



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE
CINCO MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AZÚCAR
PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE REFRESCOS**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARÍA MERCEDES GARCÍA SOLÓRZANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1997

**PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central**

08
TC(4202)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE
CINCO MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AZÚCAR
PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE REFRESCOS**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 27 de noviembre de 1996.



María Mercedes García Solórzano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1°	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL 2°	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3°	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4°	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5°	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Espinosa Smith
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Thelma Marisela Cano Morales
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, octubre de 1997

Ingeniero
Adolfo Narciso Gramajo Antonio
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Presente

Señor Director:

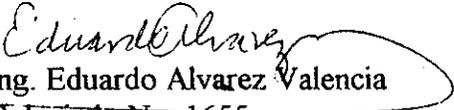
Por este medio me permito comunicarle que he asesorado el trabajo de tesis titulado **ANALISIS COMPARATIVO DE CINCO METODOS DE TRATAMIENTO DE AZUCAR PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE REFRESCOS**, de la estudiante MARIA MERCEDES GARCIA SOLORZANO, con carnet No. 9112101.

Considero que dicho trabajo llena los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Química, por lo que es conveniente que se apruebe y se proceda a la autorización del mismo.

Dejo constancia que la fase práctica de esta investigación incluyó algunos de los procesos de tratamiento de azúcar que actualmente se utilizan en la elaboración de bebidas gaseosas en Guatemala.

Me suscribo de usted.

Atentamente,


Ing. Eduardo Alvarez Valencia
Colegiado No. 1655



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 23 de octubre de 1,997.

Ingeniero
Julio Chávez Montúfar
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

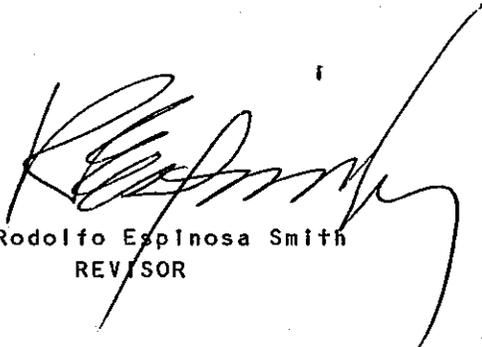
Estimado Ingeniero Chávez.

Hago de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis de la estudiante **María Mercedes García Solorzano**, titulado: **ANALISIS COMPARATIVO DE CINCO METODOS DE TRATAMIENTO DE AZUCAR PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE REFRESCOS**, dejo constancia de aprobación para proceder a la autorización del respectivo trabajo.

Agradeciendo la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Rodolfo Espinosa Smith
REVISOR



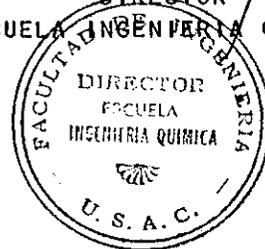
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ingeniero Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen de Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de tesis de la estudiante María Mercedes García Solórzano, titulado: **ANALISIS COMPARATIVO DE CINCO METODOS DE TRATAMIENTO DE AZUCAR PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE REFRESCOS**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Chávez Montúfar
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 20 de noviembre de 1,997.



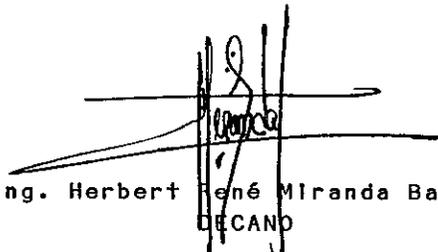
FACULTAD DE INGENIERIA

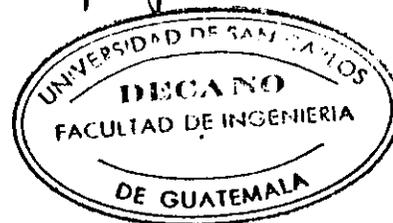
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **ANALISIS COMPARATIVO DE CINCO METODOS DE TRATAMIENTO DE AZUCAR PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE REFRESCOS**, de la estudiante Maria Mercedes Garcia Solórzano, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, 20 de noviembre de 1,997.

A mis padres:

Dr. Rafael A. García Flores

Ana María Solórzano de García

ÍNDICE GENERAL

	Página
GLOSARIO	iii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vi
INTRODUCCIÓN	vii
1. Azúcares granuladas	vii
2. Azúcares líquidas	viii
2.1. Sacarosa líquida	viii
2.2. Azúcar de inversión media	ix
2.3 Jarabes de alta fructosa	ix
1. RESUMEN	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1. Descripción de los métodos	
2.1.1. Filtración simple	2
2.1.2. Filtración simple utilizando ayudas filtrantes	3
2.1.3. Proceso con carbón en caliente	4
2.1.4. Proceso con carbón en frío	6
2.1.5. Ajuste del pH	6
2.2. Revisión de literatura	7
3. JUSTIFICACIONES	8
4. OBJETIVOS	9
5. HIPÓTESIS	10

6. RESULTADOS	11
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	18
8. CONCLUSIONES	23
9. RECOMENDACIONES	24
10. BIBLIOGRAFÍA	25
11. ANEXOS	26
11.1. Metodología	27
11.1.1. Métodos de tratamiento de azúcar	27
11.1.2. Método para determinación de color y turbidez	28
11.1.3. Método para determinación de conteos microbiológicos	28
11.2. Muestra de Cálculos	28
11.2.1. Color	28
11.2.2. Turbidez	30
11.2.3. Porcentajes de remoción	31
11.2.4. Costos	31
11.3. Gráficas	34
11.4. Tablas	40

GLOSARIO

- **AYUDA FILTRANTE:** polvo fino, poroso de peso ligero, que es inerte y no tiene efecto en las características físicas o químicas del jarabe. Usualmente, es molido de la sílice diatomácea pura, y es vendido bajo varios nombres comerciales, comúnmente referidos como "tierras diatomáceas".
- **COLOR:** es uno de los parámetros más importantes en relación a la calidad del azúcar, y uno de los principales objetivos del proceso de refinado del azúcar. Básicamente es causado por colorantes inherentes de la caña, o bien por colorantes que se generan como resultado del proceso de refinado. Las principales categorías de los colorantes del azúcar incluyen productos fenólicos, melanoidinas, y productos de la caramelización o degradación.
- **GRADO BRUX:** sistema de graduación concebido por Ballig y comprobado por Brix en 1854. El grado Brix es el porcentaje en peso de la sacarosa en una solución de azúcar pura. Se acostumbra considerarlo como el porcentaje de materia sólida (o sólidos totales) disueltos en el líquido, aunque esto es solamente cierto en las soluciones de azúcar puro.
- **ICUMSA:** Comisión Internacional para la Unificación de Métodos de Análisis de Azúcar, por sus siglas en inglés.

- **JARABE SIMPLE:** nombre que recibe en la industria de embotellado de refrescos la solución concentrada de azúcar y agua, que sirve de base para la preparación del Jarabe Terminado (mezcla de jarabe simple con saborizantes y aromatizantes).
- **TURBIDEZ:** al igual que el color, la turbidez es un parámetro muy importante al medir la calidad del azúcar. La turbidez en una solución de azúcar es causada por compuestos tales como polisacáricos, polifenoles de alto peso molecular (usualmente de pigmentos de plantas), minerales suspendidos (cenizas), cera de caña y otras partes de la planta. Se ha comprobado que la turbidez tiene una alta correlación con las características sensoriales atípicas en los refrescos carbonatados.
- **U.F.C.:** unidades formadoras de colonias. Término en que se reportan los resultados microbiológicos.
- **U.I.:** unidades ICUMSA. En estas unidades se reporta el color y la turbidez que han sido determinado siguiendo los procedimientos ICUMSA.

ÍNDICE DE GRÁFICAS

<u>Gráfica No.</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Porcentajes de remoción de color	13
2	Porcentajes de remoción de turbidez	14
3	Resultados microbiológicos	16
4	Diagrama de bloques para el método de filtración simple	35
5	Diagrama de bloques para el método de filtración simple con ayuda filtrante	36
6	Diagrama de bloques para el método de tratamiento con carbón en frío	37
7	Diagrama de bloques para el método de tratamiento con carbón en caliente	38
8	Diagrama de flujo para el método de tratamiento con carbón en caliente	39

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla No.</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1	Porcentajes de remoción de color y turbidez	12
2	Resultados microbiológicos	15
3	Comparación de costos de insumos	17
4	Porcentajes de remoción de color y turbidez, método de filtración simple	41
5	Porcentajes de remoción de color y turbidez, método de filtración simple con ayuda filtrante	42
6	Porcentajes de remoción de color y turbidez, método de tratamiento con carbón en frío	43
7	Porcentajes de remoción de color y turbidez, método de tratamiento con carbón en caliente	44
8	Datos originales, método de filtración simple	45
9	Datos originales, método de filtración simple con ayuda filtrante	46
10	Datos originales, método de tratamiento con carbón en frío	47
11	Datos originales, método de tratamiento con carbón en caliente	48
12	Brix y concentración de sólidos de soluciones de azúcar a 20°C	49

INTRODUCCIÓN

El azúcar es utilizada en los refrescos carbonatados para proporcionar el dulzor y cuerpo deseados. Es necesario que el azúcar sea de la más alta pureza para obtener mayores beneficios. Está comprobado que impurezas en el azúcar pueden afectar adversamente los atributos sensoriales de la bebida, al mismo tiempo que pueden contribuir a la posibilidad de descomposición de la misma.

El azúcar está disponible en varias formas, de acuerdo a su proceso de elaboración y tratamientos posteriores. En el caso de la industria de refrescos, los siguientes tipos de azúcar son los más utilizados:

1. Azúcares granuladas

El azúcar granular (sacarosa) puede obtenerse de dos fuentes: caña de azúcar ó remolachas de azúcar. Estas dos fuentes deben ser procesadas debidamente para resultar en un producto terminado que pueda cumplir con los estándares para sacarosa granular exigidos por el fabricante de refrescos.

