



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

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO, EN UN INGENIO AZUCARERO

Heidi Vanessa Páez Chávez

Asesorado por: Ingeniero Jorge Mario Estrada Asturias
 Ingeniera Claudia María Barrientos

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO, EN
UN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HEIDI VANESSA PÁEZ CHÁVEZ

ASESORADO POR: INGENIERO JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS
INGENIERA CLAUDIA MARÍA BARRIENTOS
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

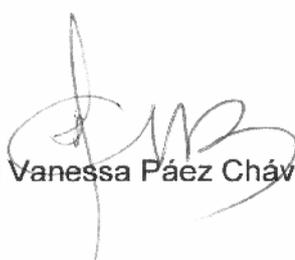
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO, EN
UN INGENIO AZUCARERO,**

tema que fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Química, con fecha 15 de mayo de 2008.


Heidi Vanessa Páez Chávez

Guatemala, 29 de Septiembre de 2008

Señor
Ing. Williams Álvarez
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente.
Respetable Ingeniero Álvarez

Por medio de la presente informo a usted que como asesor de la estudiante universitaria, **Heidi Vanesa Páez Chávez**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO EN UN INGENIO AZUCARERO”** el cual encuentro satisfactorio.

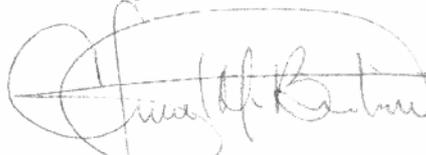
Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad a uno de los muchos problemas que padece el país principalmente en el apoyo técnico a empresas privadas, en la búsqueda de soluciones viables a los problemas que atraviesan y que al final, beneficiarán a la sociedad en general.

En tal virtud, **LO DOY APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Deferentemente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Claudia María Barrientos

Asesor de Trabajo de Graduación



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE QUÍMICA**

Guatemala, 22 de octubre de 2008

Señor
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Por medio de la presente informo a usted que como asesor de la estudiante universitaria, **Heidi Vanesa Páez Chávez**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO EN UN INGENIO AZUCARERO”** el cual encuentro satisfactorio.

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad a uno de los muchos problemas que padece el país principalmente en el apoyo técnico a empresas privadas, en la búsqueda de soluciones viables a los problemas que atraviesan y que al final, beneficiarán a la sociedad en general.

En tal virtud, **LO DOY APROBADO**, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Diferentemente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Asesor de Ejercicio Práctico Supervisado



Guatemala, 8 de octubre de 2008.
Ref.FPS.D.911.10.08.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

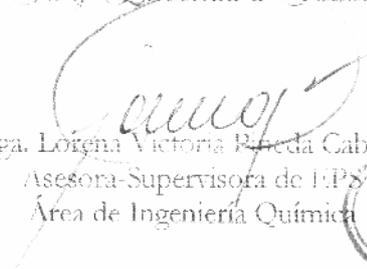
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **HEIDI VANESSA PÁEZ CHÁVEZ** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200312883**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO EN UN INGENIO AZUCARERO”**.

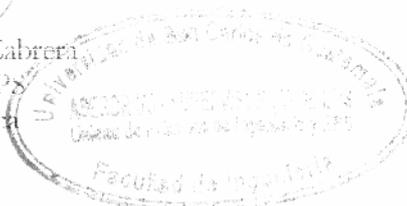
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Al y Enseñad a Todos”


Inga. Lorena Victoria Rueda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
LVPC/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 8 de octubre de 2008.
Ref.EPS.D.911.10.08.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

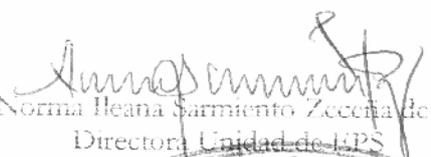
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO EN UN INGENIO AZUCARERO"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **HEIDI VANESSA PÁEZ CHÁVEZ**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la **Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera**.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Heana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 23 de octubre de 2008
Ref. EI.Q.307.2008

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-143-08-B-IFEPS le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de E.P.S., para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **HEIDI VANESSA PÁEZ CHÁVEZ**, identificada con camé No. **2003-12883**, titulado: "**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO EN UN INGENIO AZUCARERO**" el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Jorge Mario Estrada Asturias y coasesorado por la Ingeniera Química Claudia María Barrientos, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Páez Chávez** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Teresa Lively de León Arana, M.Sc.


ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA

COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación de la estudiante **Heidi Vanessa Páez Chávez** titulado: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO, EN UN INGENIO AZUCARERO", procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, noviembre de 2,008

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 405.2008

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE PROCESO, EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por la estudiante universitaria Heidi Vanessa Páez Chávez, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop and a vertical stroke, positioned above the printed name.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2008



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS:** Mi padre celestial y guía espiritual
- Mis padres:** Carlos Eduardo Páez Pinto y María Leticia Chávez de Páez, por su ejemplo, sus esfuerzos, su comprensión, apoyo y sobre todo, por brindarme su amor incondicional, les brindo este esfuerzo a ustedes por creer en mí.
- Mis hermanas:** Mónica Iveth y Carla María, por su ayuda y cariño
- Mis sobrinos:** Pedro Alejandro y Carlos Alberto Zetino Páez
- Mi novio:** Mario Alejandro, por estar siempre apoyandome
- Mis cuñados:** Jua Alberto Zetino y Andrés Mérida
- Mis compañeros de la U:** Por su ayuda y apoyo a lo largo de la carrera
- Mis compañeros de labores:** Por su amistad sincera
- Todos mis seres queridos.**

AGRADECIMIENTO A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala, por brindarme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.

La Facultad de Ingeniería y la Escuela de Química.

Al Ingenio La Unión, por abrir sus puertas y haberme dado la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado.

Al Ingeniero Jorge Mario Estrada, por su ayuda y apoyo en la realización del proyecto de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MARCO SITUACIONAL.....	1
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Análisis de peligros y puntos críticos de control.....	3
2.1.1 Origen e historia de APPCC.....	3
2.2 Programas prerrequisito para implementar APPCC.....	3
2.3 Programa de calidad del agua.....	5
2.3.1 Usos industriales del agua.....	5
2.3.1.1 Transferencia de calor.....	6
2.3.1.1.1 Calentamiento.....	6
2.3.1.1.2 Enfriamiento.....	6
2.3.1.2 Aplicación a procesos.....	7
2.3.1.2.1 Agua como materia prima.....	7
2.3.1.2.2 Transporte.....	7
2.3.1.2.3 Agua para lavados.....	8
2.3.1.2.4 Generación de energía.....	8
2.3.1.2.5 Agua para usos generales.....	8
2.3.2 Contaminantes biológicos.....	8

2.3.2.1	Definición.....	8
2.3.2.2	Microorganismos.....	9
2.3.2.2.1	Bacterias.....	10
2.3.3	Contaminantes químicos.....	11
2.3.3.1	Definición.....	12
2.3.3.2	Químicos que se agregan de forma intencional.....	12
2.3.3.3	Químicos que se agregan accidentalmente.....	12
2.3.3.4	Químicos que ocurren de forma natural.....	13
2.3.4	Contaminantes físicos.....	13
2.3.4.1	Origen de los peligros físicos.....	13
2.3.5	Procesos de tratamientos de agua.....	14
2.3.5.1	Filtración.....	14
2.3.5.2	Desinfección.....	14
2.3.5.2.1	Cloración.....	15
2.3.5.2.2	Ozono.....	15

3. METODOLOGÍA

3.1	Localización de la planta.....	17
3.2	Identificación de fuentes de agua para el proceso.....	17
3.2.1	Recepción y extracción del jugo.....	17
3.2.2	Tratamiento del jugo.....	18
3.2.2.1	Sulfitación.....	18
3.2.2.2	Alcalización y calentamiento.....	18
3.2.2.3	Clarificación.....	18
3.2.2.4	Filtración.....	18
3.2.2.5	Evaporación.....	19
3.2.3	Recuperación de sacarosa.....	19
3.2.3.1	Cristalización.....	19
3.2.3.2	Centrifugación.....	20
3.2.4	Acondicionamiento de azúcar.....	20

3.2.4.1 Secado.....	20
3.2.5 Envasado, pesado y almacenaje de azúcar.....	21
3.3 Diseño del método de muestreo.....	22
3.3.1 Selección de los sitios de muestreo.....	22
3.3.2 Frecuencia de muestreo.....	22
3.3.3 Tipos de análisis a realizar.....	23
3.3.3.1 Análisis físico.....	23
3.3.3.2 Análisis químico.....	23
3.3.3.3 Análisis biológico.....	23
3.4 Diagrama de flujo de los sistemas de agua del proceso.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
5. LOGROS ALCANZADOS.....	59
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
APÉNDICE.....	67
ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Reproducción bacteriana en función del tiempo.....	10
2. Sistema de agua de condensados de fábrica.....	24
3. Sistema de agua del tanque de condensados fríos.....	26
4. Sistema de agua del clarificador de agua.....	28
5. Sistema de agua potable en el proceso.....	30
6. Comportamiento del potencial de hidrógeno en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	43
7. Comportamiento de la conductividad en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	43
8. Comportamiento de la turbiedad en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	44
9. Comportamiento de la dureza total en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	44
10. Comportamiento de sílice en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	45
11. Comportamiento del cloro libre en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	45
12. Comportamiento de los sulfitos en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	46
13. Comportamiento de los fosfatos en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas.....	46
14. Comportamiento del potencial de hidrógeno en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua.....	47

15. Comportamiento de la conductividad en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua.....	47
16. Comportamiento de la turbiedad en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua.....	48
17. Comportamiento de la dureza total en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua.....	48
18. Comportamiento del sílice en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua.....	49
19. Comportamiento del potencial de hidrógeno en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo.....	49
20. Comportamiento de la conductividad en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo.....	50
21. Comportamiento de la turbiedad en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo.....	50
22. Comportamiento de la dureza total en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo.....	51
23. Comportamiento del sílice en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo.....	51
24. Comportamiento del cloro libre en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo.....	52
25. Tanque de fábrica.....	81
26. Tanque de condensados fríos.....	82
27. Clarificador de agua del río Cristóbal.....	83

TABLAS

I. Equipos que se encuentran conectado con el sistema de condensados de fábrica.....	25
II. Equipos que se encuentran conectado con el sistema de condensados fríos.....	27
III. Equipos que se encuentran conectados con el sistema de agua clarificada.....	29
IV. Equipos que se encuentran conectados con el sistema de agua potable en la fábrica.....	31
V. Parámetros físicos del agua del tanque de condensados fríos.....	33
VI. Parámetros físicos del agua del tanque de fábrica.....	33
VII. Parámetros físicos del agua del rociador de centrífuga.....	34
VIII. Parámetros físicos del agua de imbibición.....	34
IX. Parámetros físicos del agua del rociador de la faja de azúcar crudo.....	34
X. Parámetros físicos del agua del rociador del enfriador de azúcar crudo.....	34
XI. Parámetros físicos del agua del clarificador.....	35
XII. Parámetros químicos del agua del tanque de condensados fríos.....	35
XIII. Parámetros químicos del agua del tanque de fábrica.....	35
XIV. Parámetros químicos del agua del rociador de centrífuga.....	36
XV. Parámetros químicos del agua de imbibición.....	36
XVI. Parámetros químicos del agua del rociador de la faja de azúcar crudo.....	36
XVII. Parámetros químicos del agua del rociador del enfriador de azúcar crudo.....	37

