Discusión	48
5. Conclusiones	50
5.1 Recomendaciones	52
Referencias bibliográficas	53
Apéndice. Metodologías ICUMSA	54
Definiciones generales	59

---

## AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial a mi asesor de proyecto Dra. Carmen Durán de Bazúa por darme la oportunidad de conocer y participar en el proyecto de "Calidad total" en uno de los procesos más completos desde el punto de vista de la tecnología de alimentos que es el de la elaboración de azúcar; asimismo, por el apoyo incondicional que se me brindó tanto en la Facultad de Química en el Programa de IQA y Química Ambiental como en el ingenio participante, para la elaboración de este proyecto.

A las autoridades, personal obrero, administrativo y de laboratorio del ingenio "El Potrero" por las experiencias y conocimientos aportados, ya que el llegar a conocer, detectar y controlar las fallas en el proceso de elaboración de azúcar requiere una experiencia de años, dentro del ingenio y es por eso que en este trabajo algunas de las recomendaciones generadas dependieron de una fuente de información muy importante como lo fue su propia experiencia.

Al equipo de trabajo que labora en el edificio "I" de la Facultad de Química del Programa de IQA y Química Ambiental por el apoyo brindado durante y después de la auditoría ambiental que realizaron en uno de los ingenios mexicanos, ya que de ella se generaron ideas de mejoramiento y algunas de ellas se incluyeron en este trabajo para abatir la contaminación ambiental provocada en los ingenios.

A el personal que labora en el laboratorio de la Facultad de Química, edificio "A" (Área de Tecnología de Alimentos), por la disposición que tuvieron para el préstamo de material y las sugerencias generadas para hacer del trabajo en campo una labor menos complicada. Gracias Don Juan.

A el personal que labora en el ingenio "El Potrero" especialmente al Ing. Martín Flores por los servicios prestados, tanto técnicos como humanos, para la realización de esta investigación.

A **Merck de México** por la donación de reactivos y "kits" para la determinación semicuantitativa de los iones inorgánicos en el proceso de elaboración de azúcar, así como por la aportación del apoyo técnico y de servicio que fue importante para la realización de esta investigación.

A la compañía **SARTORIUS** por la donación de los medios de cultivo, las técnicas y el soporte técnico para el aislamiento de *L. mesenteroides* en los posibles puntos críticos del proceso de elaboración de azúcar.

---

## DEDICATORIAS

Especialmente a ti Señor Jesús, por ser mi gran AMIGO incondicional. Gracias por ser "EL PILAR" que sostiene mi vida espiritual, la cual me ha ayudado a tener la necesidad de dar y buscar siempre más de lo que hay. Muchos creen en la suerte yo creo en ti. Sabes? no solamente quiero dedicarte mi tesis, sino todo lo que me costo el llegar a ello, tu conoces bien por lo que pasamos todos los que estudiamos en esta Facultad. Comprendí que TÚ (si nosotros queremos) puede estar en cada uno de nosotros para ayudarnos en esos momentos de incertidumbre moral y económica, la cual en nuestro caso sucede en la famosa "coladera" del segundo semestre, donde perdí a muchos de mis amigos, pero conocí al más grande de todos... Gracias Señor.

Si alguien duda de ti, lejos de perjudicarte te ayuda a sobresalir y a demostrar de lo que eres capaz, si confían y te apoyan es una fuerte arma para vencer esa duda. Es por eso que doy gracias a mis Padres Rosita y Enrique por que con o sin intención supieron conjuntar y aplicar estos dos conceptos para ayudarme a lograr siempre mi superación personal. Gracias nuevamente por ello que solamente podre pagar siguiendo su mismo ejemplo. Dios los bendiga.

A los ocho (con todo e hijos) que aun hoy en día soportan todos mis cambios e ideas tan bruscas; y que gracias a su indiscutible caracter lograron armonizar siempre "la paz" de la casa, lo cual me ayudo a poder estudiar solamente de noche. Gracias "angelitos" LAURA, AZUCENA, OSCAR, NOEMI, ROSA, GUADALUPE, EMILIANO Y ENRIQUE.

A ti "GUTI", por todo el apoyo y paciencia que siempre has tenido conmigo. Creo que arriesgaste demasiado... y supiste hacerlo bien. Esto es una parte de lo que me has ayudado a conseguir. Aun falta demasiado camino y espero poder caminar firmemente en el con la confianza y el impulso que me has otorgado. Gracias MARTHA.

A mis grandes amigos de la Facultad GACHUZ, ANGEL, MARIANA, LETICIA, NORMA y CECILIA, aunque con diferentes "cargas" pero con un enorme y sincero corazón.

A todos aquellos que para fortuna mia se han cruzado en mi camino y de los cuales he obtenido apoyo y decepción. Gracias, por que con ello he aprendido a madurar y a comprender el por qué de tantos cambios en este camino.

---

## RESUMEN

En cualquier industria química y de proceso, la calidad total permite optimizar el uso de insumos y energía, la generación de productos y los costos de producción. La agroindustria azucarera, la primera establecida en el nuevo mundo en el siglo XVI, por su propio origen, tiene severos problemas de aplicación de criterios de calidad total. El primer paso para alcanzar esta meta es la realización de una auditoría de calidad, desde el punto de vista de ingeniería y tecnología de alimentos, ya que el principal producto de esta rama industrial es el azúcar, alimento de consumo humano directo. En esta etapa, se hizo un seguimiento de las operaciones involucradas en el proceso de elaboración de azúcar granulada tipo estándar, refinada y se evaluó la calidad de la materia prima (jugo de caña o guarapo), los productos intermedios (jugo sulfitado, jugo alcalizado, jugo clarificado, meladura, magma) y los productos finales (azúcar granulada tipo estándar, refinada y miel incristalizable o melaza). Las variables empleadas fueron el número de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml) de *Leuconostoc mesenteroides*, el pH, la temperatura, el % de sacarosa y los contenidos de azufre, calcio, hierro, cobre, plomo y arsénico. Los resultados obtenidos de las pruebas fisicoquímicas (BS y POI) en las materias primas para la elaboración de azúcar, reflejan los problemas de ajuste que existieron al inicio de la zafra y como se fueron normalizando al transcurso de la misma. En cuanto a la cantidad de sustancias reductoras se observó que el parámetro recomendado por GIPLACIA de azúcares reductores fue rebasado durante el proceso, principalmente al final de la zafra. El aislamiento de *L. mesenteroides* se llevó a cabo en los principales puntos críticos del proceso de los cuales solo en los tres primeros presentó un grado máximo de desarrollo, y su presencia se vio nulificada al entrar al proceso de alcalizado y clarificado. Finalmente, en la determinación de los iones inorgánicos los resultados indican que el hierro y el calcio fueron los únicos cuantificables con los "kits" semicuantitativos de Merck. Es importante mencionar que la utilización de equipos de trabajo de campo en la realización de esta investigación fue para tratar de adaptarlos a las necesidades de los ingenios ya que son muy versátiles, prácticos y de fácil uso. Todo ello permite determinar de una manera rápida las condiciones que existen en el proceso en ese momento para controlar las posibles desviaciones que afecten directamente rendimientos y, sobre todo, la calidad en el producto terminado.

---

## 1.- INTRODUCCIÓN

En este proyecto se planteó el estudio específico de una planta productora de azúcar refinada para tratar de minimizar estas deficiencias y mejorar su operación global. El estudio abarca, en un ingenio cooperante, tanto el área de ingeniería como la de tecnología de alimentos, ya que el azúcar es un alimento de consumo humano directo y es producida siguiendo un proceso que involucra operaciones de separación tradicionalmente conocidas (en la ingeniería química clásica) como operaciones unitarias.

La determinación de los elementos principales en las materias que van a entrar al proceso de elaboración de azúcar y la forma en que pueden ser eliminados por medio de los diversos sistemas de purificación y como afectan a la calidad del azúcar, son parte del tema de este trabajo; ya que todos los productos químicos son tóxicos tanto para el hombre como para los animales cuando se suministran en cantidades elevadas. Para proteger la salud del consumidor es fundamental establecer un límite en las cantidades que se pueden ingerir diariamente de una sustancia (Alarcón-Celis, 1975). Los parámetros empleados para evaluar la calidad del azúcar son los siguientes: El número de unidades formadoras de colonias (UFC/ml), el pH, la temperatura, el contenido de sacarosa y el contenido de azufre, calcio, hierro, cobre, plomo y arsénico. Para la determinación de los diferentes contaminantes inorgánicos se emplearon los llamados "kits" colorimétricos siendo su determinación semi-cuantitativa. A continuación se menciona la posible procedencia de cada compuesto, así como el efecto que puede tener sobre el producto terminado, los subproductos y el equipo que se emplea en este proceso.

El **hierro** disuelto proviene del equipo que está en contacto con la caña, así como de las soluciones de azúcar. Por ello, su determinación tiene un significado práctico por el efecto de los elementos que lo acompañan en las aleaciones sobre la calidad del azúcar y en la conservación y mantenimiento del propio equipo.

El **cobre** proviene generalmente de los equipos de transferencia de calor. Debe tenerse en cuenta que debido a su acción catalítica puede alterar la calidad de un gran número de productos alimenticios elaborados con esa azúcar que son enlatados o almacenados, en caso de que esta estuviera contaminada con cobre.

El **arsénico** encuentra su origen principalmente en el azufre usado en el proceso de sulfitación, en la cal o en el ácido muriático, productos químicos usados en las operaciones de inactivación de enzimas, clarificación y limpieza del equipo, respectivamente.

El **plomo** se encuentra en insignificantes cantidades en la caña. Sin embargo, en el proceso de elaboración puede observarse cierta acumulación de plomo proveniente del equipo, de los materiales de empaque que contienen plomo, en el uso de pinturas y en el uso de este material en las aleaciones que tienen los metales de tachos y mezcladores.

La importancia del plomo como impureza en las mieles inestabilizables se debe principalmente a su acción perjudicial en la fermentación. Por ello es recomendable efectuar ocasionalmente análisis de la presencia de plomo en el proceso de elaboración de azúcar ya que este elemento está considerado como un metal altamente tóxico.

El **calcio** se encuentra principalmente en los jugos de caña, originalmente desde la planta de caña. Se agrega en el paso de clarificación del jugo y se manifiesta en los procesos de fabricación y refinación como un elemento perjudicial para el equipo. Es uno de los principales causantes de la

---

incrustación de superficies de transferencia de calor, en especial de evaporadores y tachos y es uno de los principales enturbiantes en licores y melazas (Homig, 1969)

El conocimiento de las cantidades de compuestos inorgánicos y orgánicos presentes en el jugo y la forma en que pueden ser removidos a lo largo del proceso, para obtener así un jugo purificado de una máxima pureza, debería ser la tendencia general en los ingenios para así obtener excelente calidad en sus productos y subproductos así como óptimos rendimientos y un mejor estado general de los equipos, que redundaran en el logro de la calidad total.

Por otra parte, existen especies de bacterias, entre otras, *Leuconostoc mesenteroides* que forma gomas (como la dextrana) a partir de azúcares reductores presentes en el jugo. La formación de dextranas ocasiona no solo pérdidas de azúcar sino también problemas de taponamiento de bombas y tuberías, aumento de viscosidad del jugo o modificación de los cristales de sacarosa (Homig, 1969). Esta bacteria generalmente persiste a lo largo de todo el proceso debido a que forma capsulas que le sirven de protección contra condiciones adversas como elevadas temperaturas, valores de pH extremos, presencia de productos químicos, etc, haciendo que la cantidad final obtenida de sacarosa sea menor a la esperada, de acuerdo con las mediciones iniciales en el guarapo recién extraído. El desarrollo de esta bacteria se lleva a cabo cuando la caña permanece mucho tiempo en el campo después de cortada o en el batey, cuando el jugo extraído no se envía a los evaporadores.

La presencia de microorganismos en cualquier azúcar particular o producto intermedio en la fabricación del azúcar, no significa necesariamente que se estén produciendo cambios perjudiciales. **El crecimiento rápido** es la clave para que los microorganismos se puedan clasificar como nocivos. Su acción destructora se puede manifestar en las pérdidas de azúcar por inversión u oxidación.

---

## **OBJETIVOS**

Con base en los dos primeros puntos de esta introducción, se busca:

Evaluar, la calidad de la materia prima (jugo de caña o guarapo), los productos intermedios y finales de su procesamiento (guarapo mezclado, guarapo clarificado, cachaza, meladura, masa cocida, miel final y azúcar granulada) en el proceso de elaboración de azúcar refinada y estándar.

Realizar una validación de el equipo de campo para pruebas físicoquímicas y microbiológicas que se encuentra comercialmente

Apoyo a este tipo de industria por medio de recomendaciones que ayuden a disminuir el fuerte impacto ambiental y a incrementar los rendimientos de materias primas y productos finales.

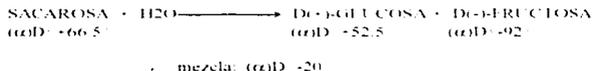
## 1.1.- ANTECEDENTES

La caña de azúcar es originaria de Asia, Oceanía y América. Es una planta vigorosa de crecimiento rápido (12 a 14 meses) que alcanza de 3 a 6 metros de altura y hasta 7 cm de diámetro. Es una planta tropical, la cual requiere un clima húmedo y cálido.

De la caña no solo se obtiene el azúcar sino también varios productos secundarios entre los que destaca el bagazo, que puede servir como forraje o como abono. Cuando está seco se le utiliza como combustible. También es materia prima para la fabricación de papel, cartón, sustancias plásticas, etc. Las melazas, también muy importantes, son empleadas en la fabricación de alcohol, como alimento de animales y como materia prima para un sinnúmero de productos (Campos y Ríos, 1995).

Con el nombre de azúcar se designa comúnmente a la sacarosa utilizada en la alimentación. Es un disacárido (carbohidrato compuesto de dos unidades de monosacáridos: fructosa y glucosa), cristalino, de sabor dulce (de ahí su aplicación industrial y doméstica como edulcorante), soluble en agua y poco soluble en alcohol, al calentarse se convierte en una sustancia pastosa viscosa llamada caramelo. Es el disacárido más importante y ampliamente difundido en la naturaleza. Se le encuentra en su estado libre en todos los vegetales fotosintetizadores y constituye el disacárido principal en la dieta de los animales.

Al revés de muchos disacáridos y oligosacáridos, la sacarosa no contiene átomos de carbono anomérico libre; los de ambas hexosas ( $\alpha$ -glucosa y  $\beta$ -fructosa) se hallan unidos entre sí a través de un enlace glucosídico ( $\beta$ -1-2). La sacarosa por tanto, no experimenta mutarrotación (posiblemente sea esta la razón por la cual la sacarosa es fácilmente cristalizable, en contraste con muchos otros azúcares). Ni siquiera es un azúcar reductor. Sin embargo, la sacarosa se hidroliza fácilmente en sus componentes, la glucosa y la fructosa, con la ayuda de ácidos débiles o de la enzima invertasa. La sacarosa es dextrorrotatoria  $[\alpha]_D^{20} = +65.5$ ; sin embargo, al hidrolizarse, el poder levorrotatorio de la fructosa  $[\alpha]_D^{20} = -92$  es más fuerte que el de la glucosa  $[\alpha]_D^{20} = +52.5$ , por lo que el hidrolizado tiene finalmente un poder levorrotatorio (-20) ya que la inversión va acompañada de un cambio neto de rotación óptica, de dextro a levo, en cuanto se ha producido la mezcla equimolecular de glucosa y fructosa. Este fenómeno recibe el nombre de inversión y la mezcla resultante de los dos componentes se denomina azúcar invertido, en virtud del hecho de que la rotación óptica de signo positivo de la sacarosa resulta invertida de signo en la mezcla.



Debido al mayor poder edulcorante de la fructosa, el azúcar invertido es más dulce que la sacarosa, propiedad que se aprovecha en la manufactura de los productos de la industria de la confitería y similares. Cuando la sacarosa se emplea en la preparación de alimentos ácidos puede existir un cierto grado de inversión que aumenta la dulzura del producto final (Coca-Cola, 1995).