Las ventajas de utilizar azúcar granular son que, precisamente por encontrarse en esa forma, resiste la contaminación o descomposición por microorganismos, además que los gastos para su almacenaje y equipo de manejo son mínimos. El azúcar debe ser recibida y descargada en forma sanitaria, completamente seca, y mantenerse en un área de almacenamiento adecuada.

Para operaciones a gran escala, el manejo del azúcar a granel ofrece disminución de costos y ventajas en la operación. En este caso, pueden utilizarse silos para el almacenaje, y posteriormente pueden automatizarse los sistemas de medición y manejo.

2. Azúcares líquidas

Existen tres tipos principales de azúcar líquida utilizadas comúnmente en la industria de bebidas:

2.1. Sacarosa líquida

La sacarosa líquida no es más que una solución de azúcar de caña o remolacha en agua. Las ventajas de utilizarla son que permite un manejo fácil y un control preciso. Sin embargo, presenta la desventaja de no ofrecer una buena resistencia contra los organismos que pueden descomponerla, debido a su alto contenido de agua. Debido a ello, es necesario que el tiempo requerido para su medición, mezcla, y ajuste del Brix para preparar el jarabe sea el mínimo posible. Generalmente, no se recomienda que las industrias de bebidas utilicen esta fuente de azúcar a menos que sea fabricada por la misma planta y utilizada de inmediato.

2.2. Azúcar de inversión media

El azúcar de inversión media es una mezcla de sacarosa y otros sólidos de azúcar (glucosa y fructosa). Debido a su naturaleza, este tipo de azúcar puede ser altamente concentrada sin riesgo de cristalización. Las ventajas de utilizarla son la facilidad de su manejo y su alta resistencia a la descomposición por microorganismos debido a su densidad. Además, esta alta densidad ahorra espacio de almacenamiento. La desventaja es que es difícil de producir, pues se requiere una inversión considerable y experiencia técnica.

2.3. Jarabes de alta fructosa

Este tipo de azúcar es muy similar al descrito en el inciso anterior, con la diferencia de que toda la sacarosa ha sufrido el proceso de inversión, por lo que contiene en su mayor parte fructosa, dextrosa y sólo una pequeña porción de sacáridos mayores. Estos jarabes suelen clasificarse según su contenido de fructosa (por ejemplo, el J.A.F. 52 es el Jarabe de Alta Fructosa que contiene 55% de fructosa, 38% de dextrosa y 4.5% de sacáridos mayores). Al igual que los otros tipos de azúcar líquida, los J.A.F. pueden ofrecer la ventaja de eliminar los problemas del manejo de materiales durante el almacenaje y transporte del azúcar granular, así como acortar el tiempo necesario para preparar los lotes de jarabe.

Actualmente, en Guatemala no existe ninguna industria que ofrezca cualquiera de los tipos de azúcares líquidos descritos anteriormente, por lo que las industrias de bebidas se ven en la necesidad de utilizar únicamente azúcar granular, debiendo disolverla para obtener un "Jarabe Simple" que es el que se maneja posteriormente para elaborar la bebida. Dependiendo del tipo de refresco o bebida que se desee preparar, los estándares del azúcar son más o menos estrictos. Con el propósito de cumplir con esos estándares puede utilizarse alguno de los cinco métodos generales de filtración y/o tratamiento de azúcar que se describen a continuación:

- 1.- Filtración simple
- 2.- Filtración simple utilizando medios de ayuda para la filtración
- 3.- Tratamiento con carbón en caliente
- 4.- Tratamiento con carbón en frío
- 5.- Disminución del pH

1. RESUMEN

Se trabajó con muestras de azúcar granular refinada y estándar de varios ingenios guatemaltecos. Estas muestras fueron tratadas mediante los cuatro principales métodos de tratamiento de azúcar empleados actualmente por industrias embotelladoras de refrescos carbonatados. El quinto método no se aplicó debido a que no es utilizado por estas industrias.

Se analizó el color y la turbidez de las soluciones antes y después de cada método de tratamiento, obteniendo porcentajes de remoción de color y turbidez para cada uno de ellos. Se utilizaron los métodos ICUMSA para medición de color y turbidez.

Además, se hicieron siembras microbiológicas a las soluciones tratadas, con el fin de comparar los resultados.

Finalmente, se hizo un estudio comparativo de costos entre estos métodos en cuanto a insumos utilizados, en base a experiencias de una industria embotelladora.

Los resultados reflejaron que el método más eficiente en la remoción de color y turbidez, y en la disminución de conteos microbiológicos es el método de tratamiento con carbón en caliente. Este método resulta ser a la vez el más costoso.

2. ANTECEDENTES

2.1. Descripción de los métodos

2.1.1. Filtración simple

La filtración simple es el método más común en el tratamiento de azúcar. Normalmente, se utiliza un filtro de placas, con hojas de papel filtro de peso ligero como medio filtrante. El jarabe simple se prepara a partir del azúcar y agua. El filtro actúa como un pulidor o un colador fino: remueve polvo, residuos del empaque, o cualquier otra materia que pudiera venir con el azúcar o su empaque. Estas impurezas son atrapadas y retenidas en la superficie del papel filtro mientras el líquido limpio lo atraviesa.

Los caudales de filtración varían según del tipo de filtro, tamaño de la bomba, y temperatura del jarabe. Un jarabe cuya concentración está entre los 55 y 60°Bx, como el utilizado para la preparación de bebidas carbonatadas, pasará a través de la mayoría de filtros de placas a un caudal aproximado de 190 litros por hora por pie cuadrado de superficie de filtración.

Este método se recomienda para los casos en que se trabaja con azúcar granular de la más alta calidad.

2.1.2. Filtración simple utilizando ayudas filtrantes

Algunas veces, el azúcar granular disponible contiene materiales que ocasionan que aparezcan partículas muy finas suspendidas, o materia coloidal en el jarabe simple cuando se disuelve el azúcar. Si se utiliza el método de Filtración Simple con este tipo de azúcar, las materias suspendidas y coloidales en el jarabe atraviesan el filtro y logran llegar hasta los tanques de almacenamiento del jarabe filtrado, o bien son atrapadas por las hojas de papel filtro, y este medio filtrante se satura rápidamente.

Se utiliza el término "ayudas filtrantes" para describir un polvo fino, poroso de peso ligero, que es inerte y no tiene efecto en las características físicas o químicas del jarabe. Usualmente, es molido de la sílice diatomácea pura, y es vendido bajo varios nombres comerciales, comúnmente referidos como "tierras diatomáceas".

Cuando se mezcla la ayuda filtrante con agua, y esta solución se bombea a través del filtro, el polvo forma en las hojas del filtro una torta rígida casi completamente incompresible, consistente en aproximadamente 10% de sólidos, y el 90% restante de espacios abiertos. Esta llamada "pre-capa" en las hojas de filtración, atraparé y retendrá las impurezas del jarabe simple antes de que se vea afectada la eficiencia del filtro. De hecho, las tierras diatomáceas mejorarán la eficiencia del filtrado, al proteger la superficie filtrante de saturación. Esto asegura mayores tasas en el flujo de filtración. Además, su uso tiene la ventaja de que puede desecharse el desperdicio fácilmente por ser sólidos manejables.

Existen dos modalidades del uso de ayudas filtrantes en la filtración de azúcar. En la primera, las hojas filtrantes se cubren con una capa de la ayuda filtrante de aproximadamente 1/16" de grosor ("pre-capas"). Es en esta capa donde la filtración efectiva se lleva a cabo, pues las hojas filtrantes sirven principalmente sólo como soporte de la pre-capas. En la segunda modalidad, la ayuda filtrante se añade directamente al lote de jarabe simple en el tanque donde se mezcla antes de ser bombeado al filtro ("alimentación directa"). Durante la filtración, la ayuda filtrante en el jarabe se suma continuamente a la pre-capas en el filtro ayudando a mantener la superficie filtrante "abierta", lo cual previene la saturación del filtro por la materia suspendida.

La cantidad de ayuda filtrante requerida en la preparación de un lote de jarabe simple varía de acuerdo a la calidad del azúcar utilizada. Generalmente se determina por prueba y error en la planta. En la alimentación directa normalmente se emplea 0.1 - 0.25 % del peso del azúcar en el jarabe simple.

Para el éxito en el uso de ayudas filtrantes, se necesita una presión constante en el equipo durante la filtración, para evitar que la torta de tierras diatomáceas se desprenda del elemento filtrante y colapse.

2.1.3. Proceso con carbón en caliente

Algunas impurezas de algunos azúcares comerciales no pueden ser removidas por filtración simple (con o sin ayudas filtrantes). Estas impurezas pueden causar olores extraños, variaciones en el sabor, y defectos de apariencia en los jarabes y bebidas. En muchos casos, dichos azúcares pueden convertirse en aceptables si el jarabe simple es tratado con carbón activado en polvo a temperaturas de aproximadamente 80°C.

Calentar la solución de jarabe simple ayuda al carbón activado a remover impurezas (mejorando por consiguiente el sabor, olor y apariencia), matando a la vez las levaduras, mohos y bacterias que pudiera contener el jarabe. Además disminuye la viscosidad del jarabe, aumentando los flujos de filtración.