XVIII.	Parámetros químicos del agua del clarificador.....	37
XIX.	Parámetros microbiológicos del agua del tanque de condensados fríos.....	37
XX.	Parámetros microbiológicos del agua del tanque de fábrica.....	37
XXI.	Parámetros microbiológicos del agua del rociador de centrífuga.....	38
XXII.	Parámetros microbiológicos del agua del rociador de la faja de azúcar crudo.....	38
XXIII.	Parámetros microbiológicos del agua del rociador del enfriador de azúcar crudo.....	38
XXIV.	Parámetros microbiológicos del agua del clarificador.....	38
XXV.	Comparación de los valores promedios físicos y químicos con la norma CATIE para la industria de alimentos en general.....	40
XXVI.	Comparación de los valores promedios físicos y químicos con la norma COGUANOR NGO 29001.....	41
XXVII.	Comparación de los análisis bacteriológicos del agua con la norma COGUANOR NGO 29001.....	42
XXVIII.	Presupuesto del proyecto.....	67
XXIX.	Resultados correspondientes a una muestra de azúcar blanco estándar.....	69
XXX.	Límites para parámetros físico-químicos del agua para ciertas industrias, según la norma CATIE.....	71
XXXI.	Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable.	75
XXXII.	Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles.....	76
XXXIII.	Límites para el método de los tubos múltiples de fermentación, grupo coliforme.....	78

XXXIV	Número más probable (NMP) para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan tres porciones de 10mL, 1mL y 0.1mL.....	79
-------	---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°F	Grados Fahrenheit
°Bx	Grados brix
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
FAU	Unidades de atenuación de formacina
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
mg/L	Miligramo por litro de solución
pH	Potencial de hidrógeno
Ppm	Partes por millón
Ppb	Partes por billón

GLOSARIO

Acidez	Tendencia de liberar un protón o aceptar un par de electrones de un donante.
Agua	Es un compuesto químico formado por dos partes de hidrógeno y una parte de oxígeno, en volumen. Puede tener en solución o en suspensión a otros materiales sólidos, líquidos o gaseosos. Su fórmula es H ₂ O.
Agua potable	Agua que no contiene contaminación, minerales, ni agentes infecciosos objetables y que se considera satisfactoria para el consumo humano.
Alcalinidad	Es la medición cuantitativa de los constituyentes alcalinos totales (carbonatos, bicarbonatos, oxhidrilos) de un agua, tanto en el estado ionizado como en el no ionizado. Comúnmente se expresa en mg/L de CaCO ₃ equivalente.
Análisis físico	Son las pruebas físicas que miden y registran aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos.
Análisis químico	Son las pruebas químicas que determinan cantidades de materias minerales y orgánicas que hay en el agua, que afecta su calidad y proporciona datos acerca de contaminaciones o muestra variaciones ocasionadas por un tratamiento.
Conductividad	Capacidad que tienen las sustancias a conducir o no la electricidad. Está dada en μS/cm.
Corrosión	Reacción de un metal con un ácido, oxígeno u otro compuesto con destrucción de la superficie del metal.
Desinfección	Es el aniquilamiento de la mayor parte de las bacterias, por medio de sustancias químicas como el cloro o hipocloritos de calcio y sodio.

Dureza	Se denomina agua dura al agua que no forma espuma fácilmente con jabón, por la presencia de diversos compuestos.
Evaporación	Operación unitaria de transferencia de calor, cuyo objetivo es eliminar el mayor porcentaje de agua que contiene el jugo clarificado sin llevarlo a su punto de saturación, de tal manera que, se obtiene un jugo con mayor cantidad de sólidos solubles (brix) y que comúnmente se conoce como meladura.
Imbibición	El proceso en el cual se aplica agua (generalmente a alta temperatura) al bagazo en el molino 5 y 6 para mejorar la extracción de sacarosa de éste, mediante lixiviación. El agua que así se usa se llama agua de imbibición.
Número más probable	Es la mejor estimación de acuerdo con la teoría estadística, del número de bacterias coliformes, presentes en una muestra de agua de 100 cm ³ ; generalmente se expresa como NMP/cm ³ de bacterias coliformes totales o fecales siempre que se emplea el método de los tubos de fermentación, con diluciones múltiples.
Potencial de hidrógeno	Es el logaritmo inverso de la concentración de iones hidrógeno y generalmente se expresa en unidades de pH.
Sacarosa	Es el nombre químicamente del azúcar que se extrae de ciertas plantas (caña de azúcar), frutas y tubérculos (remolacha azucarera). El disacárido puro α -D-glucopiranosil- β -D-fructofuranosida, conocido comúnmente como azúcar.
Tacho	Aparato empleado para realizar la cristalización del azúcar del material (miel o meladura) del que es alimentado, mediante evaporación bajo vacío (evaporador de simple efecto).

Turbiedad

Es el efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión.

Vapor vegetal

Vapor saturado que proviene de la evaporación del jugo, que se utiliza como medio de calentamiento en la calandria del siguiente evaporador.

RESUMEN

El presente Ejercicio Profesional Supervisado es un estudio de la calidad del agua con la que se trabaja en el proceso de producción de azúcar de caña, en Ingenio La Unión; con el objetivo de evaluar si se está trabajando con agua que no contamine el producto y no sea un riesgo para el consumo humano.

Se realizó el conocimiento de las aguas con las que se trabaja en el proceso para establecer los puntos de muestreo. Se determinaron las características físicas, químicas y biológicas de las aguas en estudio, las cuales son agua de condensados que se recolectan en los procesos de evaporación y cristalización, agua clarificada proveniente del río Cristóbal y agua potable. Se realizó muestreos de dichas fuentes de agua y dos puntos de muestreo en el proceso, representando los puntos de mayor riesgo de contaminación del azúcar.

Con los resultados obtenidos se determinó que el agua de condensados y el agua clarificada no es biológicamente segura, pero aún así, es adecuada al proceso, así como también no cumple con la propuesta de norma CATIE para uso en industrias de alimentos en general. El agua potable que se agrega al proceso, no cumple con la norma COGUANOR NGO 29001, por lo que representa un riesgo para el producto final.

OBJETIVOS

General

Analizar física, química y biológicamente el agua que actualmente se utiliza en el proceso de fabricación de azúcar de caña, en Ingenio La Unión; con el fin de verificar si es adecuada para el proceso azucarero.

Específicos:

1. Determinar si el agua de proceso contiene contaminantes físico-químicos, que pongan en riesgo la inocuidad del producto final, según normas propuestas y vigentes en el ramo de la industria alimenticia.
2. Determinar si el agua de proceso contiene contaminantes biológicos, que pongan en peligro la inocuidad del producto final, según la norma COGUANOR NGO 29001.
3. Elaborar un informe destinado al Ingenio La Unión, acerca del estudio a practicarse y presentar recomendaciones y posibles medidas para el control y mejoramiento de la calidad de agua que se suministra al proceso de fabricación de azúcar.

INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia ha visto cambios que exigen una visión más amplia sobre el concepto de la inocuidad de los alimentos. En la industria azucarera, estos cambios significativos recaen en la producción y ofrecimiento de un producto de calidad para satisfacer las exigencias del consumidor. En la medida que se mejora la calidad aumenta la productividad, se incrementan las ventas y mejora el ambiente de trabajo.

El sistema APPCC es una herramienta en la producción, el cual vela por que se dé un enfoque sistemático en la evaluación de posibles riesgos asociados con un producto y determina los controles necesarios para minimizar o eliminar los riesgos que puedan causar enfermedad o daño. El sistema identifica, evalúa y controla peligros significativos en la inocuidad de los alimentos.

APPCC es una norma que introduce a la documentación requerida en las regulaciones y reglamentos que son necesarios para implementar un sistema de calidad total y es complementario con las normas ISO 9001:2000. En determinado tiempo será requisito indispensable para toda aquella industria que quiera exportar productos alimenticios a mercados internacionales.

Como base a este control se debe implementar programas prerrequisito con el objetivo de lograr mantener y mejorar el ambiente necesario para la producción de alimentos de calidad.

Entre los programas más importantes están las buenas prácticas de manufactura (BPMs) y los procedimientos operacionales estándar de sanidad (POES).

El programa de calidad del agua tiene como meta asegurar el agua adecuada dentro de una planta de procesamiento. El suministro de agua debe ser seguro y adecuado para la producción, así como equipo, personal y funciones de apoyo.

El objetivo de este proyecto es evaluar la calidad del agua del proceso en la fabricación de azúcar de caña, teniendo en cuenta los peligros físicos, químicos y biológicos que puedan afectar el producto final.

1. MARCO SITUACIONAL

En la producción azucarera el agua es fundamental. En el período de zafra se utiliza en grandes cantidades, lo que conlleva a su reutilización. Al reutilizar el agua del proceso, la demanda energética disminuye y, por lo tanto, la optimización económica del proceso se ve reflejada en la reducción de costos de operación.

En particular Ingenio La Unión utiliza el agua, entre otras funciones, como adición al proceso productivo. Generalmente, es agua proveniente de la condensación de vapor de las calandrias de los evaporadores y de los tachos.

Estas aguas son recolectadas en un tanque dentro de la fábrica y se reutilizan en el proceso del azúcar. La temperatura de esta agua se encuentra entre 167–175°F. El excedente de agua condensada del proceso se envía hacia un tanque colector, donde es enfriada por medio de aspersores localizados sobre el mismo tanque. Al disminuir la temperatura promedio de 100°F el agua es bombeada a etapas diferentes.

Como otra opción se utiliza el abastecimiento de agua clarificada que proviene del río Cristóbal, la cual, antes de ingresar al clarificador pasa por dos lagunas sedimentadoras, posteriormente se clarifica agregando floculante y finalmente, cloro como medio de desinfección.

Al agua clarificada se le realiza únicamente análisis físico-químicos: pH, conductividad, turbiedad, alcalinidad total, dureza total, dureza de calcio, dureza de magnesio, cloro libre y sílice. No se realiza análisis biológicos, los cuales son de suma importancia para interpretar su calidad.

En la etapa de acondicionamiento de azúcar se utiliza agua potable, la cual se obtiene de un pozo mecánico del ingenio. Se realiza desinfección por medio de cloro.

Del agua de condensados fríos y del tanque de fabricación no existen datos de control, por lo que se debe realizar los análisis mencionados anteriormente; además del análisis biológico para determinar si el suministro de agua es adecuado para la producción de azúcar.

Los parámetros que se deben tomar en consideración van a diferir según la etapa donde se utilice el agua, esto se debe a que en el proceso productivo se trabaja a altas temperaturas con lo que se logra eliminar cualquier tipo de contaminación química y biológica. Pero existen otras etapas en donde no hay forma de eliminar los peligros físico-químicos o biológicos, y se debe utilizar agua segura y adecuada para la disminución de riesgos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis de peligros y puntos críticos de control

2.1.1 Origen e historia de APPCC

Los requerimientos de APPCC y otras medidas para la seguridad de alimentos, fueron motivados por la necesidad crítica de llenar un vacío en el sistema regulatorio y por la necesidad de tener medidas adecuadas para referirse a los problemas de microorganismos patógenos en los productos alimenticios.

La meta de seguridad alimenticia se fija en la necesidad de reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos, asociados al consumo de productos a la extensión máxima posible, y así asegurar medidas apropiadas y factibles en cada paso en el proceso de producción de alimentos, donde puedan surgir riesgos y existan o puedan desarrollarse procedimientos y tecnologías para prevenir peligros o reducir su ocurrencia.

2.2 Programas prerrequisito para implementar APPCC

El sistema de APPCC puede realizarse si previamente se han cumplido una serie de requisitos preestablecidos. Uno de los aspectos más importante es la capacitación continua del personal.

Los prerrequisitos son un conjunto de propuestas que no se consideran dentro del sistema de autocontrol APPCC, pero que las empresas deberían ofrecer para la protección sanitaria de los productos.

Los programas de prerrequisitos son programas que controlan las condiciones de operación dentro de las instalaciones. Estos programas son la base para el sistema APPCC. Si los programas básicos no están implementados o controlados de manera adecuada, podría ser necesario agregar más puntos críticos de control. El uso adecuado y efectivo de programas fundamentales de seguridad en los alimentos ayudará a mantener la integridad del sistema APPCC.