Los jugos de caña recién extraídos contienen gran cantidad de microorganismos que provienen de la corteza de la caña, de las hojas y del polvo adherido a ellas, así como de otras fuentes extrañas. Estos jugos poseen en un grado considerable una acción germicida y durante varias horas

---

después de su extracción el número de microorganismos va en descenso. En las cañas dañadas por muy bajas temperaturas o por fuegos, esta acción protectora se ha perdido y por esta razón la deterioración del jugo de esas cañas, progresa con rapidez.

## **1.2 PROBLEMÁTICA DEL SECTOR AZUCARERO EN MÉXICO**

México produce más de 40 millones de toneladas anuales de caña, de las cuales se obtienen aproximadamente 4 millones de toneladas de azúcar, 15 millones de toneladas de mieles finales o melazas inercializables, casi 13 millones de toneladas de bagazo de caña (del cual 80% se aprovecha como combustible en los propios ingenios para producir vapor de agua usado en el proceso de concentración y cristalización del jugo y miel, respectivamente y para generar la electricidad usada en el propio ingenio y el 20% restante se usa para producir papel) y de la fermentación de parte de las mieles inercializables se obtienen 250 millones de litros de alcohol.

Esto significa que la población económicamente activa dedicada a este rubro agroindustrial es muy importante, así como la población que indirectamente depende de ella (proveedores, comercializadores, consumidores, etc).

En el proceso de elaboración del azúcar se han observado pérdidas considerables de sacarosa, debido a las reacciones de inversión y de contaminación microbiana por lo cual es importante determinar cuales son los parámetros y puntos críticos durante el proceso para disminuir estos problemas. También se ha constatado la presencia de sustancias potencialmente tóxicas, como metales y metaloides (azufre, calcio, hierro, cobre, plomo y arsénico) que provienen, tanto del deterioro de los propios equipos, como de las sustancias adicionadas en las diferentes operaciones unitarias del proceso de elaboración (Duran-de-Bazua, 1994).

## **1.3 CALIDAD TOTAL EN LA INDUSTRIA Y SU APLICACIÓN A LA INDUSTRIA AZUCARERA**

El control de calidad se define como la acción de vigilar la calidad de un material, cuidando que sus características se encuentren dentro de los parámetros de medición previamente establecidos para el caso.

La calidad debe estar definida con toda precisión. Así, el control de calidad se efectúa considerando algunas características medibles, de modo que se pueda determinar si el material cumple con las especificaciones establecidas.

El control de calidad de un material se realiza en tres fases.

- 1a. Antes del proceso de elaboración
- 2a. Durante el proceso de elaboración
- 3a. Después de la elaboración (producto terminado)

El control químico de una fábrica o de un proceso se fundamenta en la habilidad que despliegue el laboratorio de control para suministrar un cuadro claro y objetivo de las condiciones que operan en el proceso en un momento dado. El laboratorio extrae la información tomando muestras representativas de cada uno de los materiales que entran al proceso. La selección de una muestra verdaderamente representativa es en todo sentido tan importante como la técnica más esmerada que se ponga en el análisis de ésta. Todo el esfuerzo que se haga para realizar un análisis

---

con el mayor cuidado y habilidad es trabajo perdido si la muestra que se examina no es ciertamente el promedio de la enorme masa que supuestamente representa.

La gran mayoría de las operaciones del ingenio son continuas. Por tanto, los métodos de recolección de muestras deben, cuando esto sea factible, ser continuos. Debido a que la muestra extraída en un momento determinado solamente puede representar al material que pasa dentro del proceso en ese momento en particular y, en vista de que la calidad del material cambia rápida y ampliamente, las muestras pequeñas que se recogen a intervalos frecuentes y formen muestras compuestas para análisis periódicos, habrán de dar indicación mucho más exacta de la calidad del material, de lo que podría hacerlo una muestra única de mayor tamaño extraída de una sola vez u otras más pequeñas tomadas irregularmente a intervalos desiguales y sin observar la frecuencia debida. Todas las muestras de jugo o guarapo de caña deben conservarse con acetato básico de plomo en polvo en caso de que se vayan a hacer determinaciones de sacarosa o de azúcares reductores por el método tradicional (Castillo, 1996). Si a estas muestras se les va a determinar el Brix, deben conservarse en una solución alcohólica saturada de bicloruro de mercurio. Las muestras de meladura y mieles no requieren de sustancias preservadoras a menos que se deban guardar varios días.

Para el caso del proceso de elaboración de azúcar, se tratara de tomar muestras que sean verdaderamente representativas. En la siguiente tabla se describen casos y procedimientos de toma de muestra para que esta sea representativa (Químicos de Banco, 1984).

<b>CASOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>
1. Caída del líquido en cascada	Tomar muestra en ambos extremos y en el centro de la cascada.
2. Caída periódica de algun producto.	Tomar una porción al inicio de la descarga, otra a la mitad y otra al final.
3. Tanques	Procurar tomar una porción del centro, las demas de la periferia y a distintos niveles

Considerando globalmente el proceso de clarificación de azúcar, tanto estandar como refinada (que se estudiará con mayor detalle en el capítulo 2), pueden verse varios puntos clave para el muestreo (Fig. 1). Estos serian:

#### **MUESTREO DE LA CAÑA**

La caña es uno de los materiales más difíciles de muestrear correctamente y presenta uno de los principales y más complejos problemas de muestreo que existen. Se recomienda tomar las cañas al azar y en tal proporción que al completarse la muestra esta consista de 25 a 50 tallos. Cuando los

cargamentos son de gran tamaño pueden ser correcta y convenientemente evaluados recogiendo y analizando una muestra continua del jugo primario. Esto parece ser trivial pero cuando se procesan entre 3000 y 20000 toneladas de caña cada 24 horas, resulta altamente impráctico. Por ello, este es un campo abierto a la investigación en química de alimentos.

#### **MUESTREO DE JUGOS**

Normalmente se recogen dos muestras de jugo solamente en el tren de molinos (el de primera y el de última presión). A efecto de control químico las muestras de jugo de primera presión (conocido como guarapo) se toman a intervalos de una hora, se toma con ellas una muestra compuesta de seis horas y se practica el análisis. La muestra de jugo de caña de última presión se toma de la corriente que cae de la maza bagacera del último molino del tandem. El jugo diluido de los molinos se muestra en los tanques de bascula de este jugo o en los que se agrega la lechada de cal. Se logra la muestra representativa formando una muestra compuesta en la que entra un volumen fijo de jugo por cada uno de los tanques que se vacían en un período de una hora o por cada uno de los tanques de jugo alcalizado que se llene, si es que no se cuenta con bascula para el guarapo. A efecto de evitar el deterioro de la muestra durante el tiempo de su recolección en la estación de la bascula o en los tanques de alcalización, las vasijas deben conservarse en hielo.

#### **MUESTREO DE LA MIELADURA**

Las muestras se toman generalmente cada vez que se llena el tanque de almacenamiento. Si las condiciones locales no permitiesen lo anterior, pueden recogerse muestras intermitentemente de la corriente conforme sale del evaporador. Se forman muestras compuestas por periodos de 12 a 24 horas. No se requiere de ningún agente preservador durante un tiempo corto.

#### **MUESTREO DE LA MASA COCIDA**

Se toman las muestras preferiblemente cuando el tacho se está descargando. Para evitar contaminación de la muestra con material de la templa anterior que pudiera quedar en el tubo de descarga, no se debe iniciar la toma hasta tanto no se haya descargado una cuarta parte de la masa cocida.

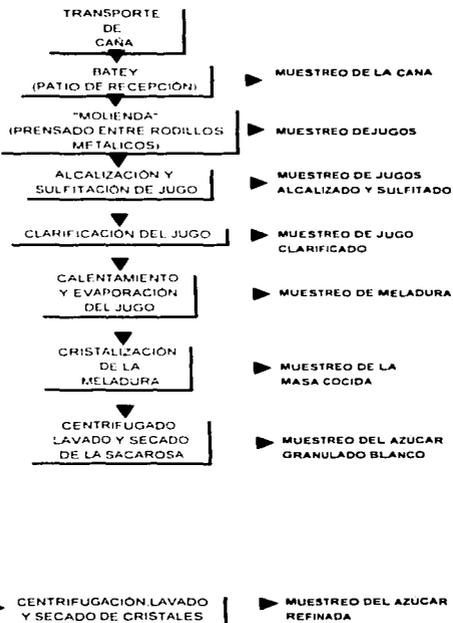
#### **MUESTREO DEL AZÚCAR**

Estas muestras se recogen en las basculas correspondientes u otro punto en que se envasa el azúcar comercial. Al operario de esta estación se le debe proveer de una cucharilla de mango largo con la que pueda extraer una pequeña muestra de cada bolsa o saco. Debe muestrearse cada saco con intervalos de 3 a 6 horas.

## AZÚCAR REFINADA



## AZÚCAR ESTÁNDAR



- ▶ MUESTREO DE LA CAÑA
- ▶ MUESTREO DE JUGOS
- ▶ MUESTREO DE JUGOS ALCALIZADO Y SULFITADO
- ▶ MUESTREO DE JUGO CLARIFICADO
- ▶ MUESTREO DE MELADURA
- ▶ MUESTREO DE LA MASA COCIDA
- ▶ MUESTREO DEL AZÚCAR GRANULADO BLANCO
- ▶ MUESTREO DEL AZÚCAR REFINADA

Fig 1 Puntos clave para el muestreo en el proceso de elaboración de azúcar refinada y estándar

La correcta toma de muestra y el manejo que se le da durante los análisis, tiene gran importancia en el control del proceso de elaboración. La toma y entrega de la muestra debe efectuarse de una manera rápida y eficiente, con el objeto de evitar durante el trayecto pérdida de sacarosa por inversión. Por los resultados de los análisis, los encargados de producción deciden, si es necesario o no, hacer alguna modificación en las operaciones del proceso.

En conclusión, tanto la toma de muestras como las pruebas efectuadas a estas, tienen gran importancia en las pérdidas o ganancias económicas y de calidad.

A continuación se listan, en forma tabular, los procedimientos para el muestreo en un ingenio azucarero (Tabla 1).

<b>MUESTRAS</b>	<b>LUGAR DE MUESTREO</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>
<b>JUGO PRIMARIO</b>	<b>PRIMER MOLINO</b>	La muestra se toma en un recipiente pasándolo a lo largo del 1er. molino
<b>JUGO RESIDUAL</b>	<b>EL ÚLTIMO MOLINO</b>	En un recipiente pasándolo a lo largo del último molino
<b>JUGO MEZCLADO</b>	<b>BASCULA DE PESADO DE GUARAPO</b>	Se deposita en un recipiente a medida que las básculas descargan un poco al inicio, otro a la mitad y otro al final
<b>JUGO CLARIFICADO</b>	<b>PURGA DE LA BOMBA DE JUGO CLARO</b>	Se abre la válvula de la purga de la bomba de jugo claro y se toma la muestra.
<b>CACHAZA</b>	<b>FILTROS DE CACHAZA</b>	Con una espátula se introduce en un recipiente
<b>MELADURA</b>	<b>PURGA DE LA BOMBA DE MELADURA O TANQUES RECEPTOS DE ÉSTA</b>	Se abre la válvula de purga de la bomba de meladura y se recolecta la muestra. En los tanques, tomar un poco al centro y otro a la periferia procurando introducir al máximo el recipiente
<b>MASA COCIDA</b>	<b>CANAL DE DESCARGA DE LOS TACHOS</b>	En un recipiente, se toma un poco al inicio de la descarga, otro a la mitad y otro cuando va terminando
<b>PURGA O MIEL</b>	<b>TANQUES DE ALMACEN</b>	Se toma introduciendo un recipiente en el tanque de purga o miel

Tabla 1 Muestras, lugares de muestreo y procedimientos. Descripción de una parte del total de muestras que se manejan en un ingenio azucarero (Químicos de Bancos, 1984)

## 2.1 METODOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR EN MÉXICO A PARTIR DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar es una gramínea gigante perenne, del género *Saccharum* en la denominación linneana, que crece en los espacios tropicales y subtropicales con temperaturas promedio de entre 20° y 30°C. Su tallo está formado por canutos o cañutos separados por nudos de donde nacen las yemas, bases de la reproducción asexual, en un número de 20 a 80, dependiendo de la altura que alcance, que oscila entre los dos metros y medio hasta los ocho, en forma excepcional. Presenta un follaje abundante, de hojas dispuestos en forma alternada de aproximadamente un metro de largo, la coloración pasa del amarillo al verde intenso, rojo púrpura o violeta, según las variedades. El diámetro del tallo es de tres y medio a cinco centímetros, y está recubierto de tejido duro bañado de una sustancia llamada cerosina, que le proporciona su brillo tan característico. En los intersticios de su materia fibrosa interna se alojan celdillas microscópicas que contienen la sacarosa, fundamento de toda la actividad que gira en torno a la planta. La proporción de sacarosa es bastante variable, está entre 7 a 20% en sus cantidades extremas, completándose la planta con un 69 a 75% de agua, 8 a 16% de fibra, 3 a 8% de ceniza, 1 a 5% de sólidos orgánicos no considerados en los azúcares y hasta 2% de azúcares reductores, proporciones fluctuantes de acuerdo a las variedades y condiciones específicas de crecimiento, maduración y obviamente, de la cosecha (Campos y Ríos, 1995).



Fig. 2. Proporciones promedio de los principales componentes presentes en la caña de azúcar, las cuales fluctúan de acuerdo a las variedades y condiciones específicas de crecimiento, maduración y cosecha (Campos y Ríos, 1995)

El ciclo vital de la planta también muestra un arco temporal muy amplio relacionado esencialmente a las distintas combinaciones promedio de humedad y temperatura que se presenten. La caña florece luego de estar completamente madura por lo que el corte para uso industrial se produce antes de la floración y la semilla generalmente aborta. La reproducción sexual se logra por autopolinización o polinización cruzada, siendo una notable característica botánica la enorme variación de descendencia con las más heterogéneas combinaciones de caracteres, que luego pueden fijarse al reproducirse. La planta se produce también asexualmente, por estacas, que es el sistema practicado en la agricultura. Esta inestabilidad genética ha sido aprovechada para la más amplia

experimentación en variedades y obtención de híbridos adecuados a las condiciones concretas de las plantaciones, que son las que en la actualidad se cultivan en forma generalizada.

La caña de azúcar, se puede considerar formada principalmente por dos componentes: fibra, que es la parte leñosa que le da forma a la jugo que es el contenido azucarado dentro de la misma.

A su vez el jugo está compuesto por agua, sacarosa e impurezas minerales y orgánicas; el proceso industrial, consiste en tratar de separar en la forma más económica y total posible todos los componentes, fibra, agua, sacarosa e impurezas (Spencer, 1945)

## **2.1 PRODUCCIÓN DE AZÚCAR ESTÁNDAR**

### **RECEPCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR**

La caña de azúcar se recibe en el patio de recepción (conocido como "batey del ingenio"), de camiones de retilas, gondolas de ferrocarril u otro medio de transportación, donde es descargada para su almacenamiento o molienda, con grúas durante el tiempo de operación de las fábricas, lapso conocido como "zafra" (que en México se realiza de noviembre a mayo).

Estas grúas colocan la caña en el batey o directamente en las mesas lavadoras limpiadoras alimentadoras, las cuales tienen una inclinación en contra de los transportadores de duelas, en donde se aplica agua de lavado, cuando esta operación existe, con el fin de eliminar la tierra de la caña que se le adhiere en los campos y otras impurezas. Las mesas alimentan un transportador de banda formado por duelas de acero remachadas sobre cadenas que llevan la caña, pasándola a través de cuchillas picadoras hasta el equipo de molienda. Las cuchillas están formadas por machetes montados sobre un eje que gira cuando la caña entra para dejar los tallos en pequeños pedazos, lo que es la primera preparación para facilitar su molienda. La segunda preparación se efectúa en una desfibrador que consiste en varios juegos de martillos, montados sobre un eje giratorio que golpean los trozos sobre un diente para separarlos en astillas y dejar la caña en condiciones para su molienda.