El procedimiento general empleado en el proceso con carbón en caliente consiste en calentar el agua antes de agregar el azúcar. El carbón (y una cantidad de ayuda filtro igual a la cantidad de carbón utilizado) se añade al tanque durante la mezcla del agua y el azúcar. Esta mezcla se "coce" durante al menos 15 minutos, y luego se filtra a través de un filtro al que previamente se le hizo una pre-capa con la ayuda filtrante. Para lograr el efecto bactericida, inmediatamente después de la filtración es necesario enfriar el jarabe simple a temperatura ambiente. La dosificación usual de carbón es de 0.25 a 0.50% del peso del azúcar empleada.

Al emplear este método, se hace necesario que el filtro para el jarabe cuente con un espacio suficientemente grande para contener la pre-capa de ayuda filtro, la "alimentación directa" y el carbón activado que se utilice. Además, debe permitirse un espacio adicional para el sedimento y cenizas que vengan con el azúcar.

Los flujos de filtración para este proceso son difíciles de predecir, pues son fuertemente influenciados por el tipo de impurezas que presente el azúcar.

2.1.4. Proceso con carbón en frío

Aunque el proceso con carbón en caliente es muy eficiente, el equipo necesario es caro, y la operación tediosa y demandante de controles estrictos. En muchos casos, el azúcar fuera de estándares puede convertirse en aceptable al utilizar carbón activado como en el método anterior, pero sin los pasos de calentamiento y enfriamiento de la solución.

La principal desventaja de este método es que el jarabe frío, o a temperatura ambiente, tiene una viscosidad más alta y por ello los flujos de filtración se ven reducidos grandemente. Además, se pierde el efecto bactericida del calentamiento del jarabe.

2.1.5. Ajuste del pH

La disminución del pH del jarabe simple hasta un rango de 3.5 a 4.5 con ácido fosfórico de grado alimenticio previo al uso de carbón activado en los dos métodos anteriores generalmente mejorará la eficiencia del tratamiento. Esto es principalmente debido a que se incrementa la eficiencia de remoción de color del carbón activado.

En las gráficas No. 4 a 7 pueden apreciarse los diagramas de bloques para los cuatro primeros métodos de tratamiento descritos. Allí se reflejan las principales diferencias tanto de proceso como de insumos utilizados. La gráfica No. 8 muestra un diagrama de flujo del método de tratamiento con carbón en caliente.

2.2. Revisión de literatura

Dentro de los trabajos publicados sobre temas relacionados al tratamiento de azúcar, se encuentran:

- * "ANALYTICAL methods used in sugar refining". Inglaterra: Elsevier Publishing Co. Ltd., 1970.
- * PORTA Arqued, Antonio, "Fabricación del azúcar". Primera edición. España: Salvat Editores, S.A., 1955.
- * KIRK - Othmer, "Enciclopedia de tecnología química". Tomo II, Páginas 857 - 941. Primera edición en español. México: Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, 1961.
- * SOLÓRZANO Contreras, Luis Enrique, "Refinamiento de varios azúcares comerciales hasta un estándar establecido de calidad". Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala, 1985.

Este último trabajo evalúa los resultados del tratamiento de azúcar mediante el método tratamiento con carbón en caliente al variar temperaturas, tiempos de cocción, concentración de carbón, y concentración de azúcar.

3. JUSTIFICACIONES

Este estudio, según lo expuesto en la Introducción, es de interés para la industria de bebidas en Guatemala, pues por el momento no existe un proveedor local de cualquier tipo de azúcar líquida, por lo que se hace necesario trabajar con azúcar granular. Además, según las políticas de ventas y exportaciones del país, el azúcar para venta nacional no es la de mejor calidad, y frecuentemente no cumple con los estándares requeridos para la elaboración de dichas bebidas. Es por esto que se necesita tener referencia en cuanto a los distintos métodos que hay para elevar la calidad de las soluciones de esta azúcar, y la relación costo-beneficio de cada uno de ellos.

4. OBJETIVOS

- 1.- Dar a conocer los cinco métodos generales de filtración y/o tratamiento de azúcar.
- 2.- Comparar estos métodos en cuanto a los siguientes parámetros:
 - * porcentaje de remoción del color inicial
 - * porcentaje de remoción de la turbidez inicial
 - * disminución de los recuentos microbiológicos
 - * costos

5. HIPÓTESIS

Si se evalúan los métodos más comunes de tratamiento de azúcar en cuanto a remoción de color y turbidez, así como disminución de conteos microbiológicos, se puede determinar el método más efectivo entre varias opciones de tratamiento que pueden emplearse satisfactoriamente, dependiendo de la calidad inicial del azúcar y de las prácticas utilizadas para su manejo.

6. RESULTADOS

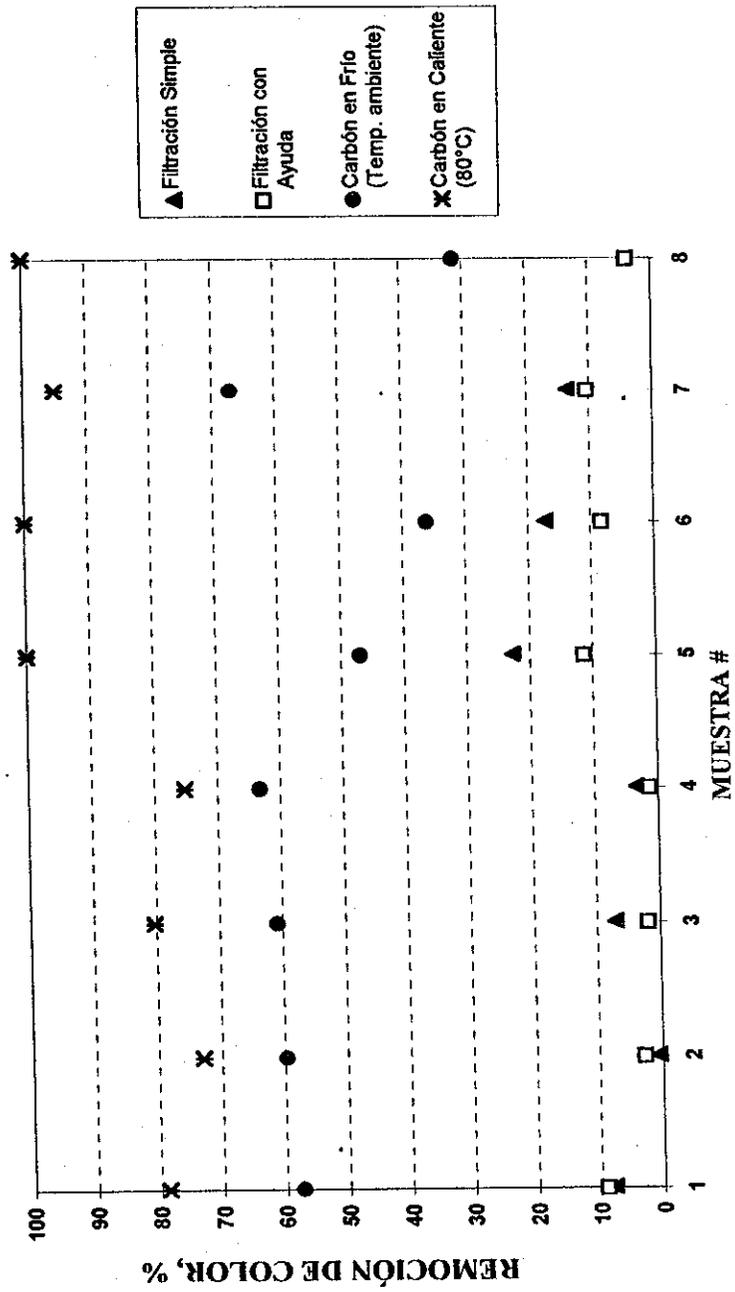
A continuación se presentan los resultados obtenidos después de efectuado el tratamiento de las muestras de azúcar trabajadas. Los porcentajes de remoción de color y turbidez para los cuatro métodos evaluados se resumen en la tabla No. 1, y pueden ser más fácilmente visualizados en las gráficas No. 1 y 2. Los resultados microbiológicos se presentan en la tabla No. 2 y en la gráfica No. 3. Finalmente, la tabla No. 3 presenta los resultados de la comparación de costos entre métodos.

TABLA NO. 1: Porcentajes de remoción de color y turbidez***

# MUESTRA	FILTRACIÓN SIMPLE		FILTRACIÓN SIMPLE CON AYUDA		CARBÓN EN FRÍO (TEMP. AMBIENTE)		CARBÓN EN CALIENTE (80°C)	
	REMOCIÓN DE COLOR, %	REMOCIÓN DE TURBIDEZ, %	REMOCIÓN DE COLOR, %	REMOCIÓN DE TURBIDEZ, %	REMOCIÓN DE COLOR, %	REMOCIÓN DE TURBIDEZ, %	REMOCIÓN DE COLOR, %	REMOCIÓN DE TURBIDEZ, %
1	7.96	40.95	9.10	89.29	57.33	85.72	78.70	84.01
2	0.61	18.97	2.79	98.34	59.75	91.75	73.00	91.61
3	7.11	13.42	2.01	98.69	60.92	95.01	80.39	100.00
4	3.40	23.73	1.40	100.00	63.26	78.81	75.25	82.41
5	22.70	60.28	11.39	100.00	47.04	100.00	100.00	90.82
6	17.27	33.23	8.32	100.00	36.11	100.00	100.00	90.43
7	13.53	50.36	10.36	96.67	67.09	86.97	95.05	79.42
8	3.96	37.01	3.82	87.46	31.48	97.50	100.00	95.60