Los programas prerrequisito identificados son los siguientes:

1. Programa de Sanidad – Procedimientos Operacionales Estándar de Sanidad
2. Buenas Prácticas de Manufactura
 - 2.1 Programa de calidad del agua
 - 2.2 Prácticas de personal e higiene personal
 - 2.3 Diseño y construcción de edificios y equipo
 - 2.4 Mantenimiento preventivo
3. Programa de Control de Químicos
4. Programa de Control de Plagas
5. Programa de Rastreo y Retiro de Productos

Los programas prerrequisitos deben ser documentados y que contengan elementos claves como:

- Procedimientos de limpieza y desinfección a seguir antes, durante y después de las operaciones.
- Frecuencia para la ejecución de cada procedimiento e identificación del responsable de dirigirlo.
- Vigilancia diaria de la ejecución de los procedimientos.
- Evaluación de la efectividad del programa y sus procedimientos en la prevención de la contaminación.
- Toma de acciones correctivas cuando se determina que los procedimientos no logran prevenir la contaminación.

2.3 Programa de calidad del agua

El objetivo de un programa de calidad del agua es trabajar con un suministro de agua seguro y adecuado para los productos, equipo, personal y funciones de apoyo. Tomando en cuenta los requerimientos legales y sociales.

2.3.1 Usos industriales del agua

La industria utiliza el agua para elaborar productos, enfriamiento, generación de vapor, lavado, clasificación y traslado de materiales, etc. Los alimentos elaborados en general, requieren agua de alta calidad, aunque también se usa agua para el aprovechamiento de los desechos.

No obstante, los usos industriales del agua son muy diversos, y están en gran medida condicionados por lo que produzcan. Se considera que las principales aplicaciones son: generación de vapor, enfriamiento y procesamiento. Los diferentes procesos en que interviene el agua, tales como el transporte y lavado, pueden llevarse a cabo en diversas industrias que no tienen ninguna relación entre sí.

2.3.1.1 Transferencia de calor

La industria capitaliza la gran capacidad calorífica del agua para aprovecharla en unidades de procesos económicos para calentamiento o enfriamiento.

2.3.1.1.1 Calentamiento

El método más común para suministrar calor a las diversas áreas de un complejo industrial es la generación de vapor. El vapor se produce mediante un combustible en una estación generadora central y se distribuye a toda la planta a presión y velocidad relativamente altas. La temperatura en cada unidad se controla regulando el flujo a la presión.

2.3.1.1.2 Enfriamiento

Durante muchos años se han utilizado la circulación del agua en equipos de enfriamiento. El volumen de líquido que debe extraerse de una fuente de agua dulce para abastecer un sistema de enfriamiento, puede reducirse considerablemente si se utiliza una torre de enfriamiento.

La temperatura a la que se puede enfriar el agua recirculada está limitada por la temperatura de bulbo húmedo del aire que se utiliza para inducir la evaporación. La temperatura del agua recirculada casi siempre será mayor que la de la fuente original.

Puesto que todas las plantas de fabricación de productos alimenticios son tan diferentes entre sí, es más sencillo examinar los requerimientos de agua y vapor para las operaciones unitarias, que tratar de determinar las necesidades de agua y vapor para diferentes clasificaciones de plantas de procesos.

2.3.1.2 Aplicación a procesos

En los procesos industriales el agua realiza importantes funciones, entre las que se destaca el uso como materia prima, para transportar materiales y en procedimientos de lavado; asimismo, en muchas otras aplicaciones que pueden ser exclusivas de un solo tipo de industria e incluso de una sola planta.

2.3.1.2.1 Agua como materia prima

El agua se utiliza como materia prima en gran cantidad de industrias.

2.3.1.2.2 Transporte

Así, como las corrientes naturales de agua llevan sólidos en suspensión, las corrientes que circulan dentro de tuberías o de canaletas en una fábrica pueden transportar materiales de un área a otra dentro de la misma planta.

2.3.1.2.3 Agua para lavados

El agua es un medio adecuado para el lavado general de equipos industriales. Lavar el equipo industrial es importante por razones prácticas, tales como: seguridad para el personal; para resguardar la calidad del producto y para evitar contratiempos al ritmo de producción.

2.3.1.2.4 Generación de energía

El agua también se emplea para generar energía, ya sea en una planta industrial o en una estación generadora.

La planta industrial que produce vapor para transformarlo en energía, tiene pérdidas de agua mayores que una estación generadora, por lo que requiere una mayor cantidad de agua de reemplazo; así mismo, el grado de contaminación del condensado y la temperatura del condensado que recircula es diferente en ambas instalaciones.

2.3.1.2.5 Agua para usos generales

El agua es un material tan económico y conveniente, que la industria lo ha aplicado a innumerables trabajos de la más diversa índole.

2.3.2 Contaminantes biológicos

2.3.2.1 Definición

Un peligro biológico es un organismo o sub-producto que puede estar presente en el alimento y causar una enfermedad o daño cuando se consume. Los peligros biológicos incluyen bacterias, virus o parásitos dañinos (como la salmonella, hepatitis H y trichinella).

2.3.2.2 Microorganismos

Son organismos vivientes cuya forma básica no puede verse a simple vista, pero sí con la ayuda de un microscopio. Estos incluyen:

- Mohos
- Levadura
- Bacteria

Los microorganismos se clasifican en varios grupos, los que merecen mayor importancia y atención para la elaboración de los alimentos son: las levaduras, los hongos, las bacterias, los virus y protozoarios. Como los microorganismos están por todos lados, es importante entender cuándo se debe preocupar y como manejarlos. A pesar de la existencia de miles de microorganismos diferentes, sólo algunos presentan algún riesgo para los humanos.

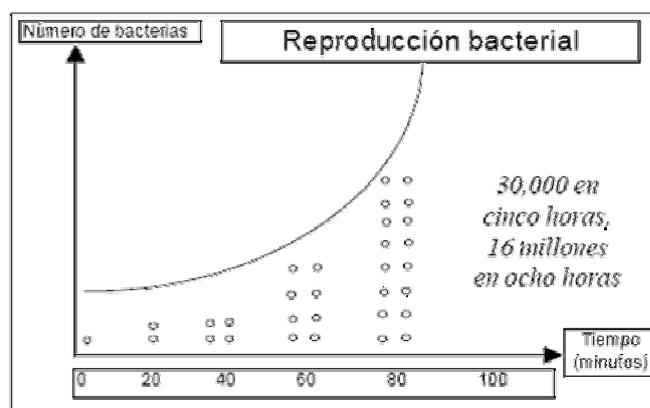
Los microorganismos (aparte de los virus), para subsistir y reproducirse, necesitan:

- Alimento
- Agua
- Temperatura adecuada
- Aire, aire mínimo o sin aire.

Los microorganismos se multiplican en diferentes formas. El método más común, en especial para levadura, bacteria y protozoarios, es el crecer y dividirse.

Un microorganismo se divide en dos, dos en cuatro, cuatro en ocho, ocho en dieciséis y así sucesivamente. Por medio de la duplicidad, los microorganismos se multiplican de forma rápida. Bajo condiciones ideales, algunas bacterias se duplican cada 20 minutos.

Figura 1. Proporción de crecimiento de las bacterias en el tiempo



Fuente: Seminario AIB Internacional. **Programas Prerrequisitos al plan APPCC, Programa de Calidad del Agua.**

2.3.2.2.1 Bacterias

Los peligros de las bacterias pueden dividirse en:

- **Bacterias infecciosas**

Los peligros de las bacterias están definidos como aquellos que, si se presentan en los alimentos, pueden causar alguna enfermedad en los humanos, ya sea por infección o intoxicación. Las infecciones que provienen de alimentos, son causadas por ingerir patógenos vivos que crecerán dentro del cuerpo, generalmente en el intestino grueso. Y difieren de la intoxicación por alimento.

- **Bacterias que producen toxinas en el alimento (intoxicación)**

La intoxicación por alimentos es una condición causada por la ingestión de toxinas ya formadas.

- **Bacterias que forman esporas**

Los peligros de las bacterias también pueden agruparse en productores de esporas y no productores de esporas. Ciertas clases de bacterias (ej. Clostridium y Bacillus spp.) están en estado inactivo en su ciclo de vida donde se les conoce como esporas. A pesar que el microorganismo existe como espora, es muy resistente a los químicos, al calor y a otros tratamientos que de forma normal serían letales para una bacteria que no forma esporas.

Debido a que están inactivas (latentes) no son dañinas, siempre y cuando se mantengan como tal. Desafortunadamente, si sobreviven a pasos de proceso designado para la eliminación de bacterias que no forman esporas, pueden convertirse en un riesgo en el alimento si se les permite crecer

- **Bacterias que no forman esporas**

2.3.3 Contaminantes químicos

La contaminación química puede ocurrir en cualquier paso de la producción de alimentos. Los químicos pueden ser muy útiles y se utilizan de forma intencional con algunos alimentos, tal y como los pesticidas en frutas y vegetales. Los químicos no representan un riesgo si se utilizan con un control adecuado.

El riesgo potencial para el consumidor se incrementa cuando los químicos no se controlan o se exceden los niveles de tratamiento recomendados. La presencia de un químico no siempre representa un peligro. La cantidad del químico determina si es un peligro o no. Algunos pueden requerir de una exposición prolongada para tener un efecto tóxico. Existen límites reglamentarios para el uso de estos químicos contaminantes.

2.3.3.1 Definición

Cualquier sustancia no natural agregada intencionalmente al producto o que se deposita dentro de él, en algún momento del proceso, de manera involuntaria y es potencialmente dañina al consumidor.

2.3.3.2 Químicos que se agregan de forma intencional

Estos químicos se agregan intencionalmente a los alimentos en algún punto durante el crecimiento o distribución de los alimentos. Los químicos que se agregan de forma intencional, son seguros cuando se utilizan a niveles apropiados, pero pueden ser peligrosos cuando estos niveles se exceden.

2.3.3.3 Químicos que se agregan accidentalmente

Los químicos pueden formar parte de un alimento sin ser agregados de manera intencional. Estos químicos accidentales pueden estar ya en los ingredientes, cuando se reciben. La mayoría de los químicos incidentales no tienen efecto en la seguridad de los alimentos, y otros son sólo una preocupación si se presentan en cantidades muy altas.

Los químicos incidentales también incluyen adiciones accidentales de sustancias prohibidas, tal y como venenos o insecticidas, que no están permitidos en ningún nivel.

2.3.3.4 Químicos que ocurren de forma natural

Estos químicos se derivan de gran variedad de plantas, animales o microorganismos. A pesar de que muchas toxinas que se presentan de manera natural son de origen biológico, se consideran de manera tradicional como químicos.

2.3.4 Contaminantes físicos

Los peligros físicos incluyen materia extraña y potencialmente dañina, que normalmente no se encuentra en los alimentos. Cuando un consumidor por error come un material extraño y objeto, es probable que cause ahogamiento, lesión y otro efecto adverso para la salud. Los contaminantes físicos son los que el consumidor reporta de manera más común, porque el daño ocurre de manera inmediata o después de ingerirse, y el origen del daño es fácil de identificar.

2.3.4.1 Origen de los peligros físicos:

Así como con los peligros biológicos y químicos, existen diferentes orígenes de peligros físicos. Los peligros físicos en un producto terminado pueden tener diferentes orígenes, como:

- Materia prima contaminada
- Instalaciones mal diseñadas y mal mantenimiento del equipo
- Procedimientos erróneos durante la producción
- Prácticas inapropiadas de los empleados

2.3.5 Procesos de tratamientos de agua

Al decidir qué procesos de tratamiento se utilizarán en un caso concreto, se debe tener en cuenta el tipo de fuente y la calidad del agua procedente de ésta.

La intensidad del tratamiento dependerá del grado de contaminación en la fuente. Si ésta está contaminada, es especialmente importante que el tratamiento oponga múltiples barreras a la difusión de los organismos patógenos, garantizando así un alto grado de protección y evitando la dependencia de un solo proceso.

La finalidad fundamental del tratamiento del agua es proteger al consumidor contra los agentes patógenos y las impurezas que puedan resultarle desagradables o ser perjudiciales para su salud. Los tratamientos recomendados para distintas fuentes, a fin de obtener agua libre de riesgos.