### **EXTRACCIÓN DEL JUGO Y SEPARACIÓN DE LA FIBRA**

La extracción mecánica del jugo, constituye la primera etapa del procesamiento del azúcar crudo. En los pasos previos de preparación para la molienda se desmenuza la caña pero no se extrae el jugo (o se busca que se pierda lo menos posible). El molino o "trapiche" consta de unidades múltiples que utilizan combinaciones de tres y ahora de cuatro rodillos, a través de los cuales pasa sucesivamente la caña siendo exprimida. El objetivo en esta parte del proceso es separar el jugo de la fibra.

La desfibrador descarga las astillas de caña en otro transportador de bandas para llevarla al equipo de molienda, el cual consta de un "tandem" formado por cinco molinos de tres y ahora de cuatro mazas cada uno, en donde se realiza la separación del jugo de la fibra. Las tres mazas de cada molino giran en el mismo sentido, la maza superior está unida por medio de coples y una flecha rectangular al sistema de engranes y reductores de velocidad a turbinas de vapor para su movimiento. Esa maza superior comunica el movimiento a las mazas inferiores por medio de un sistema de coronas (las mazas inferiores son fijas y la maza superior es flotante) y un sistema de presión hidráulica la obliga a permanecer con una abertura sobre las mazas inferiores que permite el paso de la caña y, al mismo tiempo, por la presión ejercida, separa el jugo (que cae a un canal) de la fibra, que

sigue su paso hasta un conductor que la llevará a las calderas para su combustión (o a sistemas separadores de fibra para el reaprovechamiento de la fibra larga en la industria papelera). Actualmente, a muchos molinos se les ha instalado una cuarta maza que hace más eficiente la separación del jugo de la fibra.

Al residuo fibroso a partir del primer molino, como ya se mencionó, se le llama bagazo y contiene, además de fibra, parte del jugo ocluido entre sus partículas. Para ayudar a la extracción de ese jugo (conocido en la industria como "guarapo"), se aplican aspersiones de agua caliente o guarapo diluido sobre la capa de bagazo según sale de cada unidad de molienda. Esta extracción contribuye a recuperar por lixiviación el azúcar remanente. El proceso, conocido como "imbibición" (o, con menor frecuencia, saturación o maceración), consiste básicamente en aplicar agua (de preferencia caliente) al bagazo en la salida del penúltimo molino y el jugo que extrae el último molino, en consecuencia, está sumamente diluido. Este se agrega al bagazo que sale del antepenúltimo molino y así sucesivamente, hasta la salida del último molino. En las prácticas de molienda más eficientes, más de 95% del azúcar contenido en la caña pasa al guarapo. A este porcentaje de extracción se le conoce como la "extracción de sacarosa" (Pol de la extracción) o, más sencillamente, la extracción.

El bagazo final que sale del último molino contiene el azúcar no extraída, fibra leñosa y de un 45 a un 55% de agua. En algunas fabricas, todo el bagazo de fibra larga es vendido a plantas productoras de papel y el bagazo de fibra corta (bagacillo o médula) es quemado en calderas y utilizado en la fabrica en labores de limpieza, ya que este material absorbe grandes cantidades de aceite.

Solamente el jugo de los 2 primeros molinos se envía al siguiente proceso. El jugo arrastra partículas finas de bagazo por lo que es necesario erector un colado en un colador fino de mallas, con un sistema de raspadores que pasan sobre el colador montados sobre cadenas móviles, para llevar este bagazo fino o bagacillo nuevamente al sistema de molinos, dejándolo caer sobre el colchon de bagazo (también puede usarse como "ayuda-filtro" en la separación de los lodos de los clarificadores de jugo en filtros rotatorios al vacío, conocidos como filtros de "cachaza").

#### DEPURACION DE JUGO (CLARIFICACION)

El jugo color verde oscuro procedente del "trapiche" o molinos es ácido y turbio. El proceso de clarificación (o defecación), está diseñado para remover las impurezas, tanto solubles como insolubles y las que pueden flocular por la neutralización de los ácidos y por el efecto de la temperatura; esto es, la neutralización por la adición de óxido (cal viva) o hidróxido de calcio (cal apagada) formando sales insolubles de calcio, en su mayor parte, fosfato de calcio. El calentamiento del guarapo alcalinizado hasta el punto de ebullición y ligeramente arriba coagula la albúmina y algunas grasas, ceras y gomas y el precipitado formado atrapa los sólidos en suspensión al igual que las partículas más finas. Los lodos se separan del jugo clarificado por sedimentación.

En algunos ingenios se utiliza el sistema de sulfitación para lograr la inactivación de las enzimas que promueven el encañecimiento, pardeamiento u oscurecimiento enzimático del jugo. Este sistema consiste de un horno para quemar azufre en presencia de aire y generar SO<sub>2</sub>. El óxido de azufre resultante se pone en contacto a contracorriente con el jugo o guarapo en una torre absorbidora. El SO<sub>2</sub> inhibe las reacciones de oscurecimiento enzimático que, de manera natural, tienden a realizarse.

---

Estas dos operaciones (sulfitación y alcalinización) se realizan como sigue: El jugo colado de los molinos llega por bombeo a la torre de sulfitación y descarga a un par de tanques conectados a dos dinamómetros. Una vez pesado el jugo en los tanques, descargan automáticamente a un tanque de alcalinización en donde se agrega una lechada de cal controlada por un medidor de pH.

El jugo alcalinizado se bombea y pasa a través de intercambiadores de calor a tanques flash to de evaporación instantánea a 105°C de temperatura. Estos tanques separan el exceso de vapor producido por el sobrecalentamiento del jugo y el jugo pre-evaporado pasa a clarificadores continuos formados por tanques cilíndricos, cerrados, con 4 compartimentos individuales, con fondos inclinados y con un sistema de barrido del fondo para los lodos depositados en estos. Los lodos que se producen son mas pesados que el líquido y se asientan en el fondo y el líquido sobrenadante en la parte superior se separa de cada compartimento como jugo clarificado caliente.

La alimentación del jugo "alcalizado" caliente, se efectúa a través de un tubo central con aberturas; en cada compartimento de este tubo central están unidas las espas barredoras de lodos que, por su forma y posición, arrastran los lodos hacia una bota central de donde son extraídos por bombas de sopapos. Estos lodos se envían a un mezclador donde se mezclan con el bagacillo, que se ha colado a la salida de los molinos, para pasar a filtros rotatorios al vacío, en donde el bagacillo sirve como soporte y medio filtrante. La torta formada se lava con agua para separar la mayor parte posible de azúcar de los lodos y esa agua azucarada del lavado de la torta se retorna al tanque de alcalinización o "alcalización" como se le llama en el "ingenio". La torta ya lavada se descarga a tolvas. Este producto se llama cachaza "seca" aunque su contenido de agua es todavía bastante considerable).

El jugo clarificado transparente y de un color pardusco, se envía a un tanque de proceso de donde se bombea a la sección de concentración y cristalización (conocida como área de "elaboración").

### EVAPORACIÓN DEL JUGO

El jugo ya clarificado, tiene mas o menos la misma composición que el jugo crudo (excepto las impurezas que se hayan arrastrado por el tratamiento con azufre y o cal), contiene aproximadamente el 85% de agua. La evaporación consiste en separar la mayor parte posible del agua contenida en el jugo para obtener un concentrado al que se le llama meladura.

Esta operación unitaria se efectúa a través de un sistema de múltiple efecto (que, de hecho, fue una innovación en su momento que represento ahorros considerables de generación de vapor), el cual consiste en una sucesión de cuerpos de ebullición al vacío dispuestos en serie, de manera que cada cuerpo subsiguiente tiene un grado mas alto de vacío (con el último cuerpo trabajando a presiones de 60 a 65 cm de mercurio). La operación se realiza al vacío con objeto de que el jugo y la meladura generada hiervan a temperaturas cada vez mas bajas (reduciendo los problemas asociados con la "caramelización" o polimerización de los azúcares y el aumento de la viscosidad del material).

Los vapores de un cuerpo, al estar a mayor temperatura que el líquido del cuerpo subsiguiente, pueden usarse para hacerlo hervir. De esta manera, el agua del jugo contenido en el siguiente cuerpo se evapora y así sucesivamente hasta el último cuerpo, logrando la eliminación de entre un 70 y un 80% del agua contenida en el jugo que entró al sistema con la misma cantidad inicial de vapor de calderas.

El agua evaporada de cada uno de los primeros cuerpos y condensada en el siguiente, se emplea para la imbibición, la disolución del azúcar cruda para su refinación, el lavado de las

---

centrifugas, la dilución de mieles en la planta alcoholera, etc.. Esto hace que se reduzca el consumo de agua en el ingenio.

El vapor producido en el último cuerpo, en el caso de todos los ingenios mexicanos, va a un condensador de contacto directo con agua fría que cae a través de un tubo a un tanque receptor. Este sistema, conocido como condensador barométrico o de "pierna barométrica", ayuda a la generación de vacío en el evaporador de múltiple efecto. El condensador tiene una extracción de gases incondensables para mantener el vacío en el último cuerpo que se efectúa con bombas o ejectores de vapor.

Actualmente, desde el punto de vista ecológico, este sistema de condensación del vapor del último efecto o cuerpo del sistema de evaporación presenta varias desventajas. Por su propia temperatura y el contenido de azúcares (debidos a los arrastres de gotas de miel en la parte superior del cuerpo de evaporación o "domo"), estos efluentes no deben ser vertidos a los cuerpos receptores sin tratamiento, lo que representa costos adicionales de operación.

Las cantidades de agua caliente y azucarada generadas, que son bastante grandes para hacer el vacío requerido, deben enviarse a sistemas de enfriamiento. Cuando estos son los tradicionales torres o albercas se promueve la proliferación de bacterias, algas y mohos que pueden taponar los aspersores de las albercas o las tabillas de enfriamiento de las torres (tanto por la fuente de carbono de las gotas de miel, como por la temperatura a la que está el agua y la propia aereación que le proporciona el sistema de enfriamiento).

No se sabe de estudios comparativos del costo de enfriamiento con tratamiento para eliminar las bacterias, algas y mohos versus la sustitución de estos condensadores barométricos por sistemas "cerrados" de condensación (sistemas de enfriamiento indirecto de acero inoxidable de alta calidad con salmueras entradas en "refrigeradores" solares) y el uso de bombas de vacío para mantener el vacío requerido en el tren de evaporación. Un estudio costo-beneficio sería muy útil para determinar la bondad de ambos sistemas. Obviamente, el condensado producido (llamado "agua vegetal") en este posible sistema "cerrado" es un volumen mucho menor que el del sistema de condensación barométrica y puede usarse como los otros condensados de los cuerpos anteriores en las operaciones de imbibición, lavado de torta de bagazo o de centrifugas, dilución de mieles, etc, obteniéndose un ahorro de agua considerable y, muy probablemente, cerrando el "círculo" de uso de agua en el ingenio, como ocurre en los "ingenios" europeos que producen azúcar a partir de remolacha. La meladura con aproximadamente un 65% de sólidos y un 35% de agua, se envía a tanques de almacenamiento (retención o tanquería) para el proceso de cristalización.

### CRISTALIZACIÓN

La cristalización consiste en continuar la concentración de la meladura, para lograr la separación de la sacarosa de las impurezas. Se lleva a cabo en evaporadores de simple efecto, conocidos como "tachos". Cada uno de ellos, dotado con condensadores barométricos individuales hace que el agua de cada condensador caiga también a un tanque. De ahí, estos condensados se mezclan con el agua condensada del último efecto del evaporador de múltiple efecto y son enviados, a un sistema de enfriamiento, de donde la mayor parte se recircula para volver a usarla para los mismos condensadores, siendo repuesta el agua perdida durante el enfriamiento con agua de suministro. Al final de la zafra, esta agua es vertida a un cuerpo receptor sin mayor tratamiento.

En esta operación discontinua, la sacarosa se separa por cristalización en forma sucesiva. En el primer paso, se adicionan cristales "semilla" a la meladura que viene del último cuerpo del

evaporador, haciendo que esos cristales aumenten de tamaño conforme la solución se sobresatura al evaporarse el excedente de agua. A la mezcla de cristales y miel resultante se le llama magma o "masa cocida" (o *masacote*, por las palabras equivalentes en francés). Los cristales van aumentando de volumen hasta "llenar el tacho" a una altura adecuada, momento en el cual se suspende el trabajo del aparato cortando la entrada de vapor, el flujo de agua al condensador y la extracción de gases incondensables. Se descarga el contenido del aparato abriendo la válvula del fondo y el magma cae a un recipiente horizontal abierto con movimientos de espas longitudinales que se llama mezclador. La descarga de cada "tacho" se conoce como "templá".

La función de estos evaporadores de simple efecto es reducir las pérdidas de sacarosa en las mieles o melazas. En la práctica, el agotamiento de las mieles comprende cuatro pasos: (1) evaporar una masa cocida a la consistencia máxima posible en un "tacho" al vacío; (2) entrar la masa cocida en el cristizador para que cristalice la sacarosa que permanece en solución y es recuperable; (3) recalentar la masa cocida fría hasta su temperatura de saturación para reducir la viscosidad y (4) separar por centrifugación los cristales de las mieles agotadas.

Las aguas madres en las "masas cocidas" finales de bata pureza no pueden ser agotadas de manera adecuada en los tachos, principalmente a causa de la rápida disminución de la velocidad de cristalización y las altas viscosidades de las aguas madres al aproximarse al estado de agotamiento. Por consecuencia, después de que la "masa cocida" se ha calentado hasta la consistencia máxima posible del tacho, es descargada al cristizador donde prosigue la cristalización con agitación hasta que las aguas madres se convierten en una miel considerablemente agotada.

El mezclador sirve como recipiente para enviar por "cargas" el magma a las centrifugas que separan el agua madre (miel) de los cristales de azúcar. La miel de esta primera "templá" de meladura contiene aún una cantidad apreciable de azúcar, por lo que, con esta miel, vuelve a efectuarse el mismo procedimiento anterior, haciendo una "templá" de segunda. Se repite también la operación de centrifugación y con la miel obtenida se hace una "templá" de tercera o final.

La "masa cocida" de esta última templá, se agota por enfriamiento, lo que hace subir la sobresaturación de la miel, depositándola en recipientes, con movimientos con espas para enviarlas después a otros recipientes pero con placas huecas para recircular agua fría y lograr más enfriamiento y, por lo tanto, el agotamiento de la miel de la "masa cocida".

Posteriormente, se pasa a un equipo semejante donde se recircula por las placas agua caliente para hacer más fluida la "masa" y separar más fácilmente la miel de los cristales. A estos recipientes se les llama cristalizadores.

Para la "templá" final, en el "tacho" se hace una cristalización espontánea por concentración de la miel, que sirve para generar los cristales "semilla" (conocidos con ingenio como "pie de templá"), para después hacer crecer los cristales con nueva alimentación de miel de los evaporadores de múltiple efecto.

Los cristales de azúcar de esta "templá" son de grano fino y muy impuros, por lo que se mezclan con meladura, miel o lavados, para servir de "pie de templá" a las "templás de segunda". A su vez, el azúcar de segunda se mezcla con agua para servir como "pie de templá" a las "templás de primera". El azúcar de las "templás de primera", es la llamada "azúcar cruda" o estándar, que se disuelve con agua de condensados del evaporador, para enviarla a la refinería para elaborar azúcar refinada o de "primera" o se vende directamente como azúcar estándar (sobre todo si el jugo fue "sulfitado", lo que la hace menos oscura que el azúcar cruda sin sulfitar o "mascabado").

## CENTRIFUGACIÓN

Se efectúa en centrifugas semiautomáticas repartidas en cuatro baterías. La "masa cocida" proveniente del cristalizador se lleva a las centrifugas, cada una de las cuales está formada por un tambor o canasta cilíndrico, el cual tiene paredes laterales perforadas forradas en el interior con tela metálica. El tambor que no permite el paso de los cristales y permite el paso de la miel, gira a velocidades que oscilan entre 1000 y 1800 r.p.m. Los tambores están unidos por su parte inferior a una flecha y esta está suspendida de un motor de velocidades múltiples para que, por la fuerza centrífuga, la masa se pegue a la tela, expulsando la miel y reteniendo los cristales. Como los cristales quedan cubiertos por una ligera capa de miel, se aplica un lavado con agua caliente para separarla. Existe un sistema de separación de la miel y las "aguas" de los lavados, las cuales son recicladas separadamente a un tanque donde se bombean a la tanqueta de "tachos" para su reprocesamiento.