*** Color y turbidez están dados es Unidades ICUMSA.

GRÁFICA NO. 1: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR



GRÁFICA NO. 2: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ

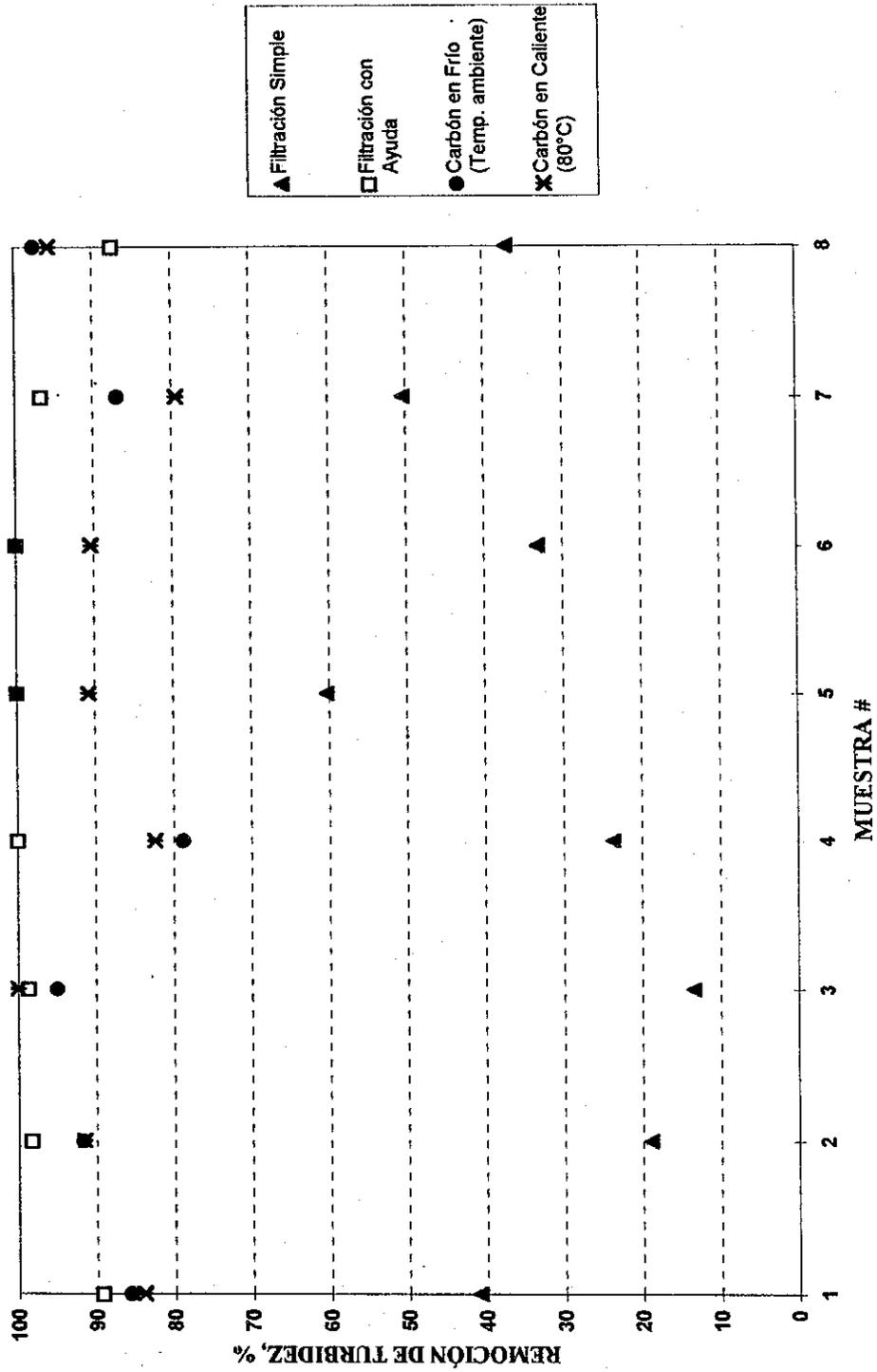


TABLA NO. 2: Resultados Microbiológicos***

MÉTODO	NO. MUESTRA	MOHOS	LEVADURAS
Filtración Simple	1	3	27
	2	6	39
Filtración con Ayuda	1	4	48
	2	4	29
Carbón en Frío (Temperatura ambiente)	1	2	31
	2	4	28
Carbón en Caliente (80°C)	1	0	7
	2	1	4

*** Expresados como UFC / 10 ml

GRÁFICA NO. 3: RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

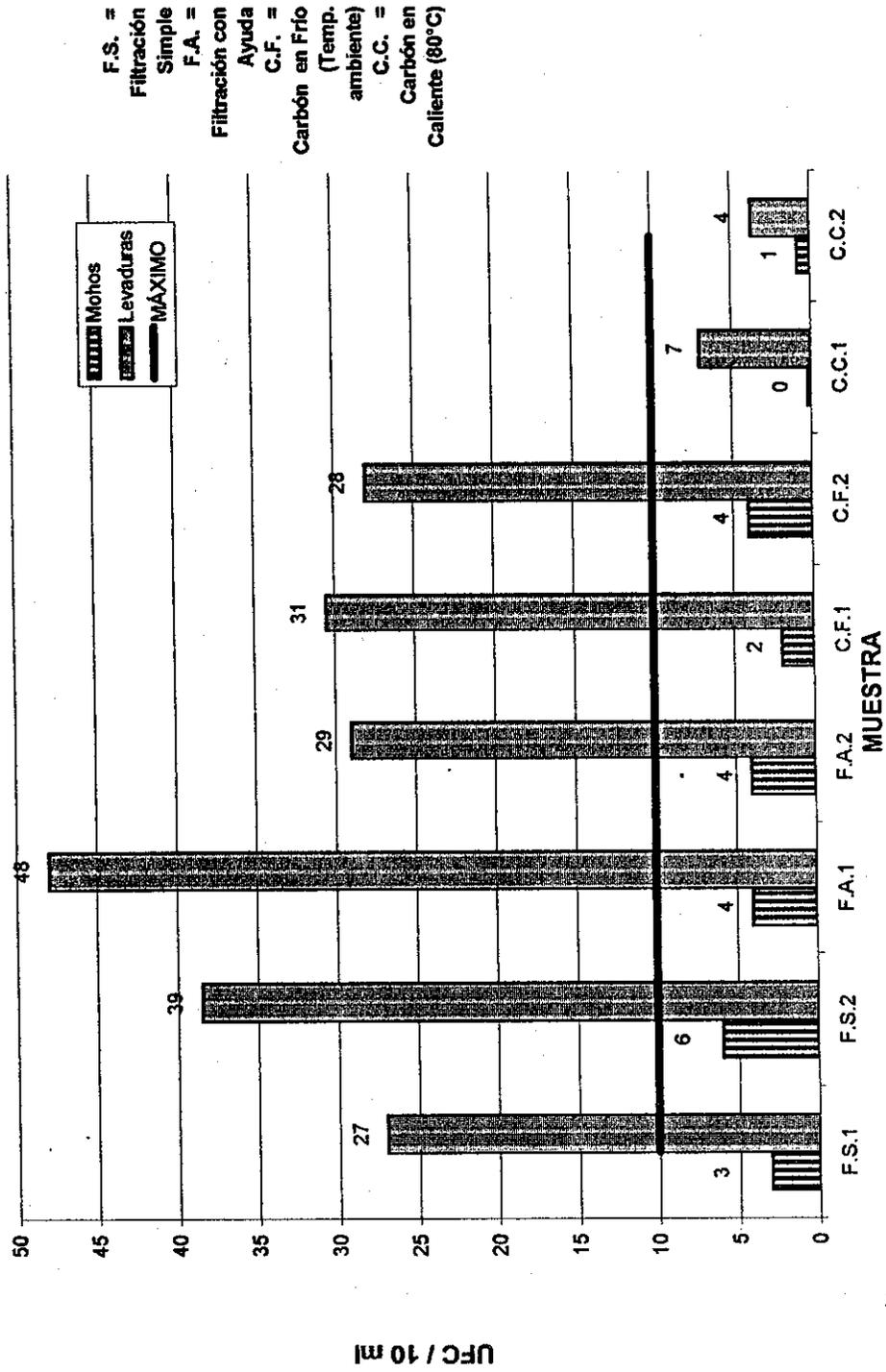


TABLA NO. 3: Comparación de Costos de Insumos (Q.)***

INSUMO	FILTRACIÓN SIMPLE	FILTRACIÓN CON AYUDA	CARBÓN EN FRIO (Temp. ambiente)	CARBÓN EN CALIENTE (80°C)
Papel filtro	480	480	480	480
Ayuda filtro	0	125	375	375
Carbón activado	0	0	700	700
Combustible para caldera	0	0	0	460
Refrigeración	0	0	0	611
Total Calentamiento + Enfriamiento	0	0	0	1071
TOTAL	480	605	1555	2626

*** Costos relativos entre métodos, en base al método más sencillo (Filtración Simple). Base: 200qq de azúcar.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los objetivos de este estudio son conocer los cinco métodos generales de filtración y/o tratamiento de azúcar, así como comparar estos métodos en cuanto a remoción de color y turbidez originales, disminución de los recuentos microbiológicos y costos. En la sección de antecedentes se han descrito los principios y procedimientos de los cinco métodos mencionados:

- * Filtración simple
- * Filtración simple utilizando medios de ayuda
- * Tratamiento con carbón en frío
- * Tratamiento con carbón en caliente
- * Ajuste del pH

Aunque se hizo la investigación y en las referencias se menciona el método de ajuste de pH, éste no fue comparado experimentalmente respecto a los otros cuatro métodos debido a que este método no se utiliza actualmente en la industria de refrescos carbonatados. Esto se debe a que dos de los principales atributos de estas bebidas son su sabor y su acidez; estos atributos se logran mediante saborizantes y acidulantes específicos para cada sabor o marca de refresco. Es decir, el jarabe simple para la preparación de estas bebidas no debe de contener ácidos o sales previo a la adición de los saborizantes y acidulantes.