2.3.5.1 Filtración

La remoción de sólidos suspendidos, al pasar el agua a través de un medio poroso, es principalmente una acción mecánica. Muchas partículas no pasan por los intersticios del filtro a causa de su tamaño. Esta acción sola, sin embargo, puede no dar una clarificación completa.

2.3.5.2 Desinfección

El término desinfección se aplica a aquellos procesos en los cuales microorganismos patógenos pero no sus esporas, son destruidos. El propósito primario de la desinfección del agua es el de impedir la diseminación de enfermedades hídricas.

2.3.5.2.1 Cloración

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc., así como oxidante para la oxidación de hierro y manganeso; para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, remoción de amoníaco y color orgánico y oxidación de cianuros.

2.3.5.2.2 Ozono

El ozono, O_3 , es una forma alotrópica del oxígeno producido mediante el paso de oxígeno o aire seco a través de una descarga eléctrica de 5,000 – 20,000 V, 50 – 500 hz, con un consumo energético de 10 – 25 KWh/ kg de O_3 . Es un gas azul, muy tóxico e inestable, con olor picante de heno recién segado, y uno de los más potentes germicidas usados en tratamiento de aguas.

Las ventajas del ozono radican en su alta efectividad germicida, su habilidad para remover muchos problemas de color, olor y sabor, y en que su potencia no se ve alterada por los compuestos de amoníaco ni por el pH.

3. METODOLOGÍA

3.1 Localización de la fábrica

Ingenio La Unión, se encuentra ubicada en la Finca Belén, kilómetro 97.5, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

3.2 Identificación de las fuentes de agua para el proceso

En el proceso de fabricación de azúcar se trabaja con diferentes tipos de agua según sea la etapa que se esté realizando.

3.2.1 Recepción y extracción del jugo

El agua utilizada proviene del tanque de condensados de fábrica.

En muchos ingenios la caña, después del corte, pasa por una etapa de prelavado, pero esta etapa se ha eliminado en Ingenio La Unión para ahorrar agua.

En el recorrido de la caña por el molino, se le agrega agua para lograr extraerle la sacarosa que contiene el material fibroso que pasa a través de las unidades que componen un molino. Este proceso de agregar agua es llamado imbibición.

3.2.2 Tratamiento del jugo

3.2.2.1 Sulfitación

No se utiliza agua en esta etapa.

3.2.2.2 Alcalización y calentamiento

El agua proviene del tanque de condensados fríos. La alcalización sirve para la eliminación de las impurezas solubles como insolubles, se utiliza la cal, que se agrega al jugo en forma de lechada de cal, la cual es preparada con una determinada cantidad de CaO, el agua antes mencionada y jugo.

El jugo que sale de la alcalización es calentado con vapor en intercambiadores de tubo y coraza hasta una temperatura de 210-220 °F y se dispone en tanques.

3.2.2.3 Clarificación

El agua proviene del tanque de condensados fríos. Se utiliza agua en el equipo de clarificación rápida llamada UNICLAR y en los clarificadores.

3.2.2.4 Filtración

Se utiliza agua proveniente del tanque de condensados fríos y del tanque de fábrica. Inicialmente a los lodos se les agrega bagacillo, cal y floculante para aumentar su filtrabilidad. El floculante es una preparación de polvo floculante y agua de condensados fríos. El agua debe estar a una temperatura menor a 105°F, para mantener la vida útil de la solución.

En el filtro se aplica agua caliente de condensados de fábrica con boquillas aspersoras para minimizar la cantidad de sacarosa residual en la cachaza.

3.2.2.5 Evaporación

El jugo clarificado se concentra utilizando una batería de evaporadores repartidos en cinco efectos, en donde se elimina el 75% de agua.

El agua que es separada del jugo en forma de vapor se condensa en la calandria de los evaporadores, se recolecta y se usa como sigue:

- Condensado del 1° y 2° efecto se usa en las calderas
- Condensado del 3° y 4° efecto se usa como agua caliente en fábrica sobre todo como agua de lavado en las centrifugas, adición a los tachos y como agua de lavado en los filtros rotativos de cachaza.
- El vapor del 5° efecto se condensa y se regresa al sistema de recirculación de agua.

3.2.3 Recuperación de sacarosa

3.2.3.1 Cristalización

En esta operación, cuando es necesario se agrega agua de condensados calientes. Se obtienen condensados de las calandrias, que es vapor de tercer efecto, el cual se recolecta y es bombeado al tanque de fábrica.

Luego se realiza la cristalización en frío, cuando es necesario se agrega agua de condensados calientes. en donde se trata de agotar la masa lo mayor posible.

3.2.3.2 Centrifugación

El agua que se utiliza es de condensados calientes del tanque de fábrica.

La centrifugación se lleva a cabo en una batería de centrifugas, que tiene como objeto la separación de los cristales y las mieles.

La centrifugación está dividida por etapas, en donde se utiliza agua para lavado de las masas y para el lavado de la malla metálica después de cada descarga.

Cuando el ciclo finaliza se descarga el azúcar a un conductor que transporta esta, hasta la parte alta de la fábrica en donde se ubican las máquinas secadoras, en este conductor se agrega agua potable por medio de un rociador.

3.2.4 Acondicionamiento de azúcar

3.2.4.1 Secado

El contenido de humedad del azúcar al finalizar la separación centrífuga no mantiene un nivel apropiado para su manipulación y almacenamiento. La función de secado busca entonces reducir el contenido de humedad del azúcar hasta un valor lo bastante bajo para impedir el desarrollo de microorganismos que puedan ocasionar el deterioro del producto.

La humedad del azúcar producido debe de oscilar entre 0.03% y 0.05% para azúcar blanca a una temperatura de 95°F y entre 0.2% y 0.3% para azúcar cruda en grano, a una temperatura de 105°F.

El aire que pasa por el secador arrastra consigo una pequeña cantidad de polvo de azúcar, siendo necesario la utilización de agua potable, agregando con aspersores para la recuperación del azúcar arrastrada, retornándolo posteriormente al proceso.

3.2.5 Envasado, pesado y almacenaje del azúcar

Se utiliza agua para la limpieza de los equipos. No se utiliza agua en contacto directo con el producto.

En conclusión, se tiene en total tres tipos de agua que tienen contacto directo con el azúcar, así como también un cuarto tipo de agua que está como reemplazo al agua de condensados fríos. Se utiliza cuando hay insuficiencia de condensados en la fábrica. Los cuales son:

1. Agua de condensados calientes
2. Agua de condensados fríos
3. Agua potable
4. Agua clarificada

3.3 Diseño del método de muestreo

3.3.1 Selección de los sitios de muestreo

Se seleccionaron cuatro puntos de muestreo en lugares estratégicos, los cuales son representativos en el área de estudio, con el fin de evaluar la calidad del agua en el proceso de producción los cuales son:

- Tanque de fábrica (agua de condensados calientes)
- Tanque de condensados fríos
- Clarificador de agua
- Agua de imbibición

También se seleccionaron puntos para muestreos donde existe mayor riesgo de contaminación al producto final, y que no se puede eliminar; en estos puntos se debe utilizar agua potable:

- Rociador de las centrifugas
- Rociador en faja de la línea de crudo
- Rociador en enfriador de la línea de crudo

3.3.2 Frecuencia de muestreo

Se tomaran muestras de cada uno de los diversos puntos de muestreo, durante un período determinado, según la fecha de finalización del período de zafra, mediante el cual se pueda establecer una estabilidad de los valores obtenidos en los parámetros analizados.

3.3.3 Tipos de análisis a realizar

3.3.3.1 Análisis Físico

- ❖ Potencial de hidrógeno
- ❖ Conductividad
- ❖ Turbiedad
- ❖ Temperatura

3.3.3.2 Análisis Químico

- ❖ Alcalinidad Total
- ❖ Dureza Total
- ❖ Dureza de Calcio
- ❖ Dureza de Magnesio
- ❖ Sílice
- ❖ Cloro Libre
- ❖ Sulfitos
- ❖ Fosfatos

3.3.3.3 Análisis Biológico

- ❖ Cuantificación de Bacterias
- ❖ Cuantificación de Hongos
- ❖ Cuantificación de Levaduras
- ❖ Prueba Presuntiva de *E. coli*

3.4 Diagramas de flujo de los sistemas de agua del proceso

Figura 2. Sistema de agua de condensados de fábrica

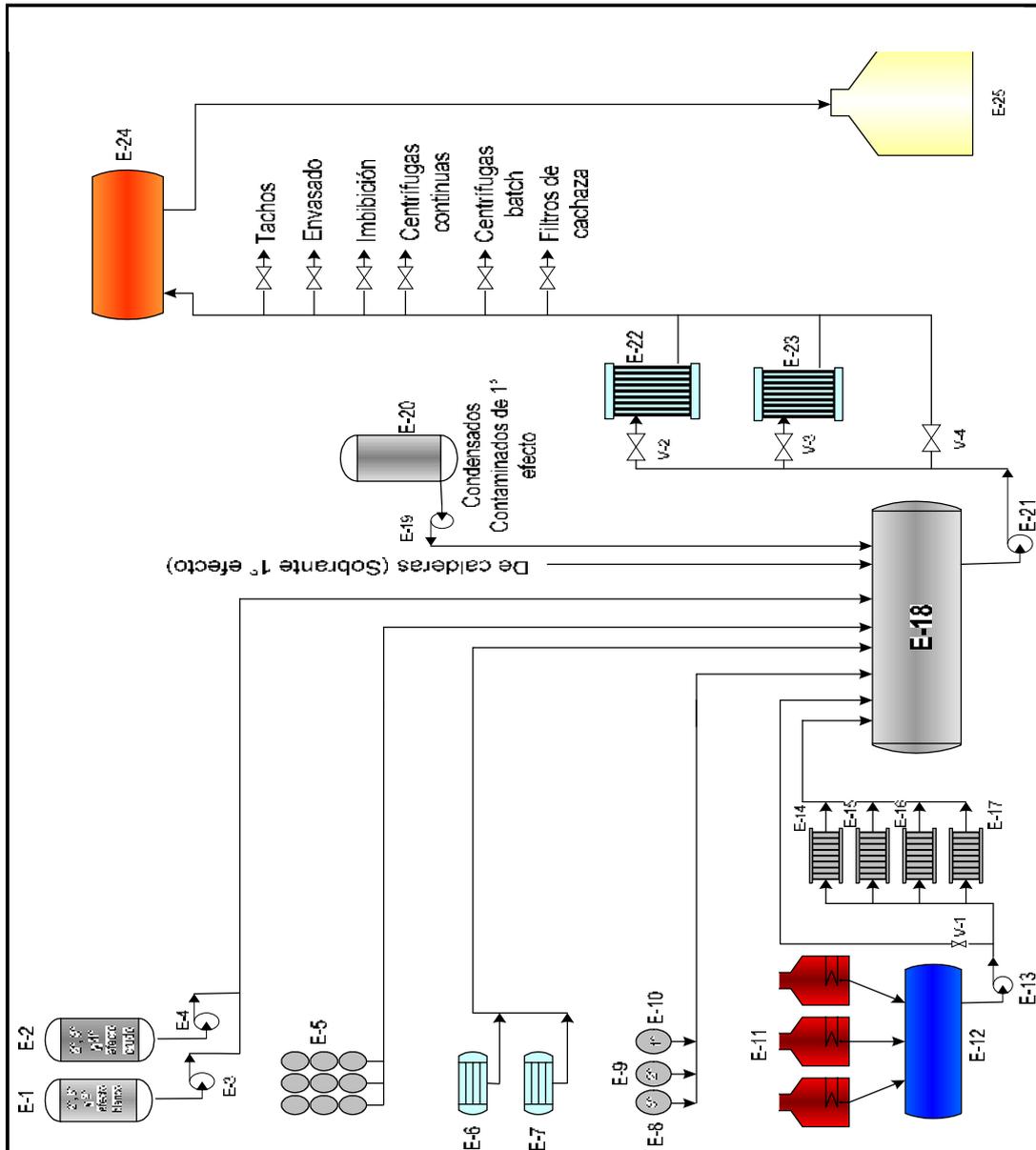


Tabla I. Equipos que se encuentran conectado con el sistema de condensados de fábrica