Para la descarga del azúcar, entra un sistema de raspado que descarga y limpia la tela metálica, operado en forma semiautomática, que hace caer el azúcar a un transportador helicoidal para llevarlo al sistema de refinación o, en el caso del azúcar estándar, al secado y envasado.

Tanto la variación de la velocidad del motor como el lavado, cambio de mieles, paro de motor y freno de centrifugas, están programados automáticamente. Las centrifugas de segunda son semejantes a las de primera excepto que no tienen el paso correspondiente al lavado de los cristales.

Para resumir, la primera ebullición del jarabe crudo produce azúcar cruda y "miel A", mismas que se regresan al "tacho" al vacío para que vuelvan a hervir sobre un "pie" de "masa cocida" de primer grado y se forme una segunda "masa cocida B", la que a su vez produce una segunda carga de cristales. El azúcar B se mezcla con el azúcar A para constituir la producción comercial del ingenio. La miel B, o de segunda, tiene una pureza mucho más baja y a su vez vuelve a hervir sobre un "pie" de cristales de jarabe para formar una "masa cocida" de grado bajo o C. Estas "masas cocidas" de bajo grado permanecen varios días en los cristalizadores donde se entran y mantienen en movimiento por medio de brazos agitadores. El azúcar C se mezcla con el jarabe y se utiliza como semilla para las "masas cocidas" A y B.

Para la "masa cocida" final o de tercera, se emplean centrifugas continuas que consisten en canastas cónicas montadas sobre un eje que está unido por una transmisión de bandas a un motor vertical. La masa sube por el cono mientras la alimentación cae al centro empujándola y, conforme avanza y se va limpiando la miel, el azúcar desborda por la parte superior del cono, sobre un recipiente cilíndrico estatico que, por una doble pared, recibe mas al centro la miel que se ha desalojado. Ambas caen hacia el fondo por separado y la miel, llamada final o melaza, se envía a un tanque para, de él, ser bombeada a los tanques de almacenamiento de melaza.

Estas mieles finales o melazas, que son un material denso y viscoso, contienen aproximadamente una tercera parte de sacarosa, una quinta parte de azúcares reductores y el resto de cenizas, compuestos orgánicos varios, conocidos como "no azúcares" y agua. Sirven como base para la alimentación del ganado, la producción de alcohol de caña o etanol industrial, etc.

El azúcar final, cae a un transportador helicoidal que la conduce a un sistema de mezclado, conocido como "Mingler" (por la marca comercial), para preparar un magma que va a ser bombeado a recipientes semejantes a los cristalizadores para ser usada como "pie de temple". El azúcar de segunda se procesa de esta misma forma (Campos y Ríos, 1995).

---

## 2.1.2 PRODUCCIÓN DE AZÚCAR REFINADA

### REFINACIÓN DEL AZÚCAR

Las refinерías se dividen en tres clases: (1) aquellas que producen muchas calidades de azúcar incluyendo especialidades, (2) aquellas que producen azúcar granulado o unas pocas variantes, incluyendo jarabes y (3) aquellas que producen únicamente azúcar refinada. Las primeras dos clases incluyen a la mayoría de las refinerías que usan carbon de huesos o carbon activado granulado como los principales decolorantes. Las refinerías de jarabes se subdividen a su vez solo en dos tipos: aquellas que usan sistemas de afinación, clarificación, casa de carbon e instalaciones de recuperación y aquellas que simplemente funden el crudo entero. Estas últimas son de menor tamaño y llevan a cabo la decoloración mediante carbonos vegetales activados y resinas decolorantes y la remoción de cenizas es por resinas. En ambos casos, el azúcar se procesa por el método de disolución y no se usan tachos, excepto en el caso de aquellas que utilizan una planta de lavado y que evaporan los lavados para elaborar un fundido. La clasificación anterior es poco usada ya que muchos ingenieros no siguen exactamente estas líneas y usan muchas combinaciones de decolorantes y resinas eliminadoras de cenizas. Las refinerías convencionales que producen jarabes disuelven en agua caliente o "funden" las "templás" ya granuladas (con posterior tratamiento en filtros-prensa y carbon vegetal) o bien los producen directamente de los heores filtrados a través de carbon y resinas removedoras de cenizas. Las refinerías con casas de carbon grandes pueden usar el último sistema, lo que disminuye el trabajo de los "tachos". Aquellas con mucha capacidad de "tachos" producen, por evaporación, pramo o cristal para disolverlo (o "fundirlo"), siguiendo la "jerga azucarera" y tratarlo después con carbonos y resinas. No obstante, en la actualidad, la gran mayoría de las refinerías producen jarabes "fundidos" granulado.

El término azúcar crudo es el nombre de productos comerciales como disoluciones de sacarosa y soluciones que contienen diversas proporciones de azúcar invertido. La composición varía, desde prácticamente una solución de sacarosa pura (a una saturación de 67% de sólidos) hasta el "jarabe de inversión total", que en realidad contiene de 4 a 6% de sacarosa no invertida con base en los sólidos. El jarabe de inversión total se vende generalmente con 70 a 72% de sólidos, pero, en condiciones especiales que permitan manejarlo y almacenarlo a mayores temperaturas, es posible venderlo con 75% de sólidos. El jarabe más importante es el de "inversión media", en el cual el 50% de la sacarosa se ha invertido y se vende con un 76 a un 78% de sólidos.

En refinación, el término *licor* se refiere a una solución muy concentrada de azúcar, a la que no se le ha eliminado azúcar por cristalización desde su último tratamiento o "filtración" con carbon animal. *Jarabe* es una solución muy concentrada de la cual se acaba de eliminar azúcar por cristalización. De este modo, la palabra *jarabe* equivale a la de *mielés finas* en la fábrica de crudo, donde *jarabe* significa una solución concentrada de azúcar que no ha sido sometida a cristalización, aunque, el nombre más frecuente es la palabra "*mezcladura*" en la llamada "fábrica de crudo". *Agua dulce* son los lavados que contienen suficiente azúcar para que su recuperación sea costable. Estrictamente hablando, *magma* es una mezcla artificial de cristales y jarabe, pero el término se usa ocasionalmente como sinónimo de "*masa cocida*", el cual tiene el mismo significado en la refinería y en la fábrica de crudo. En inglés existe otro sinónimo, la palabra *fullmass* (del alemán *fulmass*) que también se usa por "masa cocida" tanto en fábricas de crudo de remolacha como en las refinerías de azúcar de caña. El término *fundición* quiere decir disolución de azúcar cruda en agua caliente y el "fundido" es la materia prima de la refinería (Oliver Lyle, 1950).

## CLARIFICACIÓN Y DECOLORACIÓN

Abarca desde la disolución del azúcar cruda hasta la entrega de un licor limpio y decolorado para su cristalización.

El azúcar cruda se disuelve en dos tanques cilíndricos en serie con agitación mecánica en donde, con agua caliente de condensadores o agua limpia calentada, se efectúa la disolución produciendo lo que se conoce como azúcar fundido. El azúcar fundido, se bombea a través de un colador estacionario que separa partículas gruesas, a los tanques "de primer tratamiento", cilíndricos de fondo cónico con movimiento mecánico, en donde se agrega ácido fosforoso y lechada de cal hasta neutralización con objeto de flocular algunas partículas colorantes y sólidos en suspensión. Se descarga a un tanque de proceso para ser bombeado a clarificadores. En este tanque se le agrega floculante para lograr una mejor separación de líquido e impurezas, se forman flocos que se elevan a la superficie del líquido por liberación del aire y, por medio de este sistema de acción, se sacan del clarificador, mientras que por el sistema de espas rotativas el licor clarificado se extrae por el fondo del clarificador.

El líquido antes de entrar al clarificador, pasa por un intercambiador de calor, para elevar su temperatura y facilitar la liberación del aire en pequeñas burbujas. El licor clarificado, se extrae por el fondo del clarificador, y se envía a una segunda clarificación, pasando por otro intercambiador de calor y un sistema de bombas aeradoras a clarificadores abiertos de forma semitrapezoidal en donde terminan de separarse las impurezas como espuma. Esta espuma se envía al tanque de alcalinización para ser reprocesada y recuperar el azúcar arrastrada.

El licor clarificado se envía a tanques de segundo tratamiento, semejantes a los del primer tratamiento pero con un sistema de calentamiento para conservar una temperatura de 90 °C, para facilitar la filtración. En esos tanques, se agrega carbon activado en polvo para absorber los compuestos coloridos y un filtro ayuda (diáclite) antes de enviar a filtración o se envía a torres empacadas con carbon activado y luego a los filtros.

Los filtros empleados constan de un grupo de placas, formadas por tela desplegada y forrada con tela de algodón para detener las impurezas. El filtrado pasa hacia la parte superior de la placa, de donde sale para ser enviado a tanques de almacenamiento. Los filtros son cerrados herméticamente y trabajan hasta con 4 kg/cm<sup>2</sup> de presión. Su operación es la siguiente: Una vez limpio y cerrado el filtro, se le forma una capa de filtro ayuda, por suspensión en agua o licor, que se bombea al filtro, recirculando hasta que se haya formado una precapa, para evitar el paso del carbon. Se inicia el paso del licor tratado, la presión de trabajo del filtro va aumentando conforme va filtrando y aumentando el grueso de la torta. Cuando la presión llega a un máximo de 3.5 a 4 kg/cm<sup>2</sup> y la velocidad del flujo del licor disminuye, termina el ciclo de filtración. Se descarga el contenido del filtro quedando la torta de carbon y filtro ayuda pegada a la tela, se llena nuevamente, esta vez con agua para desendulzar parte de la torta y cuando las salidas del filtro indican que el agua dulce ha bajado a menos de 2% de azúcar, se interrumpe este lavado, se vacía el filtro y se abre para lavarlo con agua a presión por medio de toberas del interior del filtro, para desprender la torta, se termina de desprender lavando con mangueras de presión y el filtro queda listo para su siguiente ciclo. La descarga del filtro se bombea nuevamente a algún otro filtro que está trabajando. El agua de lavado y la torta se envían a un tanque de disolución cilíndrico vertical con agitación mecánica y se bombea la suspensión al tanque de alcalización (E. W. Zerban, 1947).

---

## CRISTALIZACIÓN DE REFINADO

El proceso se lleva a cabo también en "tachos" semejantes a los de "crudo". El sistema de "templar" es distinto puesto que se cristaliza por concentración del material alimentado y con el mismo material se continúa hasta el llenado del "tacho".

Se hacen de tres a cuatro "templar". La primera, directamente del licor decolorado, se separa igualmente por centrifugación. Las mieles de refinado se llaman "siropes" o "mieles de refino" y, en este caso, no hay separación de siropes y lavados. Con el sirope de la "templar" de primera se hace una "templar" de segunda, con el sirope de segunda se hace una "templar" de tercera y si el color del sirope de tercera lo permite, se hace una "templar" de cuarta.

Los siropes de tercera o de cuarta según sea el caso, se retornan a la tanquería de crudo, para emplearse como meladura, y se les llama mieles residuales de refinado ("run off" en inglés).

Los azúcares producidos por las diferentes "templar", se separan posteriormente según la "templar" de que proceden, los siropes se separan en la tanquerías de refinado en diferentes tanques según su clase.

## CENTRIFUGACIÓN DEL REFINADO

Las centrifugas usadas son máquinas iguales a las empleadas para las "templar" de primera y segunda de crudo, con lavado intermedio pero sin separación de mieles. Los siropes se conducen a un tanque de paso de donde se bombean a un tanque de refinado.

El azúcar se descarga en las centrifugas a través de un conductor helicoidal, a un elevador de cangilones que descarga a otro transportador helicoidal para distribuir, según su clase a tres tolvas de almacenamiento.

## SECADO Y ENVASADO

El azúcar depositado en las tolvas, cae a un sistema de transporte y mezcla para llevarla a un sistema de secado. Las tolvas reciben el azúcar de la siguiente forma: una tolva recibe exclusivamente azúcar de primera, otra azúcar de segunda y otra azúcar de tercera y cuarta. El azúcar de segunda se envasa directamente. El azúcar de primera se mezcla proporcionalmente con el azúcar de tercera y cuarta para obtener un color lo más uniforme posible.

El sistema de secado consiste de un secador cilíndrico horizontal rotatorio, con tabllas huecas o "persianas" (palabra derivada del inglés *louvre*) interiores, inclinadas, que conducen el azúcar y a través de las cuales pasa agua caliente para secar el azúcar y conducirlo a un colador de malla unido al secador que separa granos gruesos, conglomerados y terrones, los cuales se separan para mandarlos a "retundición".

El azúcar cae a un elevador de cadena y rastra que lo lleva a un segundo secador que trabaja con aire a más baja temperatura, que consta también de un tambor rotatorio, en este caso con aspas interiores, para provocar cascadas a través de las cuales pasa el aire para terminar el secado y enfriar ligeramente el azúcar.

Este segundo secador entrega el azúcar a una tolva de paso y retención, en cuyo fondo se encuentra una báscula automática de peso de azúcar que entrega 50 kg intermitentemente. Se reciben en otra tolva inferior en cuya boca se colocan los costales de azúcar que descansan sobre una banda de tabllas, que los lleva a una cosedora automática para cerrar los sacos y, por medio de un sistema de

---

bandas, son llevados a la bodega de almacenamiento

En este paso se genera azúcar en polvo, cuyo valor comercial es muy alto porque se usa en repostería (se conoce comercialmente como azúcar "glass"), la cual debe ser recuperada con ciclones extractores y envasada en condiciones de humedad controlada ya que es muy higroscópica). En algunos ingenios, que no cuentan con este sistema de ciclones recuperadores de "polvos" y envasadora, los polvos son disueltos en agua y el "agua dulce" retornada a "tachos" (Jiménez, R.M. y Martínez, 1995)

Con base en estos dos capítulos, a continuación se presenta la metodología seguida en este trabajo, los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones que pueden derivarse de él.

### 3. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS

En la tabla 2 se presenta la metodología seguida para la determinación de los diferentes parámetros en los puntos críticos considerados a lo largo del proceso y la técnica empleada para la determinación y en el Apéndice se da una descripción de algunos de los métodos ICUMSA (Whalley, 1975).

Tabla 2. Metodología seguida para evaluar la calidad del procesamiento

DETERMINACION	PUNTOS CRITICOS	TÉCNICA UTILIZADA
Contenido de sacarosa	Guarapo primario Guarapo residual Guarapo mezclado Jugo sulfitado Jugo clarificado Cachaça Masa cocida Miel final Azúcar granulada	Polarimetría (Castillo, 1996) (Bates, 1942)
Temperatura y pH	Guarapo primario Guarapo residual Guarapo mezclado Jugo sulfitado Jugo clarificado Meladura Masa cocida Miel final Azúcar granulada	Potenciómetro manual con termómetro integrado
Compuestos y elementos inorgánicos	Guarapo primario Guarapo residual Guarapo mezclado Jugo sulfitado Jugo clarificado Meladura Miel inestabilizable Azúcar granulada	"kits" semicuantitativos (MERCK, 1994)
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Guarapo primario Guarapo residual Guarapo mezclado Jugo sulfitado Jugo clarificado Meladura y masa cocida Miel final Azúcar granulada	Método de filtro de membrana (SARTORIUS, 1991)

---

### **3.1 MÉTODOS ANALÍTICOS (Químicos de Banco, 1984)**

#### **DETERMINACIÓN DEL BRIX EN EL GUARAPO PRIMARIO, RESIDUAL Y MEZCLADO**

La determinación del Brix en el guarapo se basa en la medición de la densidad aparente, dada por la concentración de los sólidos disueltos en las soluciones de azúcar.

##### **Material y equipo**

- Solución alcohólica de cloruro de mercurio, saturada
- Probeta de 500 ml
- Colador de malla
- Termómetro
- Hidrometro Brix calibrado a 20 °C con escala de 0 a 10, de 10 a 20 y de 20 a 30.