En cuanto a los otros métodos, se trabajó con varias muestras de azúcar de ingenios guatemaltecos. Para el análisis de remoción de color y turbidez se trataron con cada método 4 muestras de azúcar estándar (muestras 1 - 4) y 4 muestras de azúcar refinada (muestras 5 - 8). Como puede observarse en las Tablas 4 - 7, el azúcar estándar presentaba colores entre 200 y 360 U.I. (unidades ICUMSA*) y turbideces entre 50 y 200 U.I., mientras que las muestras de azúcar refinada presentaban colores por debajo de 60 U.I., y turbideces debajo de 80 U.I. Éstos son los valores típicos que se encuentran en el mercado nacional. La norma que deben cumplir las embotelladoras de refrescos carbonatados es de 60 U.I. de color y 45 U.I. de turbidez. Es evidente que el azúcar estándar como se recibe de los ingenios no cumple con esta norma, y que el azúcar refinada también llega a necesitar tratamiento, dependiendo de sus características iniciales.

Las muestras se trataron en el laboratorio, utilizando soluciones alrededor del 50% en peso del azúcar en agua. Para determinar color y turbidez se utilizó el método ICUMSA modificado que se emplea en industrias embotelladoras.

En la gráfica No. 1 pueden apreciarse los resultados de remoción de color para cada método. Es evidente que los métodos que no emplean carbón activado no remueven significativamente el color de las soluciones de azúcar (entre 0 y 25 % del color original). Sin embargo, cuando se emplea carbón activado los porcentajes de remoción de color aumentan significativamente (de 30 a 70%). El efecto de utilizar carbón activado en caliente (80°C) permite

* ICUMSA: Comisión Internacional para la Unificación de Métodos de Análisis de Azúcar, por sus siglas en inglés.

alcanzar los mejores porcentajes en cuanto a remoción de color (de 70 a 100%). En general, se obtuvieron mejores porcentajes de remoción de color en los cuatro métodos para las muestras de azúcar refinada.

La gráfica No. 2 muestra los porcentajes de remoción de turbidez original obtenidos. Resulta interesante observar que el comportamiento de los cuatro métodos empleados es distinto en esta gráfica que el la que presentaba el % de remoción de color. En el caso de la turbidez, la remoción se ve mejorada con el empleo de ayudas filtrantes, y no se observa mejora significativa al utilizar carbón activado. Los porcentajes de remoción de turbidez con el método de filtración simple variaron desde 10 a 60%. Los 3 métodos que utilizan ayudas filtrantes mostraron un comportamiento similar, variando entre 80 y 100%. Esto era de esperarse, pues según la definición de turbidez en azúcar, ésta es causada por la materia extraña en suspensión. Es de vital importancia para las industrias que trabajan con azúcar, pues un análisis previo del azúcar que emplearán les permitirá conocer de antemano la mejor opción para el tratamiento de azúcar. En el caso de detectar turbidez alta, habrá que utilizar alguna ayuda filtrante, para evitar la saturación rápida de los filtros, con las consecuentes pérdidas de tiempo, eficiencia o rendimiento.

En cuanto a resultados microbiológicos, la gráfica No. 3 presenta los resultados de las siembras para Mohos y Levaduras que se hicieron a 2 muestras de cada método estudiado. Las muestras utilizadas fueron tomadas al final de cada método de tratamiento.

Puede observarse que en los tres métodos que trabajan a temperatura ambiente, los recuentos no cumplen con la norma de 10 UFC / 10 ml máximo que tienen las industrias embotelladoras de refrescos. Los conteos altos pueden provenir de dos fuentes: contaminación del azúcar granular al momento de ser utilizada (esto se acentúa más en ambientes húmedos, pues se favorece el crecimiento de microorganismos), o bien malas prácticas de operación o sanitización en el proceso de preparación de los jarabes. En el caso de este estudio, por haber sido hecho a nivel Laboratorio, se concluye que la contaminación provenía del azúcar granular empleada.

En cualquier caso, también se demuestra que de los cuatro métodos analizados, el método en caliente es el único que disminuye los conteos microbiológicos, y que esta disminución es debida al calentamiento, no al carbón (el método de carbón en frío no mostró este mismo efecto). Es por eso que se recomienda que, si la calidad inicial del azúcar en cuanto a color y turbidez permite el empleo de algún método de tratamiento en frío, se considere algún tratamiento adicional para prevenir contaminaciones microbiológicas en el jarabe (programa de buenas prácticas de operación y sanitización, irradiación del jarabe con luz ultravioleta, calentamiento y enfriamiento de la solución, etc).

Finalmente, se hizo un análisis comparativo en cuanto al costo de los principales insumos utilizados para cada método de tratamiento estudiado. Se tomaron en cuenta únicamente el papel filtro, la ayuda filtrante, el carbón activado, y el costo de la energía requerida para calentar y enfriar el jarabe, con base a la preparación de un lote de 200 qq de azúcar.

Se utilizaron los costos actuales de los insumos, así como las tasas de consumos de calor y refrigeración que actualmente emplea una embotelladora de refrescos. En la tabla No. 3 se observan los costos comparativos en insumos para los 4 métodos. El paso que representa más gastos es el calentamiento y enfriamiento de la solución, seguido por el uso de carbón activado. El uso de ayuda filtrante aumenta los costos en una proporción menor. Este análisis confirma el beneficio que se obtiene al analizar el azúcar antes de escoger el tratamiento más adecuado, para obtener los mejores resultados en cuanto a remoción de color y turbidez y calidad microbiológica, al menor costo posible.

8. CONCLUSIONES

- 1.- Los métodos de tratamiento de azúcar que no emplean carbón activado no logran remover el color en proporciones significativas.
- 2.- La remoción de color al utilizar carbón activado es más eficiente cuando se trabaja en caliente.
- 3.- La remoción de turbidez en las soluciones de azúcar mejora significativamente al utilizar ayuda filtrante durante la filtración.
- 4.- El uso de carbón activado en filtraciones con ayuda filtrante no mejora significativamente la remoción de turbidez de soluciones de azúcar.
- 5.- El método más costoso, en insumos utilizados por quintal de azúcar tratada, es el tratamiento con carbón en caliente.
- 6.- El método de tratamiento de azúcar con carbón en caliente disminuye significativamente los conteos microbiológicos de la solución.
- 7.- Los conteos microbiológicos de soluciones de azúcar que han sido tratados con métodos que no utilizan calentamiento dependen de la calidad microbiológica del azúcar recibida, así como de los procedimientos empleados para su preparación.

9. RECOMENDACIONES

- Un análisis previo del azúcar ayuda a escoger el método de tratamiento más adecuado, por lo que se recomienda analizar el azúcar antes de emplearla.
- Si el color del azúcar es elevado, se recomienda utilizar algún método de tratamiento con carbón activado.
- Si el problema es turbidez alta, se recomienda utilizar algún medio de ayuda filtrante para evitar la saturación rápida de los filtros durante el proceso de filtración.
- Cuando la calidad del azúcar en cuanto a color y turbidez es aceptable, puede utilizarse el método de filtración simple, o filtración con ayudas filtrantes. En este caso, se recomienda tomar alguna medida adicional para prevenir contaminaciones microbiológicas (proceso en caliente, irradiación con luz ultravioleta, etc.), así como asegurarse de que las prácticas y procedimientos para la preparación del jarabe sean adecuadamente higiénicas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- "PRODUCTION manual". Volumen I, Sección 2: Azúcares / Edulcorantes. E.E.U.U.: Pepsi Cola Internacional, 1992.
- 2.- "SUGAR manual". Sección 7: Analytical Test Methods. E.E.U.U.: Pepsi Cola Internacional, 1992.
- 3.- CHEN, James C.P., "Manual del azúcar de caña". Primera edición en español de la undécima edición en inglés. México: Noriega Editores, Editorial Limusa, 1991.

11. ANEXOS

11.1. Metodología

11.1.1. Métodos de tratamiento de azúcar

Se trabajó con soluciones alrededor de 50% en peso de azúcar granular en agua, mediante los siguientes métodos, según el procedimiento descrito en la sección de Antecedentes:

- 1.- Filtración simple
- 2.- Filtración simple utilizando medios de ayuda para la filtración
- 3.- Tratamiento con carbón en caliente
- 4.- Tratamiento con carbón en frío

Las cantidades de tierras filtrantes utilizadas fueron de 0.25% (porcentaje en peso respecto al azúcar utilizada) para hacer la pre-capa, y 0.25% y 0.50% en la alimentación directa para los métodos sin carbón y con carbón, respectivamente. Se utilizó un 0.50% de carbón activado en los métodos que lo emplean. El carbón activado empleado era carbón pulverizado de 325 Mesh, de origen vegetal; la ayuda filtro empleada fue tierra diatomácea comercial.

11.1.2. Método para determinación de color y turbidez

Para determinar color y turbidez se utilizó el método ICUMSA modificado que se emplea en industrias embotelladoras (ICUMSA es la Comisión Internacional para la Unificación de Métodos para Análisis de Azúcar, por sus siglas en inglés).

Se utilizó un espectrofotómetro marca Perkin-Elmer modelo Lambda-11 para la medición de absorbancias, y un refractómetro de banco marca Maselli IB-01 con compensación por temperatura para la determinación de los grados Brix. Además, el método requiere el empleo de membranas de filtración de nitrato de celulosa de 0.45 micrómetros de porosidad.

11.1.3. Método para determinación de conteos microbiológicos

Se utilizó el método de filtración por membrana, empleando monitores marca Millipore tipo 0.55 Plus, de 0.80 micrómetros de porosidad. Además, se emplearon medios de cultivo M-Green y M-Endo marca Millipore.