Código	Equipo
E-1	Condensados de 2º, 3º y 4º de evaporadores de azúcar blanco
E-2	Condensados de 2º, 3º y 4º de evaporadores de azúcar blanco
E-3	Bomba centrífuga
E-4	Bomba centrífuga
E-5	Calentadores de jugo blanco
E-6, 7	Calentadores de meladura
E-8,9 y 10	Calentadores de jugo crudo
E-11	Tachos
E-12	Tanque de condensados de tachos
E-13	Bomba centrífuga
E-14,15,16 y 17	Calentadores de placas para miel
E-18	Tanque de Fábrica
E-19	Bomba centrífuga
E-20	Condensados contaminados de 1º efecto
E-21	Bomba centrífuga
E-22, 23	Calentadores de placa
E-24	Tanque elevado de fábrica
E-25	Tanque de Condensados fríos

Figura 3. Sistema de agua del tanque de condensados fríos

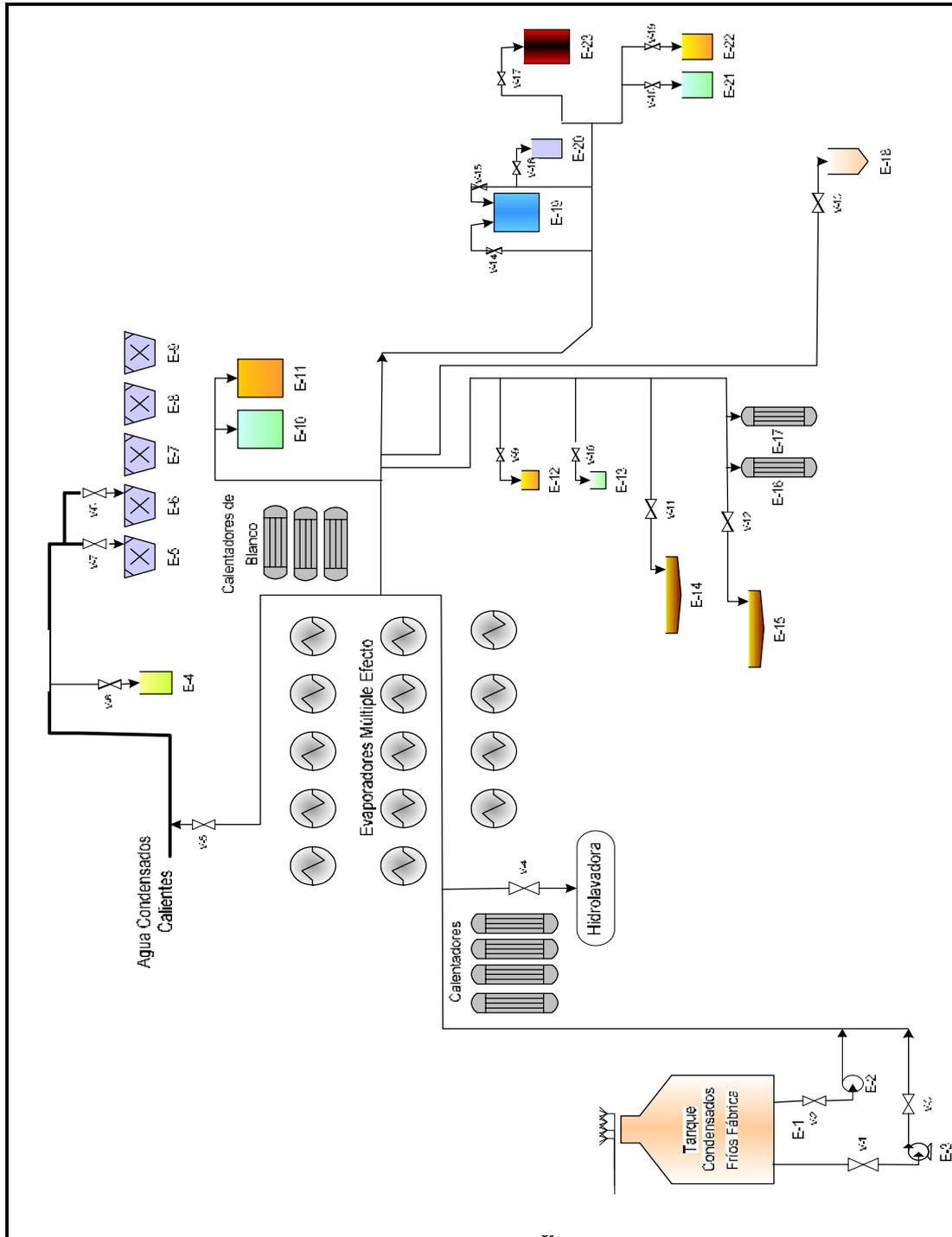


Tabla II. Equipos que se encuentran conectados con el sistema de condensados fríos

Código	Equipo
E-1	Tanque Condensados Fríos
E-2, 3	Bombas centrífugas
E-4	Tanque recolector en el área de extracción de jugo
E-5, 6, 7, 8 y 9	Tándem de molinos
E-10	Tanque de preparación de floculante del área de clarificación de jugo
E-11	Tanque de preparación de sacarato del área de clarificación de jugo
E-12	Tanque de preparación de floculante del área de clarificación de meladura
E-13	Tanque de preparación de sacarato del área de clarificación de meladura
E-14	Clarificador de meladura para blanco
E-15	Clarificador de meladura para crudo
E-16, 17	Calentadores de meladura
E-18	Tanque de preparación de lechada de cal para filtros de cachaza
E-19	Clarificador de jugo UNICLAR
E-20	Tanque de preparación de lechada de cal para clarificador de jugo
E-21	Tanque de preparación de floculante para filtros de cachaza
E-24	Tanque de preparación de floculante para filtros de cachaza
E-25	Tanque receptor, recolector de agua de condensador fríos

Figura 4. Sistema de agua del clarificador de agua

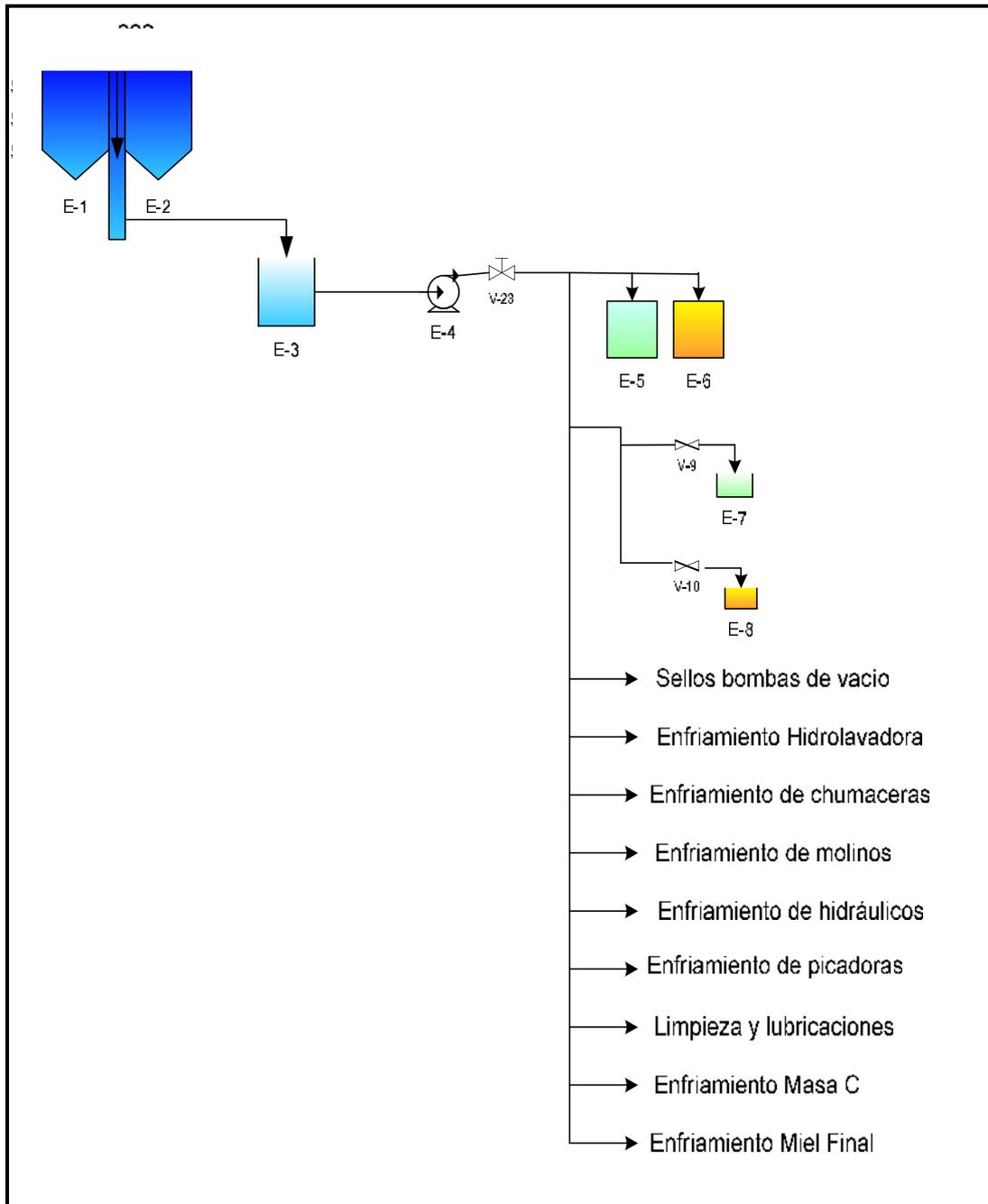


Tabla III. Equipos que se encuentran conectados con el sistema de agua clarificada

Código	Equipo
E-1, 2	Piletas clarificadoras de agua
E-3	Pileta receptora de agua dentro de la fábrica
E-4	Bomba centrífuga
E-5	Tanque de preparación de floculante del área de clarificación de jugo
E-6	Tanque de preparación de sacarato del área de clarificación de jugo
E-7	Tanque de preparación de floculante del área de clarificación de meladura
E-8	Tanque de preparación de sacarato del área de clarificación de meladura