##### **Procedimiento**

1. Mezcle y cuele la muestra para eliminar el material fibroso.
2. Llene la probeta de 500 ml con la muestra preparada y deje en reposo hasta que se elimine el aire.
3. Introduzca el hidrometro, con la escala apropiada, evitando que el vástago se sumerja más de 1 cm de la posición en que debe permanecer flotando libremente, sin tocar las paredes de la probeta.
4. Tome la lectura en la parte inferior del menisco, anotando unidades, décimas y al mismo tiempo anote la temperatura de la muestra.

##### **Cálculos**

Si la temperatura de la muestra es mayor de 20 °C, sumar a la lectura observada la corrección correspondiente por temperatura y si la temperatura de la muestra es menor de 20 °C, restar la corrección.

#### **DETERMINACIÓN DE BRIX EN EL GUARAPO CLARIFICADO**

La determinación del Brix en el guarapo clarificado, se basa en la medición del contenido de sólidos disueltos en las soluciones de azúcar con el fin de verificar las condiciones de operación de los clarificadores.

##### **Material y equipo**

- Hidrometro Brix con escala de 10 a 20
- Termómetro
- Probeta de 500 ml.

##### **Procedimiento:**

1. Llene la probeta con la muestra y déjela en reposo.
2. Introduzca el hidrometro en la probeta que contiene la muestra.
3. Tome la lectura en el menisco inferior y mida la temperatura.
4. Corregir por tablas la temperatura.

## **DETERMINACIÓN DE BRIS EN MUESTRAS DE MELADURA, MASA COCIDA Y MIEL AISAL**

La determinación se basa en la medida de la densidad aparente dada por la concentración de sólidos disueltos y en suspensión presentes en la muestra.

### **Material y equipo**

- Vaso de precipitado 1000 ml
- Probeta 500 ml
- Balanza 1 gramo de sensibilidad
- Hidrometro Brix con escala de 20 a 50, calibrado a 20°C
- Termómetro

### **Procedimiento**

1. Mezcle la muestra hasta homogeneizarla
2. Coloque un vaso de precipitado en cada platillo de la balanza y equilibrelos utilizando contrapeso.
3. Agregue a cada uno de los vasos aproximadamente 300 ml. de muestra y al otro vaso agua destilada hasta obtener nuevamente el equilibrio de los dos vasos
4. Vierta el agua en el vaso que contiene la muestra y agite hasta completa disolución
5. Llene la probeta con la solución obtenida y deje reposar para eliminar la espuma y el aire ocluido
6. Introduzca el hidrometro de manera que el vastago no se sumerja mas de 1 cm de la posición en que debe permanecer
7. Tomar la lectura de la parte inferior del menisco y la temperatura de la muestra
8. Haga la corrección respectiva del Brix obtenido, y el resultado multiplíquelo por dos para obtener el Brix corregido a 20 °C de la muestra original o sin diluir

## **DETERMINACIÓN DE POL DEL GUARAPO PRIMARIO, RESIDUAL Y MEZCLADO**

La determinación de Pol se basa en la medición del contenido de sacarosa aparente en el guarapo, dado por el giro de polarización de un rayo de luz, el cual es proporcional a la cantidad de sacarosa aparente presente en la solución

### **Material y equipo**

- Probeta 500 ml
- Vaso precipitado 600 ml
- Colador
- Embudo sin vastago de 12 cm de diametro
- Termómetro
- Espátula
- Tubo para polarizar de 200 mm de longitud
- Papel filtro para soluciones de azúcar
- Hidrómetro Brix calibrado a 20°C
- Sacarímetro (polarímetro)

## Reactivos

- Subacetato de plomo seco de Horne
- Agua destilada

## Procedimiento

1. Cuele la muestra y mézclela perfectamente
2. Determine a una porción de la muestra el grado Brix
3. Deposite en un vaso de precipitado, aproximadamente 200 ml. de la muestra.
4. Agregue 2 a 3 gramos de subacetato de plomo y agite vigorosamente. Evite el agregar exceso de subacetato.
5. Filtre la solución clarificada y deseche los primeros 25 ml.
6. Enjuague el tubo para polarizar, con la solución filtrada y con éste llénelo, colocándolo en el polarímetro
7. Haga tres lecturas polarimétricas tomando el promedio como el valor de la polarización.

## Cálculos

Consulte la tabla de Schmitz (Químicos de Banco, 1984) donde, considerando el grado Brix y el valor de la polarización encontrados, se obtiene el valor de Pol de la muestra.

## **DETERMINACIÓN DE POL EN EL GUARAPÓ CLARIFICADO**

La determinación de Pol en el guarapó clarificado es con el propósito de conocer las pérdidas de esta debido al proceso de clarificación

## Procedimiento

1. Tome una porción de la muestra y determine el Brix
2. Deposite en un vaso de precipitado otra porción de la muestra y agregue 2 a 3 gramos de subacetato
3. Filtre la solución y deseche los primeros 25 ml
4. Enjuague el tubo con la solución filtrada y llénelo con la misma, colocándolo enseguida en el polarímetro
5. Haga tres lecturas polarimétricas tomando el promedio aritmético como el valor de la polarización.

## **DETERMINACIÓN DE POL (SACAROSA APARENTE) EN MUESTRAS DE CACHAZA**

La determinación se basa en la propiedad que tienen las soluciones de sacarosa de hacer girar al plano de polarización de un rayo de luz. El propósito es conocer la pol que se pierde en la cachaza

## Procedimiento

1. Mézcle hasta obtener una muestra homogénea
2. Tare la cápsula de níquel y pese 25 gramos de la muestra y deposítelos en un vaso de precipitado. La pesada debe hacerse rápidamente para evitar pérdidas de peso por evaporación
3. Agregue 25 ml. de agua caliente (50°C-60°C) y agite hasta formar una pasta ligera
4. Transfiera cuantitativamente la pasta al matraz alorado utilizando agua caliente y atore. Deje enfriar hasta la temperatura ambiente.
5. Agregue subacetato seco de plomo evitando el exceso y agite perfectamente.

6. Filtre con ayuda-filtro, cubriendo el embudo con el vidrio de reloj y deseche los primeros 25 ml.
7. Enjuague con el filtrado el tubo polarimetrico y enseguida llénelo colocándolo en el polarimetro. Tome la temperatura.
8. Efectúe tres lecturas tomando el promedio como la polarizacion, la que deberá corregirse por temperatura.

**NOTA:** El peso de 25 g es el correcto para compensar el volumen de materia insoluble presente en la cachaza.

### **DETERMINACIÓN DE POL. (SACAROSA APARENTE) Y PUREZA EN MELADURA, MASA COCIDA Y MIEL FUSAL**

La determinación de Pol en estos materiales es con el fin de conocer la pureza de los mismos, la cual se basa en la relación de Pol y Brix por lo que se debe obtener este último como se indicó en la técnica correspondiente.

#### Material y equipo

- Papel Filtro
- Tubo para polarización de 200 mm de longitud
- Matraz Erlenmeyer, 250 ml
- Vasos de precipitado, 600 y 1000 ml.
- Matraz aforado de 50 ml
- Embudo sin vástago de 12 cm de diámetro
- Agitador
- Polarimetro
- Balanza con 0.1 g de sensibilidad

#### Reactivos

- Solución de subacetato de plomo seco de Horne
- Solución de 0.05N de ácido acético

#### Procedimiento

1. Prepare la muestra como se indicó en la determinación de Brix para este tipo de materiales.
  2. Pese 26 gramos de la solución obtenida en un matraz de 200 ml., añadiendo solución de subacetato de plomo suficiente para clarificar. En el caso de materiales oscuros utilice un matraz aforado de 300 ml.
  3. Afore hasta la marca con agua destilada agitando vigorosamente y después filtre.
  4. Tome 50 ml. del filtrado en el matraz aforado de 50 ml. agregue 5 ml. de solución 0.05N de ácido acético y agite.
  5. Con esta solución, enjuague el tubo de polarización y llénelo.
  6. Haga tres lecturas considerando el promedio como la polarización de la muestra.
- Cálculos**  
Cuando el aforo de la muestra se hace a 200 ml., la Pol es igual a : polarización x 4.4  
Cuando el aforo se hace a 300 ml. la Pol será: polarización x 6.6

### **DETERMINACIÓN DE LA PUREZA APARENTE EN EL GUARAPO PRIMARIO, RESIDUAL Y MEZCLADO**

La pureza del guarapo está expresada por el porcentaje de sacarosa aparente respecto a los sólidos aparentes disueltos.

La pureza se calcula dividiendo los °Bx entre la Pol, multiplicada por 100.

### **DETERMINACIÓN DE LA PUREZA EN EL GUARAPO CLARIFICADO**

La determinación de la pureza en el guarapo clarificado, se basa en el contenido de Pol en los sólidos presentes en la muestra para conocer la riqueza de la muestra.

### **DETERMINACIÓN DEL pH EN MUESTRAS DE GUARAPO PRIMARIO, RESIDUAL Y MEZCLADO**

La determinación del potencial de hidrógeno del guarapo, se basa en la medición de la concentración de iones hidrógeno presentes en la muestra, para conocer el grado de alcalinidad o de acidez del guarapo y con ello fijar las condiciones de "alcalización" del proceso.

Material y equipo

- Papel filtro
- Vasos de precipitados de 250 ml.
- Termómetro
- Colador
- Potenciómetro con electrodos de vidrio y de referencia

Reactivos

- Solución reguladora de pH
- Agua destilada

Procedimiento

1. Cuele y homogeneice la muestra
2. Ajuste el potenciómetro, según indicaciones del fabricante, con la solución reguladora de pH
3. Vierta una porción de la muestra (100-150ml.) en un vaso
4. Introduzca los electrodos asegurándose de que el bulbo quede cubierto
5. Obtenga directamente la lectura.

### **DETERMINACIÓN DEL pH EN EL GUARAPO CLARIFICADO**

La determinación del pH en el guarapo clarificado es para conocer el grado de acidez o alcalinidad del mismo y verificar sus condiciones para el siguiente paso del proceso de elaboración.

La determinación se lleva a cabo de la misma manera que en el guarapo primario residual y mezclado.

---

### **DETERMINACIÓN DEL pH EN MELADURA Y MIEL FINAL**

La determinación se basa en la comparación de la conductividad de la muestra con un electrodo de referencia. Se realiza para conocer la acidez o alcalinidad de los materiales en el proceso.

#### **Material**

- Vaso de precipitado 250 ml.
- Termómetro
- Agitador
- Potenciometro

#### **Reactivos**

- Solución reguladora de pH
- Agua destilada

#### **Procedimiento**

1. Prepare con la muestra y agua destilada una solución a 60°Bx. El agua empleada debe estar a 90°C. Posteriormente deje enfriar la solución a temperatura ambiente.
2. Ajuste el potenciometro con la solución reguladora de pH según indicaciones del fabricante.
3. Vierta una porción de la solución de la muestra en un vaso de precipitado e introduzca los electrodos hasta que el bulbo quede completamente sumergido dejando que se establezca el equilibrio.
4. Obtenga la lectura directamente.

### **DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS REDUCTORAS EN GUARAPO PRIMARIO, RESIDUAL Y MEZCLADO**

La determinación de los compuestos reductores en el guarapo se basa en la propiedad que tienen los monosacáridos y otros compuestos, presentes en el guarapo, de reducir el cobre en su estado de oxidación, de valencia dos a valencia uno. Esta reducción se lleva a cabo en medio alcalino y en condiciones controladas, donde la cantidad de cobre reducida, es proporcional a la cantidad de sustancias reductoras presentes.

#### **Material y equipo**

- Papel filtro
- Bureta de 50 ml., graduada en decimos
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- Vasos de precipitados, 500 ml.
- Matraces aforados de 100, 150 y 1000 ml.
- Pinzas para matraz
- Balanza analítica de 0.1 mg de sensibilidad
- Parrilla eléctrica

#### **Reactivos**

- Agua destilada

- Oxalato de sodio anhidro
- Acido oxálico anhidro
- Solucion de Fehling
- Tartrato de sodio y potasio (solucion)
- Azul de metileno (solucion)
- Perlas de vidrio
- Sulfato de cobre (solucion)

#### Procedimiento

1. Mezele y cuele la muestra para eliminar el material fibroso.
  2. A una porcion de la muestra adicione oxalato de sodio anhidro (0.25 gramos por cada 100 ml. de muestra), para eliminar las sales de calcio. Agite vigorosamente y deje reposar por cinco minutos.
  3. A otra porcion de la muestra añada oxalato de sodio anhidro (0.25 gramos por cada 100 ml. de muestra), para eliminar las sales de calcio. Agite vigorosamente y deje reposar por cinco minutos.
- Las muestras preservadas durante 24 horas, con subacetato de plomo, deben tratarse con acido oxálico anhidro(0.75 gramos por cada 100 ml. de muestra) antes de filtrarlas. Si la muestra no contiene conservadores (cloruro de mercurio o formaldehido), no use clarificante
4. Adicione filtro-ayuda, agite y filtre la solucion
  5. Con una pipeta, mida 25 ml. de muestra y colóquela en un matraz alorado de 100 ml.
  6. Aflore con agua destilada hasta la marca y agite hasta completa disolucion
  7. Con una pipeta, mida 5 ml. de la disolucion de tartrato de sodio y potasio y deposítela en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
  8. Midiendo con otra pipeta 5 ml. de la solucion de sulfato de cobre, viértalos en el matraz que contiene la solucion de tartrato (asi se obtiene la solucion de Fehling).
  9. Agregue al matraz que contiene la solucion de Fehling, 15 a 20 ml. de agua destilada y agite hasta homogeneizar.
  10. Enjuague una bureta de 50 ml., con la solucion del guarapo diluido y despues llenela con otra porcion de dicha solucion
  11. Coloque el matraz en la parrilla electrica; añada perlas de vidrio y 4 o 5 gotas de aceite mineral blanco para evitar espumas y proyecciones.
  12. Calentar hasta ebullicion, deje hervir por 2 minutos y añada 5 gotas de azul de metileno. La solucion debe tomar una coloracion azul, si no sucede, significa que se ha agregado exceso de guarapo diluido, por lo que debe desechar la experiencia y reiniciar el procedimiento usando 5 ml. menos de guarapo diluido (pasos del 11 al 13)
  13. Continúe añadiendo porciones de 5 ml. de guarapo a intervalos hasta que se considere cerca el final de la titulacion, entonces prosiga con porciones de 1 ml. cada vez, agitando el matraz y sin que la solucion deje de hervir. El final de la titulacion se alcanza cuando el color azul intenso cambia a rojo brillante debido al óxido cuproso. El tiempo de ebullicion debe limitarse a 3 minutos.
  14. Conocida la cantidad de muestra necesaria para la reduccion del cobre, proceda a realizar otra titulacion repitiendo los pasos 7 al 10.
  15. Añada 15 ml. de guarapo diluido que se encuentra en la bureta , al matraz que contiene la solucion de Fehling y repita los pasos 12 y 13.
  16. Complete la titulacion, sosteniendo la punta de la bureta a 2 o 3 centímetros sobre el cuello del matraz y añada unas gotas del guarapo diluido, agitando despues de cada adiccion sin permitir que cese la ebullicion .

17. La titulación concluye al efectuarse el vire del color de la solución. Procurar que el tiempo que se emplee para la titulación no sea mayor de 1 minuto

18. Anote la cantidad de muestra gastada en la titulación.

Cálculos

$$\% \text{ de sustancias reductoras} = (A1 \cdot 10) (1 \cdot F \cdot S \cdot Pe)$$

donde:

A1 = mg de azúcar invertido en 100 mL de solución

F = mL de solución empleada en la titulación

S = mL de muestra diluido a 100 mL de solución

Pe = Peso específico de la muestra a 20 °C

F = Factor de corrección, por el volumen de la muestra empleando la solución.

#### **DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS REDUCTORAS EN EL GUARAPO CLARIFICADO**

La determinación tiene como finalidad de conocer el contenido de azúcares reductores en el guarapo que sale de la operación de clarificación y se basa en la propiedad que tienen los monosacáridos y otras sustancias de reducir el cobre

**NOTA:** Proceda como se indica en la determinación de sustancias reductoras en guarapo primario, residual y mezclado.

---

### 3.2 METODOLOGÍA PARA MEDIR Fe, Cu, Pb, As y Ca

Para la determinación de los diferentes contaminantes inorgánicos se emplearon los llamados "kits" colorimétricos y su determinación es semi-cuantitativa (Merck de México, 1994).