11.2. Muestra de cálculos

11.2.1. Color

El método ICUMSA modificado que utilizan las industrias embotelladoras de refrescos carbonatados para determinar color en soluciones de azúcar define el color así:

$$\text{Color (Unidades ICUMSA)} = \frac{(\text{Abs } 420) * 1,000}{(b) * (c)} \quad (\text{ecuación 1})$$

- donde
- Abs 420 = absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 420 nm, después de filtrada por una membrana de 0.45 micras de porosidad
 - b = longitud de trayecto de la celda que contiene la muestra (cm)
 - c = concentración de sólidos absorbentes de luz en la muestra (g/ml)

Para calcular el color antes del tratamiento de la muestra # 1 en el método de filtración simple (ver Tabla No.8), se determinaron los grados Brix de la solución de azúcar, y se midió la absorbancia a 420 nm después de filtrarla por una membrana de 0.45 micras. Los datos originales fueron:

$$\text{Abs } 420 = 0.149, 50.46^\circ\text{Bx}$$

Los grados brix sirven de referencia para encontrar la concentración de sólidos absorbentes de luz (sacarosa) en la solución. Así, al 50.46°Bx le corresponde una concentración de sacarosa de 0.62121 g/ml (ver Tabla No. 12). El espectrofotómetro utilizado emplea celdas de 1 cm de longitud de trayecto, por lo que b = 1.

Sustituyendo en la ecuación 1, se obtiene:

$$\text{Color (U.I.)} = \frac{(0.149) * 1,000}{1 * 0.62121} = 239.85$$

11.2.2. Turbidez

La ecuación que define turbidez según el método ICUMSA modificado es:

$$\text{Turbidez (Unidades ICUMSA)} = \frac{(\text{Abs } 720,a - \text{Abs } 720,d) * 1000}{(b) * (c)} \quad (\text{ecuación 2})$$

donde Abs 720,a = absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 720 nm, antes de ser filtrada

Abs 720,d = absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 720 nm, después de ser filtrada por una membrana de 0.45 micras de porosidad

b = longitud de trayecto de la celda que contiene la muestra (cm)

c = concentración de sólidos absorbentes de luz en la muestra (g/ml)

Los valores para la misma muestra del inciso anterior son:

$$\text{Abs } 720,a = 0.119 \quad \text{Abs } 720,d = 0.008$$

Sustituyendo en la ecuación 2, se tiene:

$$\text{Turbidez (U.I.)} = \frac{(0.119 - 0.008) * 1000}{1 * 0.62121} = 178.68$$

11.2.3. Porcentajes de remoción

En base a los datos de color y turbidez antes y después del tratamiento aplicado, se determinaron los porcentajes de remoción de color y turbidez, así:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{dato inicial} - \text{dato final}}{\text{dato inicial}} * 100 \quad (\text{ecuación 3})$$

Así, en el caso de la muestra mencionada en los dos incisos anteriores, luego del tratamiento de filtración simple se obtuvieron los siguientes datos:

$$\text{Color} = 220.76 \text{ U.I.} \quad \text{Turbidez} = 105.51 \text{ U.I.}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 3 se obtiene:

$$\% \text{ remoción color} = \frac{239.85 - 220.76}{239.85} * 100 = 7.96 \%$$

$$\% \text{ remoción turbidez} = \frac{178.68 - 105.51}{178.68} * 100 = 40.95 \%$$

11.2.4. Costos

La determinación de los costos se hizo en forma comparativa entre los insumos utilizados por cada método. Los costos se calcularon en base a un lote de 200qq de azúcar, según datos dados por la práctica, de la siguiente forma:

* Papel filtro: 24 pliegos / filtración * Q 20/pliego = Q. 480.

* Ayuda filtrante: 0.25% en peso del azúcar en la pre-capa para el método de filtración con ayuda:

$$\text{---> } 0.0025 * 200 \text{ qq} * 100 \text{ lb/qq} * \text{Q } 2.50/\text{lb} = \text{Q. } 125.$$

0.25% en peso en la pre-capa y 0.50% en peso de alimentación directa para los métodos que emplean carbón:

$$\text{---> } 0.0075 * 200 \text{ qq} * 100 \text{ lb/qq} * \text{Q } 2.50/\text{lb} = \text{Q. } 375.$$

* Carbón activado: 0.50% en peso del azúcar utilizada:

$$\text{---> } 0.005 * 200 \text{ qq} * 100 \text{ lb/qq} * \text{Q. } 7/\text{lb} = \text{Q. } 700.$$

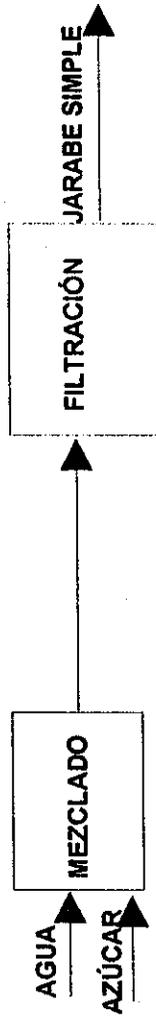
* Combustible para la caldera: según los datos disponibles de una industria embotelladora que utiliza el método de tratamiento con carbón en caliente, y tomando en cuenta el calor necesario para calentamiento, disolución y cocimiento a 80°C, se requieren 102.3 galones de bunker para dicho proceso. Este dato incluye la eficiencia de la caldera (de 100 HP) del 70 % y pérdidas de calor del 10% en tuberías y accesorios. Esto representa un costo de:

$$102.3 \text{ gal} * \text{Q. } 4.50/\text{gal} = \text{Q. } 460.$$

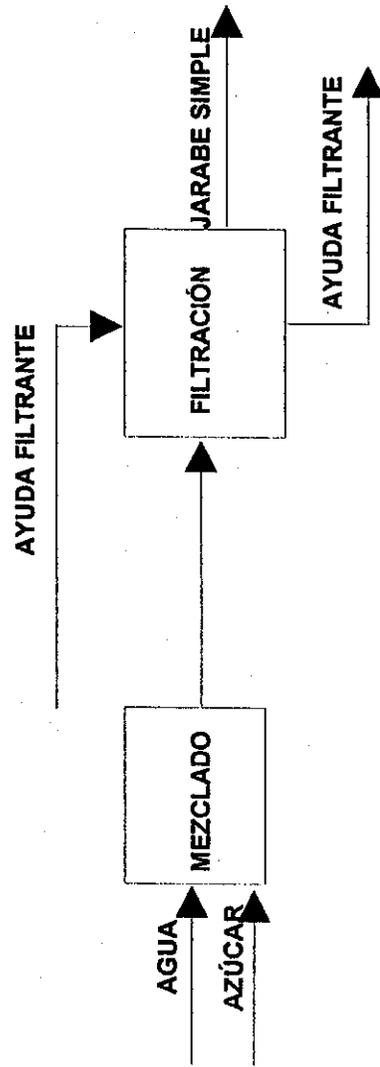
* Refrigeración: de la misma fuente citada en el inciso anterior, la refrigeración requerida se obtiene del dato de 246 toneladas netas de refrigeración requeridas para la preparación del batch de 200qq de azúcar. Esto representa un consumo de energía de 1081 kW-h, que al agregarle la tasa municipal del 13% del consumo, equivale al costo:

$$1081 \text{ kW-h} * \text{Q. } 0.50 / \text{kW-h} * 1.13 = \text{Q. } 611.$$

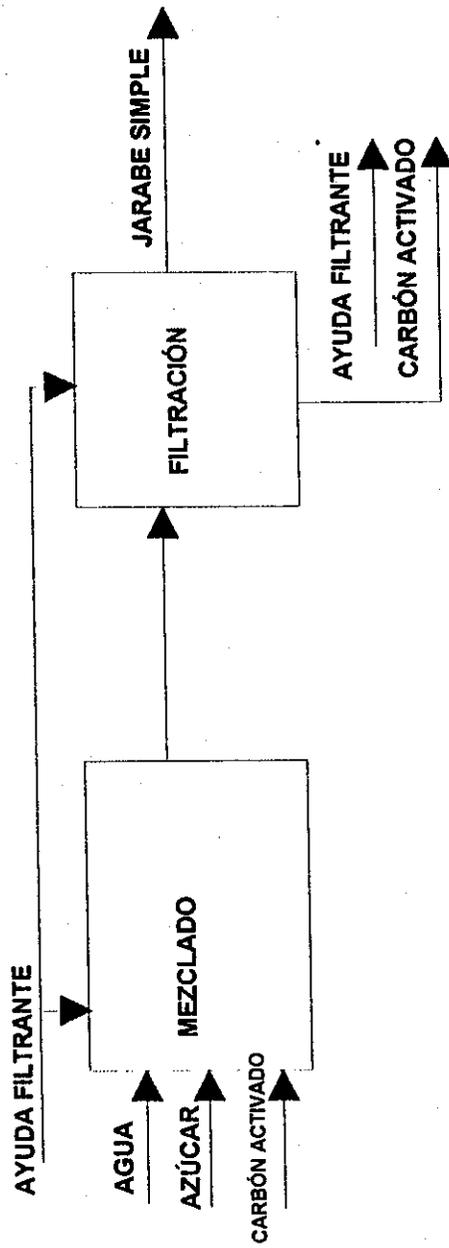
11.3 Gráficas



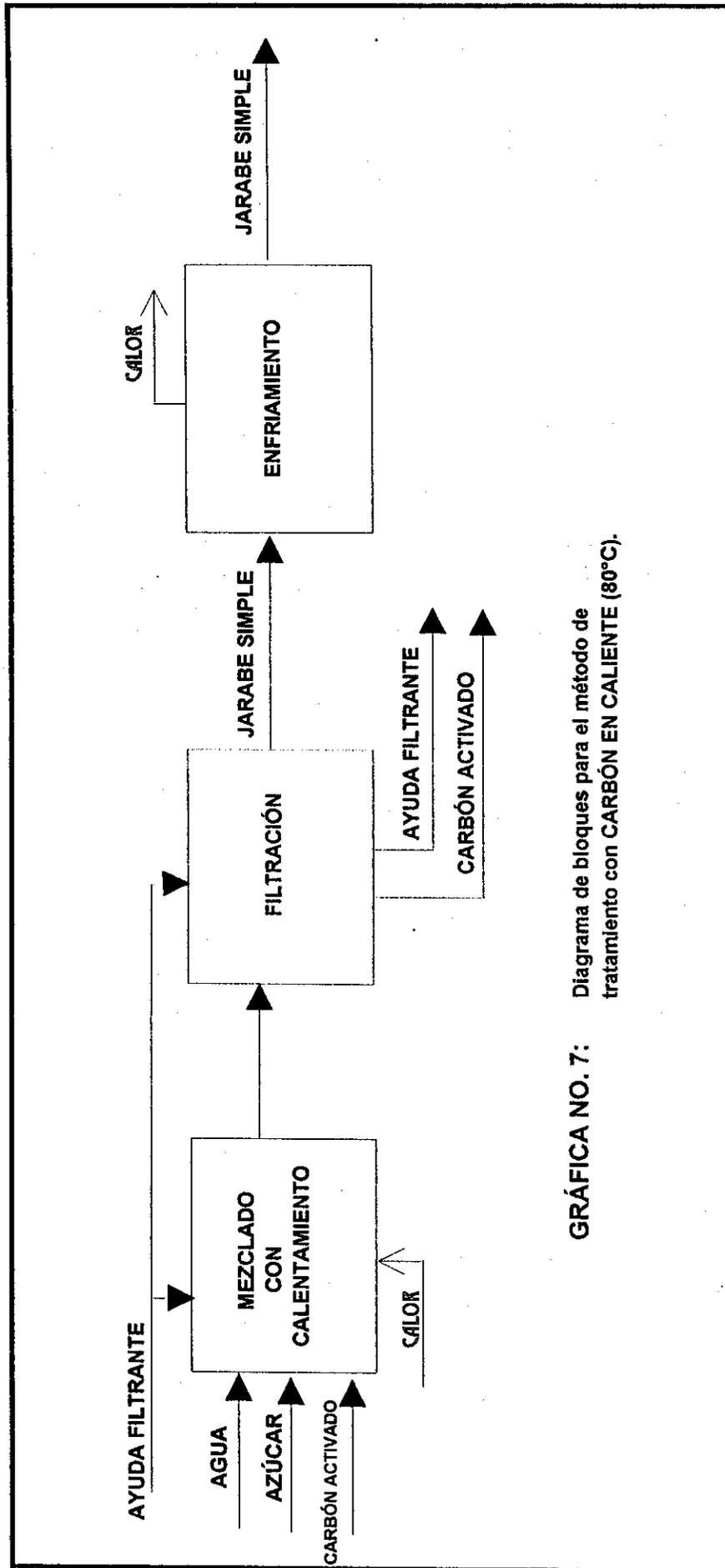
GRÁFICA NO. 4: Diagrama de bloques para el método de FILTRACIÓN SIMPLE.



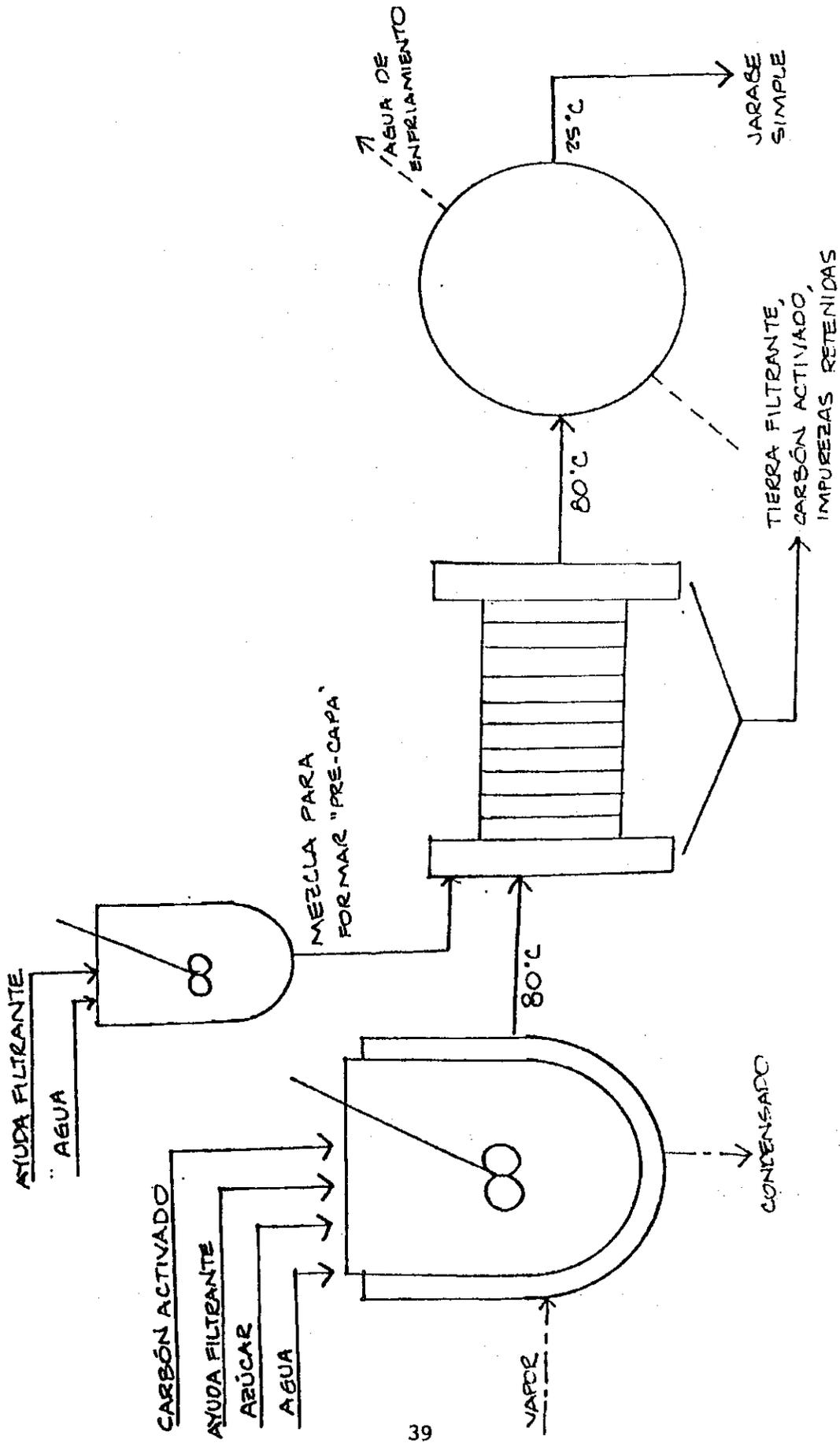
GRÁFICA NO. 5: Diagrama de bloques para el método de FILTRACIÓN SIMPLE CON AYUDA FILTRANTE.



GRÁFICA NO. 6: Diagrama de bloques para el método de tratamiento con CARBÓN EN FRÍO (Temperatura ambiente).



GRÁFICA NO. 7: Diagrama de bloques para el método de tratamiento con CARBÓN EN CALIENTE (80°C).



GRÁFICA NO. 8: Diagrama de flujo para el método de tratamiento con CARBÓN EN CALIENTE (80°C).

11.4 Tablas

TABLA NO. 4: Porcentajes de remoción de color y turbidez,
MÉTODO DE FILTRACIÓN SIMPLE ***

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO		DESPUÉS DEL TRATAMIENTO		% DE REMOCIÓN	
	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ
1	239.85	178.68	220.76	105.51	7.96	40.95
2	339.01	86.80	336.96	70.34	0.61	18.97
3	355.35	86.39	330.09	74.80	7.11	13.42
4	316.69	63.34	305.93	48.30	3.40	23.73
5	49.19	54.11	38.03	21.49	22.70	60.28
6	37.40	24.39	30.94	16.28	17.27	33.23
7	50.71	32.71	43.85	16.24	13.53	50.36
8	43.88	30.88	42.14	19.45	3.96	37.01

*** Color y turbidez están dados es Unidades ICUMSA.

TABLA NO. 5: Porcentajes de remoción de color y turbidez,
MÉTODO DE FILTRACIÓN SIMPLE CON AYUDA FILTRANTE***

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO		DESPUÉS DEL TRATAMIENTO		% DE REMOCIÓN	
	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ
1	240.24	141.22	218.39	15.12	9.10	89.29
2	298.89	101.26	290.55	1.68	2.79	98.34
3	317.88	129.45	311.48	1.69	2.01	98.69
4	309.23	62.17	304.89	0.00	1.40	100.00
5	39.13	79.89	34.68	0.00	11.39	100.00
6	53.82	16.31	49.34	0.00	8.32	100.00
7	30.99	52.20	27.78	1.74	10.36	96.67
8	37.52	68.51	36.09	8.59	3.82	87.46

*** Color y turbidez están dados es Unidades ICUMSA.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE
BIBLIOTECA

TABLA NO. 6: Porcentajes de remoción de color y turbidez,
MÉTODO DE TRATAMIENTO CON CARBÓN EN FRÍO***
 (Temperatura ambiente)