Figura 5. Sistema de agua potable en el proceso

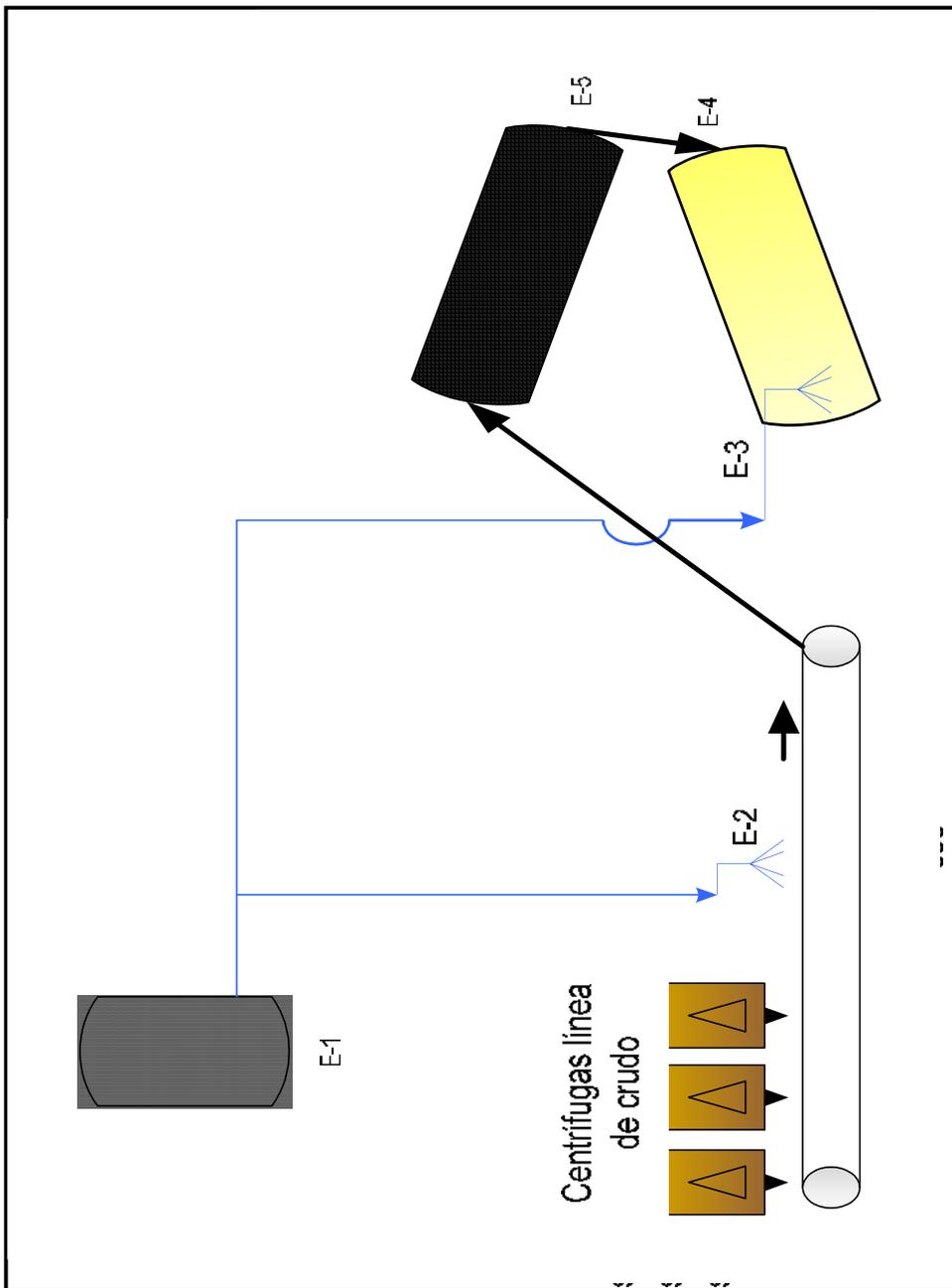
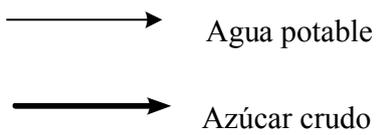


Tabla IV. Equipos que se encuentran conectados con el sistema de agua potable en la fábrica

	
Código	Equipo
E-1	Tanque de agua potable
E-2	Rociador de la faja en la línea de crudo
E-3	Rociador del enfriador en la línea de crudo
E-4	Enfriador de azúcar crudo
E-5	Secador de azúcar crudo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y biológicos de los diferentes tipos de agua del proceso y la comparación con la norma de calidad de agua potable y la propuesta de la norma CATIE para uso en industrias de alimentos en general se muestran a continuación:

Tabla V. Parámetros físicos del agua del tanque de fábrica

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Potencial de hidrógeno (unidades)	6,91	6,22	5,65	5,12	6,14
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	167,1	216	237	590	451
Turbiedad (FAU)	18	20	45	12	10
Trazas de Azúcar	1	1	2	2	1
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	79	81	77	84	80

Tabla VI. Parámetros físicos del agua del rociador de centrifuga

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Potencial de hidrógeno (unidades)	8,15	8,14	8,9	8,11	7,33
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	114,1	423,7	92,1	369,1	983
Turbiedad (FAU)	2	2	4	125	185
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	76,7	77,3	75,1	76,9	77,4

Tabla VII. Parámetros físicos del agua del tanque de condensados fríos

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Potencial de hidrógeno (unidades)	6,26	6,61	6,62	6,36	6,67
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	158,5	179,5	299	171,1	146,1
Turbiedad (FAU)	40	35	42	37	60
Trazas de Azúcar	2	3	2	1	1
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	39,1	39,8	40,1	38,2	37,7

Tabla VIII. Parámetros físicos del agua de imbibición

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Potencial de hidrógeno (unidades)	7,31	7,4	7,56	7,43	7,4
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	145,1	143,8	132,4	127,9	130,2
Turbiedad (FAU)	18	17	20	20	19

Tabla IX. Parámetros físicos del agua del rociador de la faja de azúcar crudo

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Potencial de hidrógeno (unidades)	8,01	8,12	8,18	8,16	8,22
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	353	324	294	341	349
Turbiedad (FAU)	17	11	7	6	2

Tabla X. Parámetros físicos del agua del rociador del enfriador de azúcar crudo

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Potencial de hidrógeno (unidades)	8,19	8,11	8,23	8,01	7,77
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	292	305	347	314	289
Turbiedad (FAU)	2	3	2	4	4

Tabla XI. Parámetros físicos del agua del clarificador

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Potencial de hidrógeno (unidades)	7,33	7,61	7,50	7,56	7,30
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	328	328	226	269	195
Turbiedad (FAU)	14	20	20	15	32
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	28,8	29,3	28,6	29,6	28,6

Tabla XII. Parámetros químicos del agua del tanque de fábrica

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Alcalinidad Total (mg/L)	0	0	0	0	0
Dureza Total (mg/L)	32	0	16	24	20
Dureza de Calcio (mg/L)	20	0	8	14	10
Dureza de Magnesio (mg/L)	12	0	8	10	10
Sílice (SiO_2) (ppb)	920	730	330	970	56,4
Cloro Libre (Cl_2) (mg/L)	0,172	0,188	0,467	0,147	0,134
Sulfitos (mg/L)	0,1	0	0,1	0,1	0,1
Fosfatos (mg/L)	8	8,6	16,4	2	4

Tabla XIII. Parámetros químicos del agua del rociador de centrífuga

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Alcalinidad Total (mg/L)	0	0	0	0	0
Dureza Total (mg/L)	8	4	0	14	20
Dureza de Calcio (mg/L)	6	2	0	10	12
Dureza de Magnesio (mg/L)	2	2	0	4	8
Sílice (SiO_2) (ppb)	260	184,1	31,6	249,4	358,6
Cloro Libre (Cl_2) (mg/L)	0,04	0,77	0,33	0,25	1,13
Sulfitos (mg/L)	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1
Fosfatos (mg/L)	3,1	18,9	4,5	24,1	57

Tabla XIV. Parámetros químicos del agua del tanque de condensados fríos

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Alcalinidad Total (mg/L)	0	0	0	0	0
Dureza Total (mg/L)	6	12	20	16	16
Dureza de Calcio (mg/L)	2	6	12	6	4
Dureza de Magnesio (mg/L)	4	6	8	10	12
Sílice (SiO ₂) (ppb)	580	510	450	290	3950
Cloro Libre (Cl ₂) (mg/L)	0,4	0,306	0,353	0,285	1,18
Sulfitos (mg/L)	0,34	0,1	0,1	0,2	0,1
Fosfatos (mg/L)	10,4	19,3	7,1	7,4	11

Tabla XV. Parámetros químicos del agua de imbibición

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Alcalinidad Total (mg/L)	0	0	0	0	0
Dureza Total (mg/L)	8	8	12	12	8
Sílice (SiO ₂) (ppb)	320	150	890	1110	680
Cloro Libre (Cl ₂) (mg/L)	0,213	0,185	0,197	0,224	0,206
Sulfitos (mg/L)	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
Fosfatos (mg/L)	4,9	5,4	5,5	4,6	4,7

Tabla XVI. Parámetros químicos del agua del rociador de la faja de azúcar crudo

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Dureza Total (mg/L)	112	108	112	116	112
Sílice (SiO ₂) (ppb)	412,4	206	19,01	133,8	78,2
Cloro Libre (Cl ₂) (mg/L)	0,191	0,128	0,135	0,131	0,095
Sulfitos (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0
Fosfatos (mg/L)	3,1	2,5	0,9	4,3	6,2

Tabla XVII. Parámetros químicos del agua del rociador del enfriador de azúcar crudo

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Dureza Total (mg/L)	116	116	120	124	120
Sílice (SiO ₂) (ppb)	92,4	164	417,2	462	428,4
Cloro Libre (Cl ₂) (mg/L)	0,166	0,157	0,111	0,119	0,137
Sulfitos (mg/L)	0,1	0,1	0,2	0,2	0
Fosfatos (mg/L)	0,2	0,8	3,3	2,1	0,9

Tabla XVIII. Parámetros químicos del agua del clarificador

PARÁMETROS	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Alcalinidad Total (mg/L)	130	140	80	98	74
Dureza Total (mg/L)	124	134	94	100	76
Dureza de Calcio (mg/L)	76	78	50	64	42
Dureza de Magnesio (mg/L)	48	56	44	36	34
Sílice (SiO ₂) (ppb)	57,99	51,57	40,10	49,22	40,87
Cloro Libre (Cl ₂) (mg/L)	0,23	0,22	0,26	0,19	0,3

Tabla XIX. Parámetros microbiológicos del agua del tanque de fábrica

	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Bacterias (bacteria/mL)	10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁵
Hongos	0	+	+	0	0
Levaduras (levadura/mL)	10 ²	10 ²	0	0	0

Tabla XX. Parámetros microbiológicos del agua del rociador de centrífuga

	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Bacterias (bacteria/mL)	10 ³	10 ³	10 ³	10 ⁴	10 ⁴
Hongos	0	+	+	0	0
Levaduras (levadura/mL)	0	0	0	0	0

Tabla XXI. Parámetros microbiológicos del agua del tanque de condensados fríos

	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Bacterias (bacteria/mL)	10^5	10^5	10^5	10^5	10^5
Hongos	0	0	0	+	0
Levaduras (levadura/mL)	0	10^2	10^2	10^2	10^2

Tabla XXII. Parámetros microbiológicos del agua del rociador de la faja de azúcar crudo

	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Bacterias (bacteria/mL)	10^3	10^3	10^4	10^4	10^3
Hongos	+	+	+	+	+
Levaduras (levadura/mL)	0	0	0	0	0

Tabla XXIII. Parámetros microbiológicos del agua del rociador del enfriador de azúcar crudo

	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Bacterias (bacteria/mL)	10^3	10^3	10^4	10^3	10^3
Hongos	+	+	0	0	0
Levaduras (levadura/mL)	0	0	0	0	0

Tabla XXIV. Parámetros microbiológicos del agua del clarificador

	MUESTREOS				
	1	2	3	4	5
Bacterias (bacteria/mL)	10^6	10^4	10^4	10^5	10^4
Hongos	+++	++	++	++	+
Levaduras (levadura/mL)	10^2	0	0	10^2	0

NOTA:

<i>Bacteriano y Levaduras</i>		<i>Hongos</i>	
Recuento	Tipo de Infección	Recuento	Tipo de Infección
10^4	Ligera	(+)	Ligera
10^4 a 10^6	Moderada	(++)	Mediana
10^6 o más	fuerte	(+++)	Fuerte

Tabla XXV.

Comparación de los valores promedios físicos y químicos con la norma CATIE para la industria de alimentos en general

PARÁMETRO	Norma CATIE	Tanque de Fábrica		Tanque de Condensados Fríos		Clasificador de Agua	
		Promedio	Observación	Promedio	Observación	Promedio	Observación
Potencial de hidrógeno (unidades)	6,5 - 8,5	6,01	FR	6,5	DR	7,46	DR
Turbiedad (FAU)	10	21	FR	43	FR	20	FR
Alcalinidad Total (mg/L)	250	0	DR	0	DR	113	DR
Dureza Total (mg/L)	250	18	DR	14	DR	104	DR

NOTA:

FR fuera de rango

DR dentro del rango

TABLA XXVI.