El fundamento en que se basan estas técnicas es el siguiente:

El **hierro** reacciona con 1,10-fenantrolina usando una solución amortiguadora de trietanolamino. El virre se da con la formación de un complejo rojo anaranjado de  $Fe(II)$ , obtenido de la reducción del  $Fe(III)$  a  $Fe(II)$  por la acción amortiguadora del trietanolamino. Al mismo tiempo, se ajusta el valor de pH a 3.7, que es el óptimo para la reacción.

El **cobre** reacciona con cuprizona en medio alcalino formando un complejo azul.

El **plomo** reacciona en solución ácida con el ácido rodizonico dando un complejo de color rojo.

Para el **arsénico**, se añaden zinc y ácido clorhídrico para formar hidruro de arsénico de color pardo, procedente de compuestos de arsénico tri y pentavalentes. La zona de reacción está impregnada con bromuro de mercurio (II) que se encuentra en el espacio gaseoso por encima de la solución. Aquí se forman halogenuros mixtos de arsénico y mercurio.

El **calcio** se determina con sal disódica de EDTA y el indicador ácido de cal con ácido carboxílico es el que da un virre de color. Los iones calcio son ligados por enlaces de tipo complejo, formándose quelatos.

### 3.3 DETERMINACIÓN DE *L. mesenteroides*

El género *Leuconostoc* contiene varias especies de estreptococos de importancia económica. Algunos de ellos producen un dextrano viscoso en los vegetales congelados. La especie *L. mesenteroides* es la más importante. Forma una gran cantidad de dextrano viscoso en medios y en materia vegetal que contienen glucosa. Las colonias en los medios de agar sin el azúcar son pequeñas y grises. El crecimiento es muy pobre en medios sin extracto de levadura. Es responsable de la alteración viscosa de la salmuera y de la inversión del azúcar (Collins C.H., 1989).

El método de filtración de membrana fue el utilizado para la determinación de *L. mesenteroides*. Se utilizaron medios selectivos deshidratados para el crecimiento de este microorganismo. El procedimiento general es el siguiente:

Para obtener resultados correctos y seguros de exámenes microbiológicos es imprescindible trabajar bajo condiciones que excluyan contaminaciones por microorganismos extraños, los cuales pueden falsar los resultados. Es por ello que se debe trabajar cerca de la flama de un mechero Bunsen en un cuarto protegido contra corrientes de aire. Antes de empezar con el procedimiento debe efectuarse una desinfección de la zona de trabajo utilizando un pulverizador o lavando con alcohol desinfectante, p.e.j., de 70%. Los aparatos de filtración, pinzas y tueras deben esterilizarse antes del uso por "flameamiento" en exámenes de rutina (Sartorius, 1991).

#### Procedimiento

- 1.- Discos "nutrientes" y capsula Petri. Saque una capsula que contiene el disco "nutriente" (se entrecorriellan dado que las palabras correctas en español son nutrientes y nutrimentos, y estos son barbarismos derivados del ingles).
- 2.- Añada 3.5 ml. de agua destilada o desmineralizada esteril a la capsula de Petri. La humidificación de los discos "nutrientes" es optima cuando se observan excedentes de liquido en las orillas.
- 3.- Saque el filtro de membrana conjuntamente con la hoja de proteccion amarilla y colóquelo sobre la base del embudo. Deseche la hoja amarilla y ponga el embudo sobre la base.
- 4.- Vierta la muestra en el embudo.
- 5.- Filtre la muestra, cierre la llave. Lave el interior del aparato con agua esteril. Succione.
- 6.- Tome el filtro de membrana del aparato y colóquelo sobre el disco humedecido evitando la formacion de camaras de aire.
- 7.- Incube la capsula Petri a 25° C - 72 hrs con la tapa hacia arriba.
- 8.- "Valorice" las colonias. (Colonias pequeñas color blanco con brillo metalico).

### 3.4 FECHAS DE MUESTREO

Dado que la operacion de los ingenios es continua durante un periodo de aproximadamente seis meses (de noviembre a mayo y se conoce como zafra), los muestreos se programaron al inicio de la zafra (cuando todavia no se estabiliza la operacion), a mediados de ella (cuando la operacion se ha estabilizado) y al final de la zafra, cuando nuevamente empieza a desestabilizarse.

En el siguiente capitulo se presentan los resultados obtenidos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 TABLAS Y GRÁFICAS DE RESULTADOS

En la tabla 3 se presentan los puntos críticos para la toma de muestras en el proceso de elaboración de azúcar estándar, así como las determinaciones que deben realizarse con base en las características físicoquímicas de cada material

Tabla 3 Formato de datos a obtener

MATERIA	°BRIX	POL	PUREZA	pH/TEMP (&)	SUST. REDUCT.	IONES INORG. (*)	<i>Lexente:</i> <i>culdas (#)</i>
guarapo primario	X	X	X	X	X	X	X
guarapo residual	X	X	X	X	X	X	X
guarapo mezclado	X	X	X	X	X	X	X
guarapo clarificado	X	X	X	X	X	X	X
cachaça		X				X	
meladura	X	X	X	X	X	X	X
masa cocida	X	X	X	X	X	X	X
miel final	X	X	X	X	X	X	
azúcar granulada	X	X	X		X	X	X

(X) TOMA DE MUESTRA

(&) LAS TEMPERATURAS ESTÁN REPORTADAS EN GRADOS CENTIGRADOS

(#) COMO UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS

(\*) COMO: HIERRO, PLOMO, CALCIO, ARSÉNICO Y COBRE

En la tabla 4 se muestra la escala estándar o patrón de resultados promedio a 20°C que ha emitido el Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar (GEPLACEA) como guía de apoyo hacia los ingenios.

MATERIA	%BRIN	POL	PUREZA	pH/TEMP (&C)	SUST. REDUCT.	IONES INORG.(*)	<i>Lmscente:</i> <i>cuiles(%)</i>
guarapo primario	20	18	80	8.25	0.25	*	*
guarapo residual	4.5	3.5	70	8.25	0.50	*	*
guarapo mezclado	15.5	12.2	78.5	8.25	0.40	*	*
guarapo clarificado	14.0	12	82.5	6.85	0.75	*	**
cachaza	-----	2	----	----	----	*	**
meladura	57.5	48.0	82.5	6.15	2.55	*	**
masa cocoda	94.5	37.0	81.0	8.0	----	*	**
miel final	64.0	15.0	35.0	5.4	14.0	*	**
azucar granulada	----	99.3	----	----	----	*	**

Tabla 4. Escala estandar propuesta por GEPLACEA (1984)

\* COMO HIERRO: 5-25 ppm  
 SO<sub>2</sub>: 6-15 ppm  
 COBRE: 0.03-1.5 ppm  
 ARSENICO: 0.1-0.7 ppm  
 PLOMO: 3-8 ppm

+ PRESENCIA ES COMUN  
 -- NO HAY DESARROLLO  
 --- NO APLICA

En la tabla 5 se presentan los resultados promedio obtenidos durante la primera visita realizada al ingenio del 7 al 14 de enero de 1995.

MATERIA	%BRIN	POL	PUREZA	pH/TEMP (&)	SUST. REDUCT.	IONES INORG. (*)	L. metales: coldes (#)
guarapo primario	19.8	16.81	84.89	5.5-30	0.714	HIERRO 6 ppm	33
guarapo residual	3.0	2.24	74.66	6.8-32	0.417	0	26
guarapo mezclado	14.9	14.13	83.45	7.5-30	0.657	HIERRO 19 ppm	39
guarapo clarificado	15.4	13.5	87.66	8.0-98	0.524	CALCIO 248 ppm	4
cachaza	0	1.38	0	0	0	CALCIO 870 ppm	--
meladura	59.11	31.9	53.95	7.0-55	1.73	0	--
masa cocida	38.5	33.6	87.27	6.0-54	0	0	--
mel final	84.10	30.36	36.09	6.0-50	15.30	0	--
azúcar granulada	0	98.39	0	0	0	HIERRO 0.79 ppm	--

Tabla 5. Muestra los resultados obtenidos en el ingenio "El Potrero" durante la primera visita técnica (7-14 Enero 1995)

(--) NO HAY DESARROLLO

(&) LAS TEMPERATURAS ESTÁN REPORTADOS A 20°C

(#) COMO UNIDADES FORMADORAS DE COLONIA

(\*) COMO HIERRO, PLOMO, CALCIO, ARSÉNICO Y COBRE

En la tabla 6 se presentan los resultados promedio obtenidos durante la segunda visita realizada al ingenio del 4 al 11 de marzo de 1995.

MATERIA	%BRIX	POL	PUREZA	pH/TEMP (&)	SUST. REDUCT.	IONES INORG. (*)	Limeante: (n)
guarapo primario	21.58	18.92	86.36	5.127	0.532	HIERRO 3 ppm	20
guarapo residual	3.06	2.185	74.69	5.429	0.492	0	35
guarapo mezclado	17.57	14.9	82.14	7.965	0.507	HIERRO 30ppm	58
guarapo clarificado	16.67	14.79	89.12	7.090	0.509	CALCIO 1200ppm	--
cachaza	0	0.7	0	0	0	CALCIO 6600ppm	--
meladura	66.43	58.92	88.79	6.350	2.055	0	0
masa cocida	91.1	78.57	87.10	6.047	0	0	--
miel final	35.4	7.37	20.81	5.850	15.73	0	--
azúcar granulada	0	98.9	0	0	0	HIERRO 1.2 ppm	--

Tabla 6. Muestra los resultados obtenidos en el ingenio "El Potrero" durante la segunda visita técnica (4-11 Marzo 1995)

(-- ) NO HAY DESARROLLO

(&) LAS TEMPERATURAS ESTAN REPORTADOS A 20° C

(n) COMO UNIDADES FORMADORAS DE COLONIA

(\*) COMO HIERRO, PLOMO, CALCIO, ARSÉNICO Y COBRE

En la tabla 7 se presentan los resultados promedio obtenidos durante la tercera visita realizada al ingenio del 13 al 20 de mayo de 1995.

MATERIA	%BRIN	POL.	PUREZA	pH/TEMP (&)	SUST. REDUCT.	IONES INORGT. (*)	L. <i>insolubles</i> (#)
guarapo primario	21.49	18.58	85.19	5.81-31	1.262	HIERRO 27 ppm	41
guarapo residual	5.88	4.39	74.88	5.6-32	1.05	HIERRO 1 ppm	37
guarapo mezclado	17.61	14.08	81.08	6.2-96	1.17	HIERRO 36 ppm	incontables
guarapo clarificado	16.0	14.17	87.3	7.6-96	1.053	CALCIO 1120 ppm	28
cachaza	0	1.27	0	0	0	CALCIO 640 ppm	--
meladura	63.71	53.57	86.35	6.4-58	3.7585	0	16
masa cocida	91.46	79.28	85.39	6.2-52	0	0	--
miel final	86.58	29.02	53.34	6.1-50	20.09	0	--
azúcar granulada	0	97.89	0	0	0	HIERRO 1 ppm	--

Tabla 7. Muestra los resultados obtenidos en el ingenio "El Potrero" durante la tercera visita técnica (13-20 Mayo 1995)

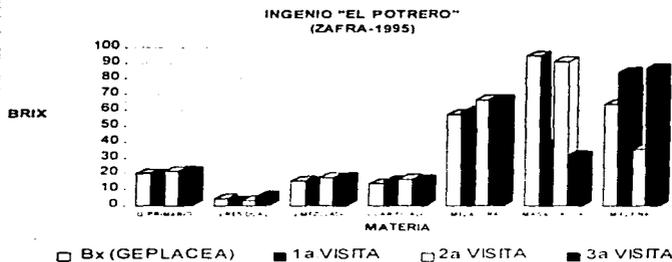
(--) NO HAY DESARROLLO

(&) LAS TEMPERATURAS ESTÁN REPORTADOS A 20°C

(#) COMO UNIDADES FORMADORAS DE COLONIA

(\*) COMO HIERRO, PLOMO, CALCIO, ARSÉNICO Y COBRE

La gráfica 1 muestra los valores de contenido de material sólido (medido como grados Brix) para los diferentes puntos en estudio. La tabla 8 presenta los datos en los que se basó el diagrama de barras.



Gráfica 1. Valores de Brix obtenidos en el proceso de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero" durante las tres visitas realizadas y la comparación con los valores de Brix que recomienda GEPLACEA

	Bx (GEPLACEA)	1a VISITA	2a VISITA	3a VISITA
G. PRIMARIO	20	19.8	21.58	21.49
G. RESIDUAL	4.5	3	3.06	5.88
G. MEZCLADO	15.5	14.9	17.57	17.61
CLARIFICADO	14	15.4	16.07	16
MELADURA	57.5	59.11	66.43	66.71
MASA COCIDA	94.5	38.5	91.1	31.46
MIEL FINAL	64	84.1	35.4	86.75

Tabla 8. Resultados de Brix obtenidos en los puntos críticos del proceso de elaboración de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero"

Puede verse que en el jugo clarificado existe un incremento de hasta el 2% de sólidos debido a que las condiciones (pH/Temp) para la floculación de todos no fueron controladas al menos en la primera visita. Por otra parte los resultados de Bx en la masa cocida muestran que al menos la cristalización y/o inoculación de la semilla no resultó eficiente en esa etapa de la zafra, ya que existe demasiada merma depositada en la miel final. El incremento en el % de sólidos en la meladura a lo largo de las tres visitas, muestra la deficiencia que existió en los evaporadores a lo largo de la zafra, ya que al tratar de evaporar la mayor cantidad de agua para concentrar los sólidos puede ello provocar incrementos en el color del azúcar lo cual pudo afectar desde el punto de vista de la calidad a el azúcar así como de los resultados de merma originados por el propio proceso mas lo de origen logrando con ello rendimientos bajos.

Asimismo, la gráfica 2 y la tabla 9 muestran los resultados correspondiente al contenido de hierro.



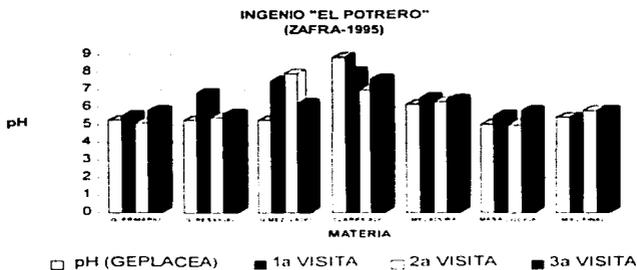
Gráfica 2. Valores de hierro obtenidos en el proceso de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero" durante las tres visitas realizadas y la comparación con los valores máximos de hierro permitidos que ofrece GEPLACEA (en ppm)

	HIERRO (GEPLACEA)	1a VISITA	2a VISITA	3a VISITA
G. PRIMARIO	25	6		27
G. MEZCLADO	25	19	30	36
AZÚCAR STD	25	0.75	1.2	1

Tabla 9. Resultados de Hierro obtenidos en los puntos críticos del proceso de elaboración de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero" (en ppm)

De la misma forma, puede verse que en las dos etapas del proyecto, únicamente se encontró que una pequeña parte (2-6 ppm) proviene quizás de la propia planta de caña de azúcar o de contaminaciones al ser transportadas a los tandems de molienda, sin embargo a lo largo del proceso se empieza a presentar un incremento en la cantidad de este ion, debido principalmente al desgaste que está teniendo el propio equipo, transfiriéndolo a la materia prima. Esto se ve reflejado en los resultados de la tercera visita. El azúcar granulada llegó a registrar una cantidad de 27 a 36 ppm, con respecto a la cantidad obtenida de 19 a 30 ppm en las dos primeras visitas. La presencia de este ion y otros elementos que lo acompañan en las aleaciones como el cromo por ejemplo, tiene un efecto sobre la calidad del azúcar, la conservación y mantenimiento del equipo.