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO		DESPUÉS DEL TRATAMIENTO		% DE REMOCIÓN	
	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ
1	240.24	141.22	102.50	20.16	57.33	85.72
2	298.89	101.26	120.31	8.35	59.75	91.75
3	317.88	129.45	124.22	6.45	60.92	95.01
4	309.23	62.17	113.63	13.17	63.26	78.81
5	39.13	79.89	20.72	0.00	47.04	100.00
6	53.82	16.31	34.39	0.00	36.11	100.00
7	30.99	52.20	10.20	6.80	67.09	86.97
8	37.52	68.51	25.71	1.71	31.48	97.50

*** Color y turbidez están dados es Unidades ICUMSA.

TABLA NO. 7: Porcentajes de remoción de color y turbidez, MÉTODO DE TRATAMIENTO CON CARBÓN EN CALIENTE (80°C)***

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO		DESPUÉS DEL TRATAMIENTO		% DE REMOCIÓN	
	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ
1	240.24	141.22	51.17	22.58	78.70	84.01
2	298.89	101.26	80.70	8.50	73.00	91.61
3	317.88	129.45	62.32	0.00	80.39	100.00
4	309.23	62.17	76.54	10.93	75.25	82.41
5	39.13	79.89	0.00	7.34	100.00	90.82
6	53.82	16.31	0.00	1.56	100.00	90.43
7	30.99	52.20	1.53	10.74	95.05	79.42
8	37.52	68.51	0.00	3.02	100.00	95.60

*** Color y turbidez están dados es Unidades ICUMSA.

TABLA NO. 8: Datos originales, MÉTODO DE FILTRACIÓN SIMPLE***

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO								DESPUÉS DEL TRATAMIENTO								% REMOCIÓN	
	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	CONC. SOLIDOS	COLOR	TURBIDEZ	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	CONC. SOLIDOS	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ		
1	50.46	0.119	0.008	0.149	0.62121	239.85	178.68	50.12	0.069	0.004	0.136	0.61605	220.76	105.51	7.96	40.85		
2	49.76	0.062	0.009	0.207	0.61059	339.01	86.80	49.81	0.052	0.009	0.206	0.61135	336.96	70.34	0.61	18.97		
3	49.95	0.057	0.004	0.218	0.61347	355.35	86.39	50.05	0.051	0.005	0.203	0.61499	330.09	74.80	7.11	13.42		
4	50.10	0.043	0.004	0.195	0.61575	316.69	63.34	50.45	0.037	0.007	0.190	0.62106	305.93	48.30	3.40	23.73		
5	49.71	0.034	0.001	0.030	0.60983	49.19	54.11	49.38	0.013	0.000	0.023	0.60483	38.03	21.49	22.70	60.28		
6	50.05	0.015	0.000	0.023	0.61499	37.40	24.39	49.99	0.010	0.000	0.019	0.61408	30.94	16.28	17.27	33.23		
7	49.81	0.020	0.000	0.031	0.61135	50.71	32.71	50.10	0.010	0.000	0.027	0.61575	43.85	16.24	13.53	50.36		
8	50.07	0.019	0.000	0.027	0.61529	43.86	30.88	50.18	0.013	0.001	0.026	0.61696	42.14	19.45	3.96	37.01		

*** Color y turbidez en Unidades IJUMSA. Concentración de sólidos en gr/ml.

TABLA NO. 9: Datos originales, MÉTODO DE FILTRACIÓN SIMPLE CON AYUDA FILTRANTE***

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO						DESPUÉS DEL TRATAMIENTO						% REMOCIÓN			
	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	CONC. SOLIDOS	COLOR	TURBIDEZ	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	CONC. SOLIDOS	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ
1	50.12	0.090	0.003	0.148	0.61605	240.24	141.22	48.75	0.009	0.000	0.130	0.59528	218.39	15.12	9.10	89.29
2	49.87	0.062	0.000	0.183	0.61226	298.89	101.26	48.76	0.001	0.000	0.173	0.59543	290.55	1.68	2.79	98.34
3	49.74	0.079	0.000	0.194	0.61029	317.88	129.45	48.45	0.001	0.000	0.184	0.59073	311.48	1.59	2.01	98.89
4	49.80	0.038	0.000	0.189	0.61120	309.23	62.17	48.86	0.000	0.000	0.182	0.59694	304.89	0.00	1.40	100.00
5	49.94	0.049	0.000	0.024	0.61332	39.13	79.89	47.53	0.000	0.000	0.020	0.57677	34.68	0.00	11.39	100.00
6	49.93	0.010	0.000	0.033	0.61317	53.82	16.31	49.59	0.000	0.000	0.030	0.60801	49.34	0.00	8.32	100.00
7	49.92	0.032	0.000	0.019	0.61302	30.99	52.20	47.47	0.001	0.000	0.016	0.57586	27.78	1.74	10.36	96.67
8	49.92	0.042	0.000	0.023	0.61302	37.52	68.51	47.87	0.005	0.000	0.021	0.58193	36.09	8.59	3.82	87.46

*** Color y turbidez en Unidades ICUMSA. Concentración de sólidos en g/ml.

TABLA NO. 10: Datos originales, MÉTODO DE TRATAMIENTO CON CARBÓN EN FRÍO (Temperatura ambiente)***

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO						DESPUÉS DEL TRATAMIENTO						% REMOCIÓN			
	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	DENSIDAD	COLOR	TURBIDEZ	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	DENSIDAD	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ
1	50.12	0.090	0.003	0.148	0.61605	240.24	141.22	48.74	0.012	0.000	0.061	0.59512	102.50	20.16	57.33	85.72
2	49.87	0.062	0.000	0.183	0.61226	298.89	101.26	48.96	0.005	0.000	0.072	0.59846	120.31	8.35	59.75	91.75
3	49.74	0.079	0.000	0.194	0.61029	317.88	129.45	50.37	0.004	0.000	0.077	0.61984	124.22	6.45	60.92	95.01
4	49.80	0.038	0.000	0.189	0.61120	309.23	62.17	49.54	0.008	0.000	0.069	0.60726	113.63	13.17	63.26	78.81
A	49.94	0.049	0.000	0.024	0.61332	39.13	79.89	47.68	0.000	0.000	0.012	0.57905	20.72	0.00	47.04	100.00
B	49.93	0.010	0.000	0.033	0.61317	53.82	16.31	47.85	0.000	0.000	0.020	0.58163	34.39	0.00	36.11	100.00
C	49.92	0.032	0.000	0.019	0.61302	30.99	52.20	48.29	0.004	0.000	0.006	0.58830	10.20	6.80	67.09	86.97
D	49.92	0.042	0.000	0.023	0.61302	37.52	68.51	47.97	0.001	0.000	0.015	0.58345	25.71	1.71	31.48	97.50

*** Color y turbidez en Unidades ICUMSA. Concentración de sólidos en g/ml.

TABLA NO. 11: Datos originales, MÉTODO DE TRATAMIENTO CON CARBÓN EN CALIENTE (80°C)***

# MUESTRA	ANTES DEL TRATAMIENTO						DESPUÉS DEL TRATAMIENTO						% REMOCIÓN			
	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	DENSIDAD	COLOR	TURBIDEZ	°Bx	A720,A	A720,D	A420,D	DENSIDAD	COLOR	TURBIDEZ	COLOR	TURBIDEZ
1	50.12	0.090	0.003	0.148	0.61605	240.24	141.22	53.31	0.015	0.000	0.034	0.66443	51.17	22.58	78.70	84.01
2	49.87	0.062	0.000	0.183	0.61226	298.89	101.26	56.07	0.006	0.000	0.057	0.70629	80.70	8.50	73.00	91.61
3	49.74	0.079	0.000	0.194	0.61029	317.88	129.45	52.88	0.000	0.000	0.041	0.65785	62.32	0.00	80.39	100.00
4	49.80	0.038	0.000	0.189	0.61120	309.23	62.17	51.71	0.007	0.000	0.049	0.64017	76.54	10.93	75.25	82.41
6	49.94	0.049	0.000	0.024	0.61332	39.13	73.89	54.43	0.005	0.000	0.000	0.68142	0.00	7.34	100.00	90.82
7	49.93	0.010	0.000	0.033	0.61317	53.82	16.31	51.76	0.001	0.000	0.000	0.64093	0.00	1.56	100.00	90.43
8	49.92	0.032	0.000	0.019	0.61302	30.99	52.20	52.47	0.007	0.000	0.001	0.65169	1.53	10.74	95.05	79.42
9	49.92	0.042	0.000	0.023	0.61302	37.52	68.51	53.21	0.002	0.000	0.000	0.66292	0.00	3.02	100.00	95.80

*** Color y turbidez en Unidades ICUMSA. Concentración de sólidos en g/ml.

TABLA NO. 12: Brix y concentración de sólidos de soluciones de azúcar a 20°C***

PORCENTAJE DE SACAROSA POR PESO (*Brix)	GRAMOS DE SACAROSA POR ML, PESADA IN VACUO	PORCENTAJE DE SACAROSA POR PESO (*Brix)	GRAMOS DE SACAROSA POR ML, PESADA IN VACUO
49.0	0.59980	50.6	0.62383
49.1	0.60129	50.7	0.62535
49.2	0.60279	50.8	0.62686
49.3	0.60428	50.9	0.62838
49.4	0.60578	51.0	0.62989
49.5	0.60728	51.1	0.63141
49.6	0.60878	51.2	0.63293
49.7	0.61028	51.3	0.63445
49.8	0.61178	51.4	0.63597
49.9	0.61328	51.5	0.63750
50.0	0.61478	51.6	0.63902
50.1	0.61629	51.7	0.64055
50.2	0.61780	51.8	0.64208
50.3	0.61930	51.9	0.64360
50.4	0.62081	52.0	0.64513
50.5	0.62232		

*** Concentración de sólidos expresado en gramos de sacarosa por mililitro. Tomado de Chen, Manual del azúcar de caña. 1991; Tabla No. 16.