Comparación de los valores promedios físicos y químicos con la norma COGUANOR NGO 29001

PARÁMETRO	Nombre COGUANOR NGO 29001		Rodador Centrifugas		Rodador Faja LC		Rodador Enfriador LC	
	LMA	LMP	Promedc	Observadór	Promedc	Observadór	Promedc	Observadór
Potencial de hidrógeno (unidades)	7,0- 7,5	6,5- 8,5	8,13	LMP	8,14	LMP	8,06	LMP
Conductividad (µS/cm)	---	< de 1500	396,4	LMP	332	LMP	309	LMP
Turbiedad (FAU)	5	15	64	No sample	9	LMP	3	LMP
Dureza Total (mg/L)	100	500	9	LMA	112	LMP	119	LMP
Cloro Libre (Cl ₂) (mg/L)	0,5	1	0,5	LMA	0,136	LMA	0,138	LMA

NOTA

LMA límite máximo aceptable

LMP límite máximo permisible

Tabla XXVII.

Comparación de los análisis bacteriológicos del agua con la norma COGUANOR NGO 29001

Punto de Muestreo	PRUEBAS RESUMIDA			NMP	Norma COGUANOR NGO 29001	Observación
	10ml.	1ml.	0.1ml.			
Rotador Centrífugas	3	3	3	2400	<3	No potable
Rotador Faja de Azúcar Cubo	3	3	3	2400	<3	No potable
Rotador Enfriador Azúcar Cubo	3	3	3	2400	<3	No potable

Figura 6. Comportamiento del potencial de hidrógeno en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

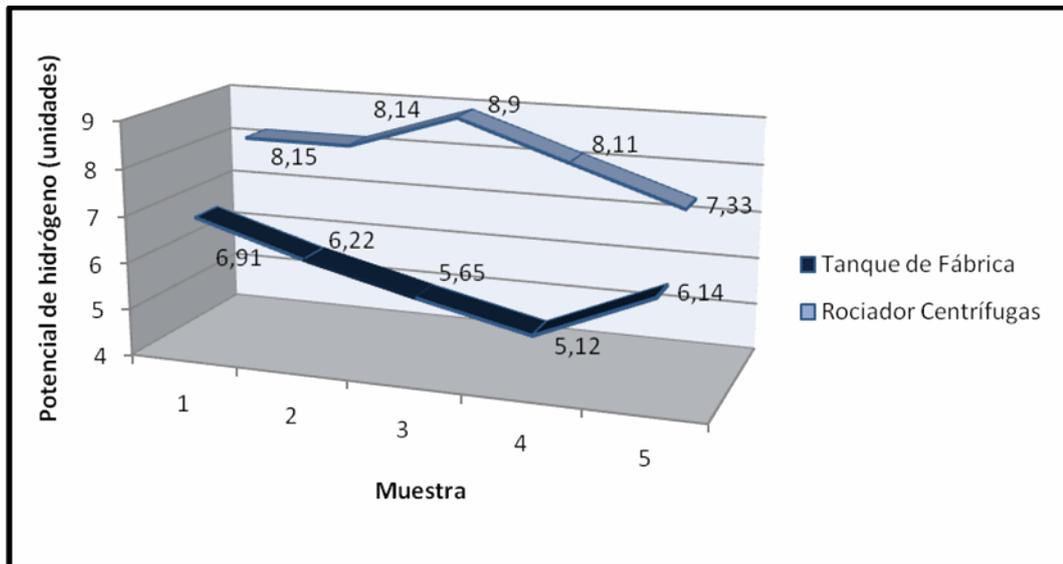


Figura 7. Comportamiento de la conductividad en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

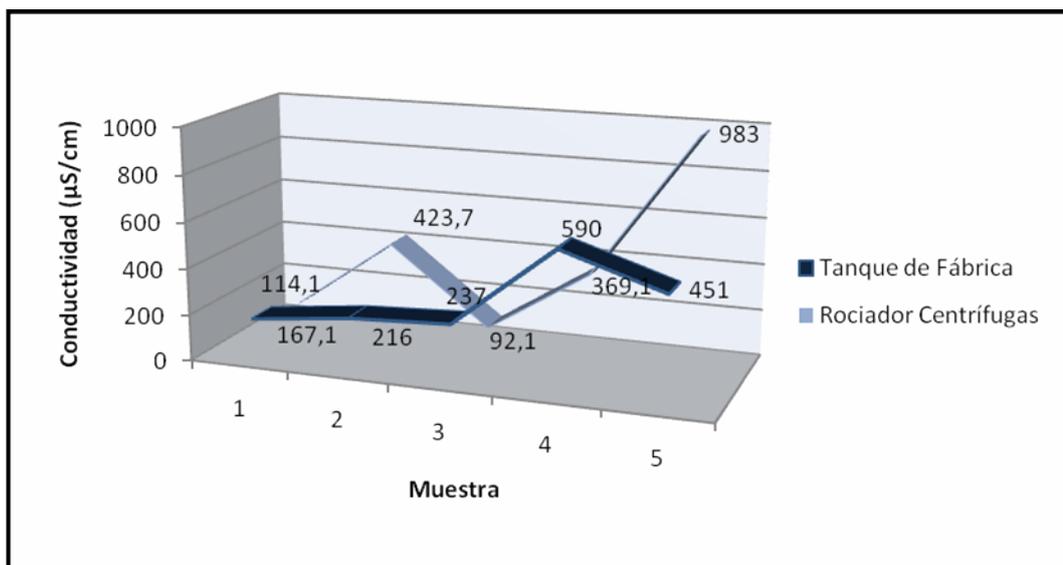


Figura 8. Comportamiento de la turbiedad en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

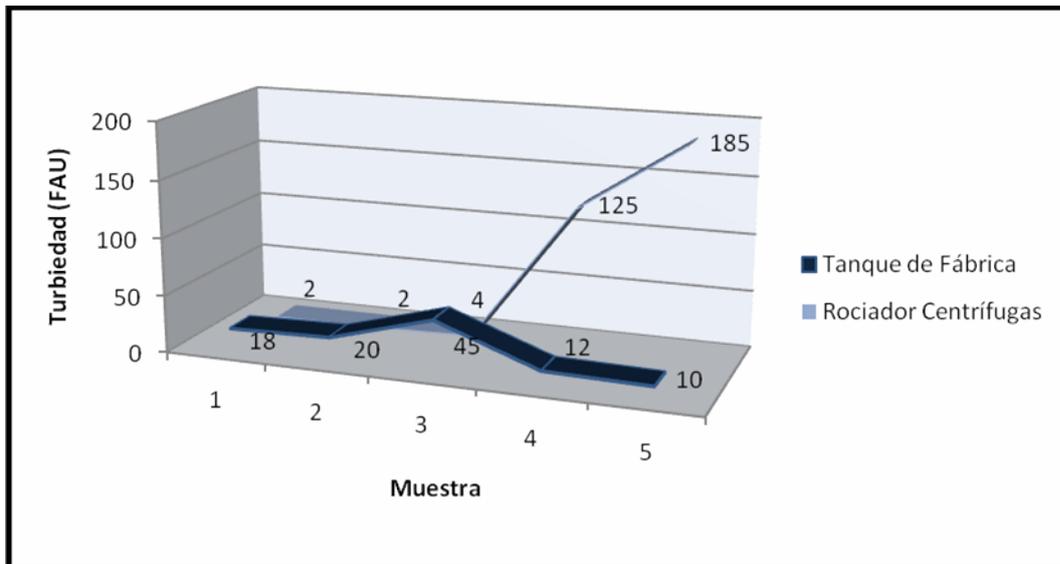


Figura 9. Comportamiento de la dureza total en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

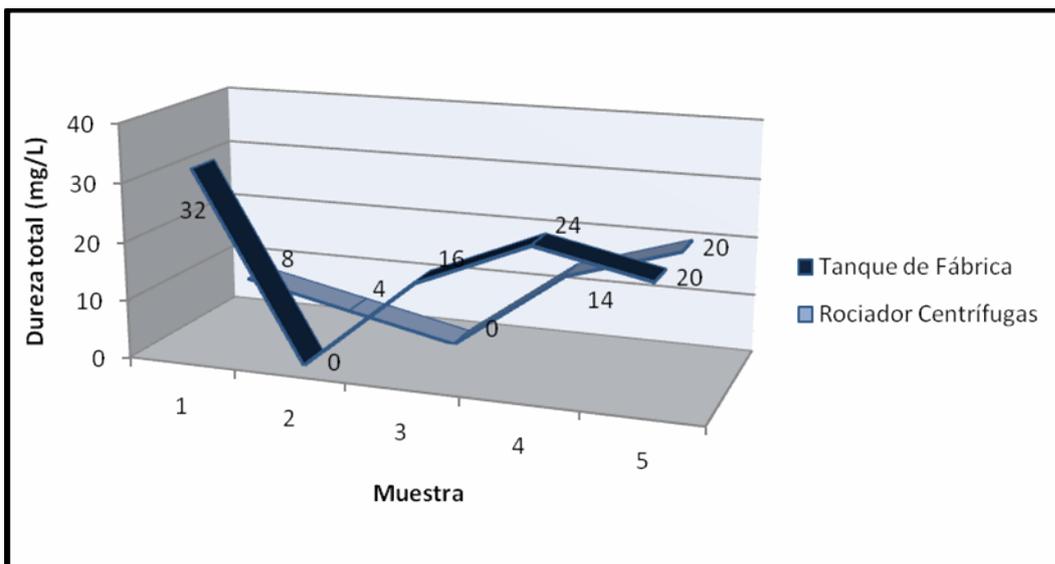


Figura 10. Comportamiento de sílice en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

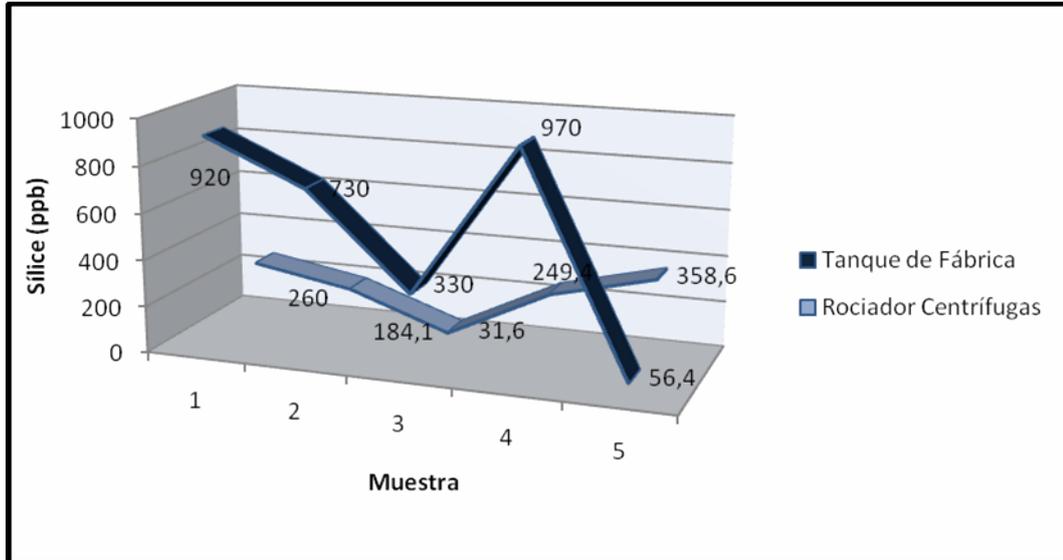


Figura 11. Comportamiento del cloro libre en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