La gráfica 3 y la tabla 10 dan los resultados correspondientes al control de pH en los diferentes puntos del proceso de elaboración de azúcar granulada



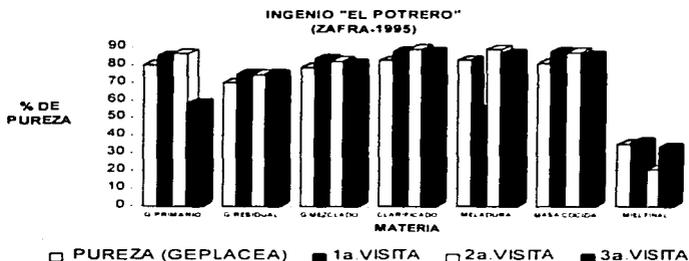
Gráfica 3. Valores de pH obtenidos en el proceso de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero" durante las tres visitas realizadas y la comparación con los valores de pH que recomienda GEPLACEA.

	pH (GEPLACEA)	1a VISITA	2a VISITA	3a VISITA
G. PRIMARIO	5.25	5.5	5.1	5.8
G. RESIDUAL	5.25	6.8	5.4	5.6
G. MEZCLADO	5.25	7.5	7.3	6.2
CLARIFICADO	8.85	8	7	7.6
MELADURA	6.15	6.5	6.3	6.4
MASA COCIDA	5	5.5	5	5.8
MFL. FINAL	5.4	5.4	5.8	5.8

Tabla 10. Resultados de pH obtenidos en los puntos críticos del proceso de elaboración de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero"

De los resultados obtenidos puede verse que la tendencia de estos mismos, muestra un poco de descontrol en el control del pH principalmente en el clarificador donde las reacciones de floculación de lodos por neutralización de los ácidos es uno de los principales puntos críticos en este proceso para el control en las mermas de azúcar. Por otra parte los resultados en el guarapo residual y mezclado presentan incrementos en los valores de pH, lo cual puede deberse a que el agua utilizada en el proceso de "imbibición" puede contener un contenido alto de sales lo cual repercute de una manera directa sobre los resultados de pH.

La gráfica 4 y la tabla 11 muestran los resultados del porcentaje de pureza en los diferentes puntos de muestreo.



Gráfica 4. Valores del % de pureza obtenidos en el proceso de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero" durante las tres visitas realizadas y la comparación con los valores del % de pureza que recomienda GEPLACEA

	PUREZA (GEPLACEA)	1a VISITA	2a VISITA	3a VISITA
G. PRIMARIO	80	84.89	86.36	58.19
G. RESIDUAL	70	74.66	74.69	74.88
G. MEZCLADO	78.5	83.45	82.14	81.08
CLARIFICADO	82.5	87.66	89.12	87.3
MELADURA	82.5	53.95	88.79	86.35
MASA COCIDA	81	87.27	87.1	85.39
MEL FINAL	35	36.09	20.81	33.34

Tabla 11. Resultados del % de pureza obtenidos en los puntos críticos del proceso de elaboración de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero"

La recuperación de sacarosa en el guarapo residual es muy aceptable logrando con ello que al menos al inicio del proceso la merma de origen sea baja, más sin embargo durante la primer visita esto contrasta en los resultados al final del proceso (MELADURA) donde la recuperación de sacarosa es mínima lo cual depende principalmente de la operación y eficiencia de los tachos donde se lleva a cabo la concentración de la sacarosa por medio de la cristalización. El comportamiento más favorable para el proceso fue durante la 2a. visita realizada siendo esto reflejo de una estabilidad y control del proceso, logrando resultados de pureza aún por encima de la que recomienda GEPLACEA en los diferentes puntos de estudio.

La gráfica 5 y la tabla 12 muestra los valores del contenido de azúcares reductores en varios puntos del proceso.



Gráfica 5. Valores del % de azúcares reductores obtenidos en el proceso de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero" durante las tres vistas realizadas y la comparación con los valores del % de azúcares reductores que recomienda GEPLACEA.

	REDUCTORES (GEPLACEA)	1a VISITA	2a VISITA	3a VISITA
G. PRIMARIO	0.25	0.714	0.532	1.102
G. MEDIAL	0.5	0.417	0.492	1.05
G. MEZCLADO	0.4	0.657	0.507	1.17
CLARIFICADO	0.75	0.524	0.509	1.036
MELAZURA	2.55	1.73	2.656	3.75
MEL. FINAL	14	12.3	12.73	20.06

Tabla 12. Resultados del % de azúcares reductores obtenidos en los puntos críticos del proceso de elaboración de azúcar granulada en el ingenio "El Potrero."

Puede verse que el guarapo primario rebasa el parametro recomendado por GEPLACEA, pero debido a las condiciones de ligera alcalinidad que existen en el clarificador, la cantidad de reductores tiende a la estabilidad principalmente al inicio y mitad de la zafra, pero puede observarse que al final de la zafra el jugo viene con demasiada carga de azúcares reductores los cuales al parecer no pueden eliminarse en ningún punto del proceso. Siendo esto un indicador directamente proporcional de la presencia de *L. mesenteroides* en distintos puntos del proceso (Tabla 5, 6 y 7).

---

## 4.2 DISCUSIÓN

Para poder dar una explicación racional de los resultados obtenidos, se tomó como referencia la tabla de valores de los resultados de las pruebas de laboratorio que recomienda GEPLACEA (Químicos de Banco, 1984). Con base en lo anterior se tiene lo siguiente:

- Los resultados de las pruebas físicoquímicas (BS y POE) están comprendidos dentro de los parámetros establecidos por GEPLACEA, lo cual se ve reflejado en los resultados de pureza y BS de la materia prima (Gráfica 1 y 3). Se puede observar que al inicio de la zafra hubo un ligero decremento en estos parámetros comparados con los recomendados por GEPLACEA debido quizás a los ajustes iniciales que existen en cualquier proceso, pero se ve que al transcurrir la zafra, estos parámetros se van estabilizando.

- Para las sustancias reductoras se observa que el guarapo primario rebasa el parámetro recomendado por GEPLACEA de azúcares reductores (Gráfica 5), pero debido a las condiciones de ligera alcalinidad (pH 6.8-8) (Gráfica 2) que imperan en el clarificador, estos azúcares reductores son eliminados con la consecuente formación de ácidos orgánicos logrando con ello un grado de estabilidad en el proceso (Honig, P, 1969). En el final de la zafra se observó un incremento en el porcentaje de estos azúcares, debido quizás al tiempo que permaneció la caña antes de ser procesada o cosechada. En algunos casos transcurren de 12 a 36 horas antes de que la caña, una vez cosechada, sea procesada en el ingenio, provocando con ello mayor tiempo de contacto de *L.mesenteroides* con la caña y dando origen a la inversión de la sacarosa y la formación de gomas.

- El aislamiento de *L.mesenteroides* se llevó a cabo en los principales puntos críticos del proceso (guarapo primario, residual, mezclado, alcalinizado, clarificado, meladura, masa cocida, miel incristalizable y azúcar granulada refinada) de los cuales solo en los tres primeros presentó un grado máximo de desarrollo (Tabla 5, 6 y 7). Esto es debido a que al entrar al proceso de alcalinado y clarificado, su presencia fue casi nula debido principalmente a las condiciones de alcalinidad (pH=7-8) y temperatura (90-98 °C) que son poco propicias para el desarrollo de este microorganismo (Honig, P, 1969). La única excepción fue al final de la zafra, principalmente en el clarificador lo cual puede ser debido a la termoresistencia que puede lograr este microorganismo una vez alcanzado un desarrollo y crecimiento rápido como consecuencia de condiciones favorables en puntos anteriores al clarificador.

- El control de pH es un punto crítico de control en el proceso para poder llevar a cabo las reacciones de sedimentación o flotación de impurezas del azúcar. La tendencia en los resultados obtenidos, muestra un poco de descontrol al inicio de la zafra pero a lo largo de ella, se observa una ubicación y adecuado manejo en el control de pH (Gráfica 3).

- En la determinación de los iones inorgánicos, se llevaron a cabo en los mismos puntos que para *L.mesenteroides* (Tabla 5). Los resultados indican que el hierro y el calcio fueron los únicos iones cuantificables con estos "kits" y que persistieron en las tres etapas del proyecto. La cantidad de calcio (248 a 6600 ppm) determinada de manera semicuantitativa en el jugo clarificado y cachaza, indican de una manera indirecta posibles fallas en la operación del clarificador, ya que permite el paso de calcio hacia los siguientes puntos del proceso, provocando con ello la formación de

---

incrustaciones que afectarán la vida útil de los equipos de transferencia de calor y de igual manera provocará pérdidas económicas considerables ya que involucra más gasto de energía en los equipos antes mencionados (Tabla 5, 6 y 7), además de una posible contaminación con cobre (material de construcción de los tubos de los equipos de transferencia de calor)

- En cuanto al hierro, se encontró que una pequeña parte (2-6 ppm) proviene quizás de la propia planta de caña de azúcar o de contaminaciones al ser transportada a los tandems de molienda, sin embargo, a lo largo del proceso se empieza a presentar un incremento en la cantidad de este ion, debido principalmente al desgaste que va teniendo el propio equipo transfiriéndolo a la materia prima. Esto se ve reflejado en los resultados de la tercera visita. Los resultados en los puntos críticos del proceso al final de la zafra llegó a registrar una cantidad de 27 a 36 ppm (Gráfica 2), con respecto a lo obtenido en las dos primeras visitas, 19 y 30 ppm respectivamente.

---

## 5. CONCLUSIONES

De este trabajo puede concluirse lo siguiente:

1) Básicamente, el proceso de filtración y refinación no resulta del todo satisfactorio para la eliminación total de elementos indeseables. Básicamente la determinación de estos iones tienen un significado práctico por el efecto de los elementos que lo acompañan en las aleaciones como el cromo, por ejemplo, sobre la calidad del azúcar y en la conservación y mantenimiento del equipo, amén de otros metales y metaloides que estos "kits" no pueden medir.

2) Para estos iones inorgánicos, con estos "kits" no se detectó su presencia a lo largo del proceso, así como en el producto terminado. El intervalo de concentraciones que pueden detectar estos "kits" es de:

- HIERRO	3-50	mg l
- COBRE	0.05-8	mg l
- ARSENICO	0.1-3.0	mg l
- PLOMO	0.1-5.0	mg l
- SO <sub>2</sub>	5-30	mg l

Los valores aceptados por GEPLACEA son los siguientes (Tabla 4):

- HIERRO	5-25	mg l
- COBRE	0.05-1.5	mg l
- ARSENICO	0.1-0.7	mg l
- PLOMO	3-8	mg l
- SO <sub>2</sub>	6-15	mg l

Lo que indica que estas concentraciones no fueron rebasadas. Sin embargo, para una segunda etapa, será deseable usar equipo de absorción atómica o plasma para determinar con precisión, exactitud y confiabilidad, estas concentraciones y determinar su posible presencia en estos alimentos.

3) Así mismo, se tiene la presencia a lo largo de todo el proceso de hierro y calcio. Aunque el hierro no es un metal dañino para la salud, se constata que, debido a los valores de pH, existe una solubilización de este catión proveniente de los equipos de molienda, almacenamiento y transporte de los productos intermedios y finales. Esto podría indicar la presencia de otros metales que sí son dañinos para la salud presentes en las aleaciones de los materiales de construcción en concentraciones potencialmente tóxicas.

4) El calcio no es separado adecuadamente en los clarificadores y por ello ocasiona problemas de incrustación en las superficies de transferencia de calor de los intercambiadores de calor y los evaporadores, reduciendo su eficiencia y obligando a aumentar el consumo de vapor (que conlleva además caramelizaciones polimerizaciones de las mieles por transferencia de calor desigual y el consecuente oscurecimiento de los productos finales, además de su intrínseco decremento en eficiencia).

5). El área crítica para el desarrollo de *Leucosenteroides*, es la operación de alcalización. Dado que los microorganismos vienen con la materia prima, solamente pueden irse eliminando por el efecto de la

---

temperatura y los valores extremos de pH. Sin embargo, dada la termorresistencia de *L. mesenteroides*, este se encuentra en varios puntos del proceso. Este microorganismo es indeseable ya que convierte los azúcares en polímeros (gomas, especialmente dextranas) que, por un lado, dificultan las operaciones de clarificación, filtración, evaporación y cristalización y, por el otro, disminuyen el rendimiento global de sacarosa. Una temperatura baja y pH alto favorecen este desarrollo; sin embargo, un pH ligeramente ácido (6.5) y una temperatura elevada (>65 °C) son condiciones menos adecuadas para su desarrollo. Al proceso que cumple con estos parámetros se le conoce como alcalización fraccionada (Whalley, 1975).

6) La tendencia del rendimiento de sacarosa a lo largo de la zafra fue a la baja, debido principalmente a las condiciones para el control del proceso y a la presencia de *L. mesenteroides* a lo largo de todo el proceso de elaboración de azúcar.

## 5.1 RECOMENDACIONES

Finalmente y en base a los resultados obtenidos de este trabajo, se hacen las siguientes recomendaciones:

- \* Si existe lavado, se recomienda utilizar agua "tratada" en las mesas limpiadoras, ya que esta agua puede ser un punto crítico de contaminación para la caña.
- \* Buscar alternativas para disminuir el número de bacterias, como por ejemplo, el uso de lámparas ultravioleta en puntos o zonas muertas del proceso (Bolan-Mejía, 1993), para evitar focos de contaminación y mantener la asepsia con vapor vivo en las zonas críticas.
- \* Buscar el financiamiento a los productores de caña de azúcar para la implantación de máquinas cosechadoras/limpiadoras de caña, para evitar el incendio de los cañaverales que deteriora la caña, contamina y reduce el rendimiento, ya que de esta forma se disminuyen las reacciones de inversión de la sacarosa, se aumenta la "vida" de la caña al eliminar su deterioro por altas temperaturas, así como los problemas de contaminación ambiental inherentes a la "quema" de cañaverales, permite el uso de la fronda como forraje y aumenta el rendimiento final de azúcar.
- \* Buscar la automatización en la dosificación de reactivos en el control de pH, ya que las reacciones de floculación de lodos tienen un papel determinante en los rendimientos de sacarosa.
- \* Establecer un estricto control de calidad sobre proveedores responsables de suministrar cualquier tipo de reactivos químicos ya sean estos para uso directo en proceso o en laboratorio.
- \* Establecer y dar prioridad a la implantación de una área para microbiología como apoyo al departamento de producción para la detección y control de bacterias tales como *L. mesenteroides* la cual puede afectar tanto al equipo, velocidad, calidad y rendimiento del proceso de elaboración de azúcar.
- \* Implantar el proceso de alcalización fraccionada en el área de clarificación o alcalización con el equipo y técnicas más confiables, para tener un estricto control de pH y temperatura en este punto determinante y crítico para el desarrollo de *Leuconostoc mesenteroides*.

Por otra parte, se ha demostrado que el uso de la enzima denominada dextranasa, se puede utilizar para eliminar la dextrana generada por *L. mesenteroides* (Ipez-Munguía y Galvez, 1991). Las enzimas comerciales pueden operar en intervalos de pH de 4.5 a 6.0, a una temperatura de 50-60°C y funcionan adecuadamente si se adicionan al jugo entre la extracción y clarificación, manteniendo por 15 minutos el jugo de 50-56°C en un tanque, entre los calentadores primario y secundario. Una dosis recomendada es de 10 a 20 g de dextranasa por tonelada de caña tratada.

Esto indica que es necesario mantener un estricto control de calidad, especialmente para trabajar en los valores de pH, temperatura y humedad que minimicen las pérdidas de sacarosa y las de elementos indeseables presentes en los materiales de construcción y en las materias primas secundarias. Para ello el presente trabajo deja abierto el tema para realizar la auditoría de los equipos, tanto desde el punto de vista mecánico y de operación, como el energético para realmente establecer un sistema de calidad total.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón-Celis, S. 1975. Determinación de metales en jugos por absorción atómica. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
- Bates, Polarimetry, Saccharimetry and the Sugars, N B Circular C440, Washington D.C, 1942.
- Bolan-Mejía, C. 1993. Análisis químico-microbiológico del azúcar mascabado. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
- Campos, I. y Ríos, M.A. 1995. Tratamiento aerobio de vinazas pretratadas anaerobiamente en un reactor de biodiscos. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
- Castillo, H. 1996. Validación de las metodologías analíticas en un polarímetro y un cromatógrafo de líquidos de alta resolución. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
- Coca-Cola. 1995. Manual de Recepción de Materias Primas. Planta Cuautitlán. Cuautitlán, Mex. México.
- Collins C.H. 1989. Métodos microbiológicos. Ed. ACRIBIA S.A. Pp. 404. España.
- Durán de Bazua, C. 1994. Material didáctico. Auditorias ambientales en la industria de alimentos. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
- E.C. Gillett, Low Grade Sugar Crystallisation. Crockett, California, 1948.
- F.W. Zerban, The Colour Problem in Sucrose Manufacture, Tech. Report No. 2 Pp.2, Sugar Research Foundation, 1947.
- Honig, P. 1969. Principios de tecnología azucarera. Ed. FECSA Pp. 43-84, 212, 435, TOMO 1, México D.F. México.
- Jiménez, R.M. y Martínez, M.A. 1995. Instalación y arranque de un reactor anaerobio en un tren anaerobio-aerobio de una planta piloto de tratamiento de vinazas. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
- López-Munguía, C. y Galvez, A. 1991. Resumen del estudio del arte en la producción y aplicación de las enzimas amilasa y dextranasa. Boletín GE-PI-ACEA. Vol. VII, No. 5. México D.F. México.
- Oliver Lyle, Technology for Sugar Refinery Workers, Pp. 259, London, 1950.
- P. Honig, On Filtrability, paper presented to 11th Annual Meeting, Sugar Industry Technicians Inc., New York, 1951.
- Químicos de Banco. 1984. Manual para analistas de laboratorio azucarero. Ed. GE-PI-ACEA. México D.F. México.

---

Sartorius, 1991. Catálogo para pruebas microbiológicas utilizando técnicas de filtro de membrana. México D.F. México.

Spencer and Meade, Cane Sugar Hand book, Pp. 453, 8th Edition, 1945

Whalley, H.C.S, 1975. Métodos ICUMSA de análisis de azúcar. Ed. CONTINENTAL S.A. Pp.67-75,77-79,85-88. México D.F. México

## APÉNDICE. METODOLOGÍAS ICUMSA

### A.1 RECOMENDACIONES DE ANÁLISIS Y ESPECIFICACIONES PARA AZÚCAR COMO MATERIA PRIMA (Coca-Cola,1995)

#### LColor ICUMSA (International Comitte for Uniform Measurements in Sugar Analysis)

Especificación para azúcar refinada: No más de 50 Unidades ICUMSA

Especificación para azúcar estándar: No más de 750 Unidades ICUMSA

#### 1.1 Determinación de color en unidades ICUMSA

##### Preparación de la muestra

Disolver completamente 50 g. de azúcar en 50 g de agua desionizada (50°Bx) y filtrar la solución por membrana de 0.45 micrometros (comúnmente llamados "mieras")

##### Determinación:

Determinación de la absorbancia de la muestra filtrada a 420 nm diluyendo la muestra si es necesario, para que la lectura de absorbancia se encuentre en un intervalo de 0.0001 a 0.500 (preferentemente 0.350 - 0.500). Utilizar como blanco agua desionizada filtrada por membrana de 0.45 micrómetros.

Medir por refractometría los grados Bx de la muestra. Sustituir los valores correspondientes en la siguiente fórmula:

$$\text{Unidades ICUMSA} = (1000)(Mf)(r)(d)(60/100)$$

donde: 60 =°Bx de referencia

r = longitud de la celda de trabajo del espectrofotómetro en cm

d = densidad del jarabe a 60°Bx (1.28544)

Mf= 60' (°Bx de la muestra filtrada x Absorbancia a 420 nm de la muestra filtrada)

#### 2. Cenizas

Especificación para azúcar refinada: No más de 0.015% como "sulfatadas"

---

**Especificación para azúcar estándar: No más de 850 ppm como CaCO<sub>3</sub>**

**Preparación de la muestra:**

Disolver exactamente 25 g de azúcar en 75 g de agua desionizada. Verificar con el refractómetro que el contenido de azúcar corresponda exactamente a 25°Bx.

**Determinación**

Obtener la medición conductimétrica (expresada en micromho) del agua desionizada que se empleó para la dilución de la muestra. Considerar la introducción del parámetro de temperatura de las muestras del aparato de medición, si lo requiere.

Obtener la medición conductimétrica (expresada en micromho) de la muestra de azúcar a 25°Bx. Considerar la introducción del parámetro de temperatura de las muestras del aparato de medición, si lo requiere.

Sustituir los valores correspondientes en la siguiente fórmula:

$$\text{ppm de cenizas como CaCO}_3 = (A)(0.0005)(10000)(0.74)$$

donde: A = micromho de la muestra a 25°Bx; (0.43)(micromho del agua desionizada)

0.0005 = factor que elimina la interferencia de los °Bx del azúcar puro

0.74 = factor de conversión de cenizas "sulfatadas" a cenizas como CaCO<sub>3</sub>

10000 = factor que transforma el % de cenizas a ppm \*

### **3. Sulfitos (como bióxido de azufre, SO<sub>2</sub>)**

**Especificación para azúcar refinada: 0 ppm como máximo**

**Especificación para azúcar estándar: 10 ppm como máximo**

Añada aproximadamente 150 ml. de agua destilada a un matraz Erlenmeyer de 250 ml. . Añada 10 ml. de una solución indicadora de almidón al 1% y 5 ml. de HCl diluido (3N). Titule gota a gota con una solución de iodo 0.005 N hasta que un color pálido aparezca; Esto corrige la contribución de sulfitos provenientes del agua y de los reactivos. Rellene la bureta.

Pese exactamente 50 g de azúcar y añádalos al matraz. Disuelva por medio de un movimiento moderado. Titule la disolución. Si el color azul se mantiene, el azúcar no contiene sulfitos y la solución 0.1 N (solución stock utilizada para elaborar la solución titulante 0.005N) no necesita ser estandarizada. Si el color azul desaparece, titule la solución 0.005N hasta que el color azul pálido desaparezca. Anote la lectura de la bureta y reestandarize la solución stock 0.1 N.

Calcule las ppm de SO<sub>2</sub> con la siguiente fórmula:

$$\text{ppm de SO}_2 = (\text{ml. de iodo})(\text{Normalidad verdadera del iodo})(32.03)(10^4) \text{ g de azúcar}$$

La solución indicadora de almidón debe prepararse diariamente y debe estar a temperatura ambiente en el momento del análisis.

\*En el caso de azúcar refinada, para obtener sólo el % como sulfatadas, no debe multiplicarse por los factores 10000 y 0.74.

---

La solución stock 0.1 N debe mantenerse en un frasco ámbar y en refrigeración. La solución 0.005 debe prepararse a partir de la solución stock diariamente o cada vez que se efectuen los análisis.

#### 4. Prueba de dextrinas

No es necesario realizar esta prueba rutinariamente, sin embargo, es útil para determinar la causa de los problemas de filtración del azúcar de caña.

La prueba detecta la presencia de dextrinas o almidones desdoblados que pueden causar la filtración lenta del jarabe simple. Estas sustancias se presentan en cañas que han sido conservadas demasiado tiempo antes de procesarse, o mantenidas en condiciones adversas. Generalmente, cuando los niveles de dextrina son altos, las cantidades de materiales insolubles son también altos y los jarabes simples muestran problemas de turbidez.

#### Equipo

Vaso de precipitado de 1000 mL.

Papel filtro grueso

Gotero

#### Reactivos

Solución de yodo diluido

#### Procedimiento

1. Prepare 600 mL de una solución de azúcar de 55 °Bx (aproximadamente 415 gramos de azúcar y 340 mL de agua fría).
2. Filtre a través del papel filtro.
3. Agregue unas cuantas gotas de la solución de yodo al papel filtro. Un tinte rojizo a púrpura indica la presencia de dextrinas y/o almidones.

#### 4. Humedad

Especificación para azúcar refinada: 0.06% como máximo

Especificación para azúcar estándar: 0.06% como máximo

##### 4.1 Método gravimétrico

Se pesan 10 g de la muestra en una termobalanza, programándose ésta a 105°C durante 3 horas ( las condiciones pueden variar dependiendo de las especificaciones de la termobalanza).

Seca la muestra, la pérdida de peso es expresada como el porcentaje de la humedad de la muestra original de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Humedad} = 100 (W1-W2) / W1$$

donde: W1 = peso del azúcar antes del secado  
W2 = peso del azúcar después del secado

## 4.2 Método Karl- Fischer

Pesar 0.1-0.3 g de azúcar en una cuchara de muestreo previamente tarada en una balanza analítica y tapar inmediatamente

En el aparato de medición Karl Fischer se prepara el vaso de reacción llenándolo de una mezcla 50:50 metanol-formamida hasta que el electrodo se cubre perfectamente. Se acondiciona la mezcla metanol-formamida titulando con el reactivo de Karl-Fischer hasta que toda la humedad presente quede eliminada.

La mezcla se calienta en un agitador mecánico hasta 50 °C, evitando que hierva o que se forme condensación en las paredes. Se añade la muestra de azúcar rápidamente y se cierra el vaso de reacción mientras se agita magnéticamente. Previamente, el peso de la muestra se programa (debe tomarse en cuenta el azúcar que pueda quedarse en el cucharón).

Cuando toda el azúcar se observe disuelta, se comienza la titulación. Los aparatos automáticos producen el "o" de humedad automáticamente.

## 5. Turbidez

Especificación para azúcar refinada: Ninguna turbidez presente

Especificación para azúcar estándar: No ha sido establecida.

### 5.1 Determinación para azúcar refinada

Preparar 400 ml de una solución de azúcar a 50 Bx disolviendo 246 g de azúcar en 246 g de agua destilada. Examine 200 ml de solución de azúcar a 50 Bx usando una lámpara de alta intensidad. Si hay turbidez presente, filtre la muestra a través de papel Whatman No. 54 o equivalente, y examine el filtrado para turbidez.

### 5.2 Determinación para azúcar estándar

Se pesan 50 g de muestra y se disuelven en 50 g de agua para llevar a un bris de 50. Se llena la celda del turbidímetro con la disolución y se cierra la tapa firmemente. Se limpia perfectamente la celda de manera que no tenga manchas, huellas digitales o alguna otra cosa que obstruya el paso de la luz.

Se introduce la celda a su compartimiento y se toma la primera lectura (posteriores lecturas son erróneas debido a los cambios de densidad por la temperatura). Los valores son dados directamente en UNT (Unidades de turbiedad nefelométrica).

El turbidímetro debe encontrarse calibrado de acuerdo a las especificaciones del equipo.

## 6. Calidad microbiológica\_ufc (Unidades formadoras de colonias)

Especificación para azúcar refinada: Cuenta total 200 ufc/10 g

Levaduras 10 ufc/10 g

Hongos 10 ufc/10 g

Especificación para azúcar estándar: Cuenta total 200 ufc/10 g

Levaduras 10 ufc/10 g

Hongos 10 ufc/10 g

---

**Procedimiento:**

Pese 10 g de azúcar en un matraz erlenmeyer de 250 ml. estéril, marcando para indicar un volumen de 100 ml. Añada de manera aseptica agua estéril hasta la marca de los 100 ml. Cúbralo con una envoltura estéril y agite lo suficiente para disolver el azúcar. Flamee ligeramente la boca del frasco. Vacie la solución directamente al embudo de filtración. Cubra el embudo y aplique el vacío de manera que la muestra pase a través de la membrana. Utilizando una técnica aseptica lave el frasco Erlenmeyer con dos alícuotas de 20 ml. de agua estéril y use cada una de ellas para enjuagar la membrana y el embudo de filtración.

Transfiera la membrana a una caja petri estéril conteniendo:

- a. Medio M-TGE para cuenta total
- b. Medio M-Green para cuenta de hongos y levaduras

Incube las cajas y realice el conteo de la siguiente manera:

- a. Cuenta total: 35° C, 24 y 72 hrs.
- b. Hongos y Levaduras: 28° C, 48 hrs. y a intervalos de 24 hrs. hasta completar 5 días.

**NOTA:** Si se obtienen cuentas totales altas, reduzca el peso inicial de la muestra a 5 g y diluya a 100 mL con agua estéril.

---

## 6. DEFINICIONES GENERALES (Químicos de Banco, 1984)

### AZÚCAR CRUDO

El azúcar granulado lavado y separado por el proceso de centrifugación; se utiliza como materia prima en las refineras.

### AZÚCAR ESTÁNDAR BLANCO

El azúcar granulado lavado que se seca y se envasa para consumo humano directo, sin haber sido refinado.

### AZÚCAR GRANULADO

El producto constituido por cristales aislados de azúcar, cuyas dimensiones se encuentran, más o menos, entre los 0.2 y los 0.8 mm.

### AZÚCAR MASCABADO

El azúcar granulado separado, etc., sin ser sometido a lavado en las centrifugas, y que, por lo tanto, conserva en la superficie de los cristales una película de miel no eliminable en la operación de centrifugación.

### AZÚCARES REDUCTORES

Las sustancias reductoras existentes en la caña y sus productos calculadas como azúcar invertido. El término más antiguo de glucosa ha caído en desuso como sinónimo de azúcares reductores. En muchos ingenios se llaman "invertidos" a los azúcares reductores, y este término posee la ventaja de su sencillez y no crea la confusión que creaba el uso del término glucosa.

### BAGAZO

El residuo que se obtiene al moler la caña en uno o más molinos. En general se refiere al que sale del último molino, a menos que se especifique otra cosa.

### BRIX

El porcentaje, en peso, de la materia sólida, según lo indica un hidrometro Brix u otro instrumento densimétrico. En sentido estricto, el brix es el porcentaje en peso, de los sólidos contenidos en una solución de sacarosa pura. Por acuerdo general representa los sólidos aparentes que contiene una solución de azúcar.

### CAÑA

La materia prima entregada al ingenio que incluye la caña limpia, la paja proveniente del campo, humedad, tierra, etc.

### DENTRANAS

Compuestos de alto peso molecular, solubles en agua. Son polímeros de una sola clase de azúcar, la glucosa, cuya molécula se forma por condensación de las de ésta en forma de cadena recta. Son producto del metabolismo de la bacteria *Leuconostoc mesenteroides* y se forman en las células de la caña trozada, mojada, quemada o helada. También se encuentran en los ingenios cuando existen condiciones que ayudan al crecimiento bacteriano. Estas gomas afectan la "filtrabilidad" y provocan

---

pérdidas del rendimiento del orden del 10% de la producción de azúcar o incluso mayores.

#### **FACTOR DE DETERIORO O DE SEGURIDAD**

Es un factor que indica la probable resistencia de los azúcares al deterioro; este se calcula dividiendo el porcentaje de humedad en el azúcar entre el porcentaje de sacarosa en el azúcar. Se considera peligroso un factor de 0.25

#### **IMBIBICION**

El proceso en el cual se aplica agua o guarapo diluido al bagazo, para que se mezcle con el jugo existente en este y lo diluya. El agua que así se usa se llama agua de imbibición

#### **JUGO "AL CALIZADO"**

El jugo al que se le ha agregado lechada de cal.

#### **JUGO CLARIFICADO**

El jugo que entra al evaporador de múltiple efecto

#### **JUGO O GUARAPO**

Todos los solidos disueltos que contienen la caña, más el agua total que sale de la caña.

#### **JUGO PRIMARIO**

Todo el jugo que se ha exprimido antes de comenzar la dilución con agua de imbibición.

#### **JUGO SULFITADO**

El jugo que sale de la torre o de los tanques de sulfitación.

#### **MAGMA**

Mezcla de cristales y melaza o jarabe denso.

#### **MASA COCIDA**

El concentrado de jarabe o melaza en el cual ha cristalizado el azúcar o el material que se ha concentrado a punto de cristalización. Las masas cocidas se designan por nombres, números o letras que indican su pureza relativa.

#### **MELADURA**

El jugo concentrado que sale de los evaporadores de múltiple efecto, antes de que se haya extraído de él azúcar alguno por cristalización.

#### **MELAZA O MIEL INCRISTALIZABLE**

Cuando la masa cocida se separa en una maquina centrífuga, los cristales de azúcar se separan del licor madre y a este se le denomina melaza. La melaza final es el residuo líquido del cual no resulta económico extraer más azúcar.

#### **POL**

Cantidad de sacarosa determinada por polarización, en una solución azucarada.