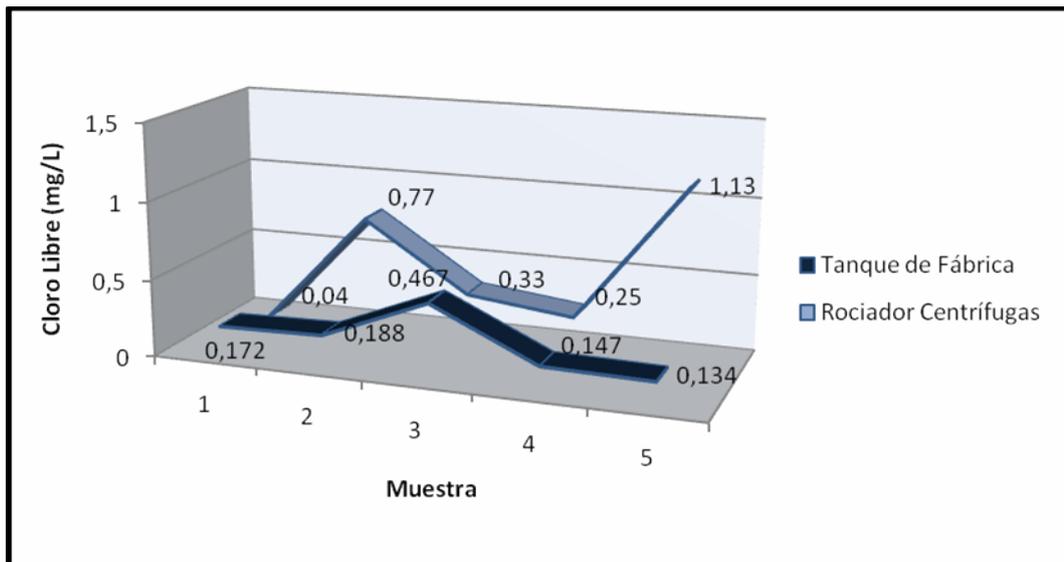


Figura 12. Comportamiento de los sulfitos en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

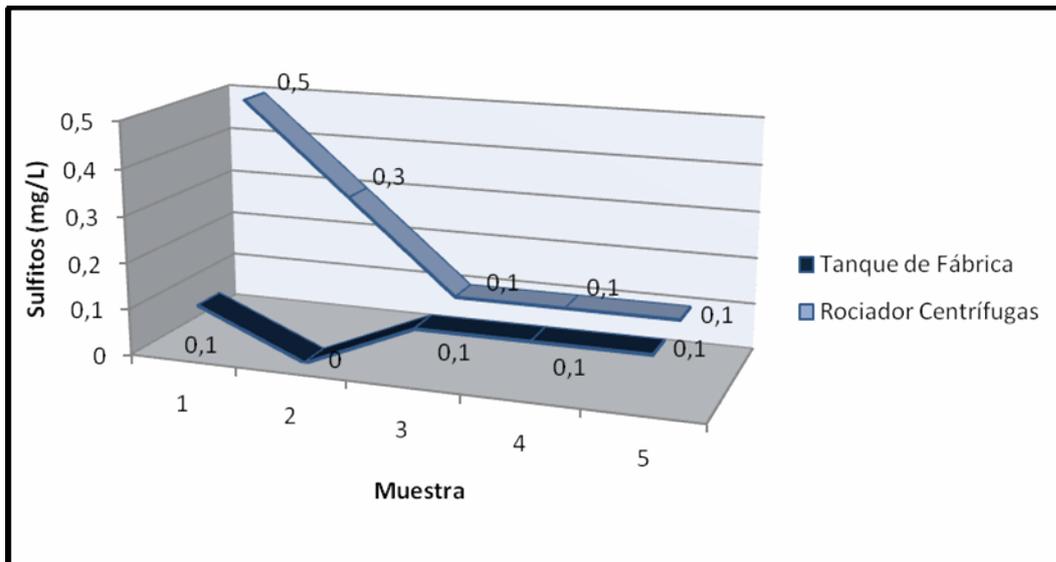


Figura 13. Comportamiento de los fosfatos en el tanque de fábrica y rociador de centrifugas

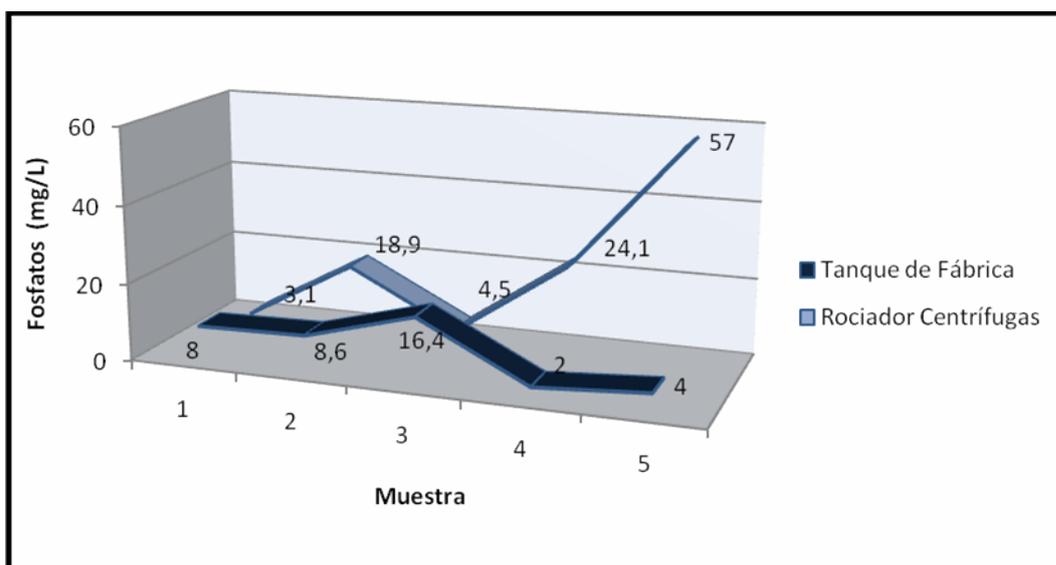


Figura 14. Comportamiento del potencial de hidrógeno en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua

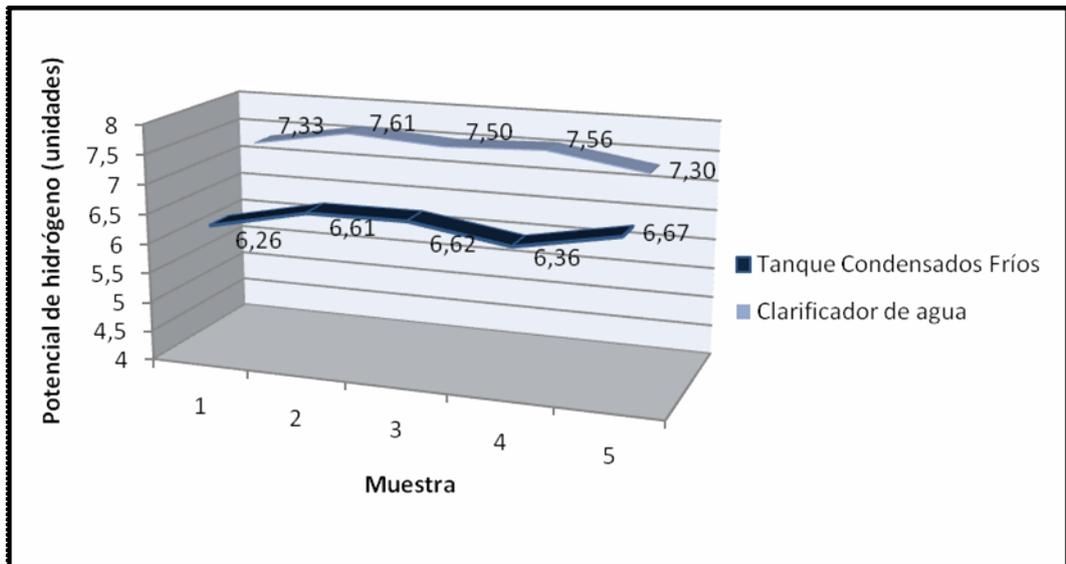


Figura 15. Comportamiento de la conductividad en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua

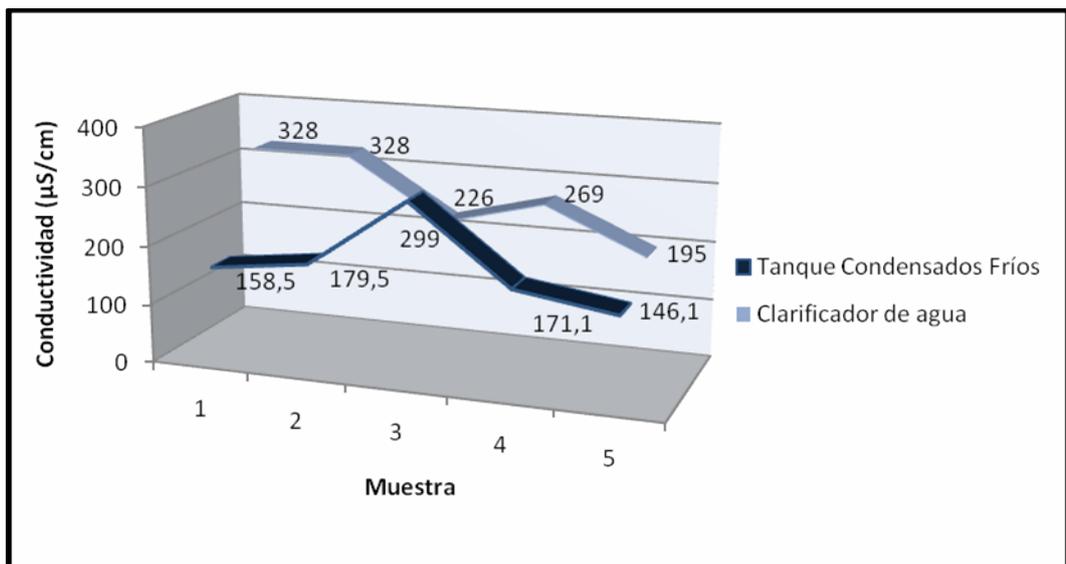


Figura 16. Comportamiento de la turbiedad en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua

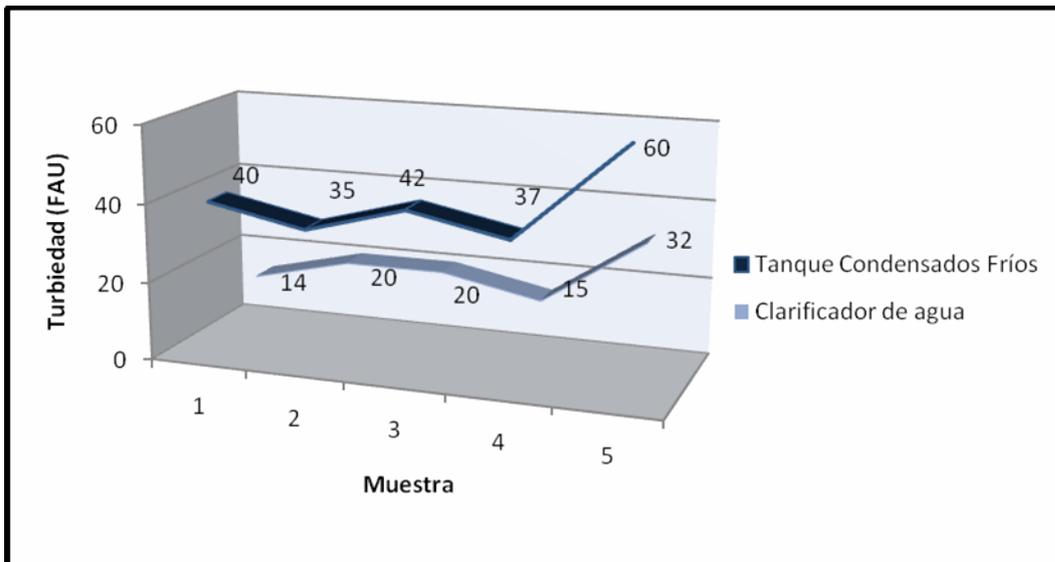


Figura 17. Comportamiento de la dureza total en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua

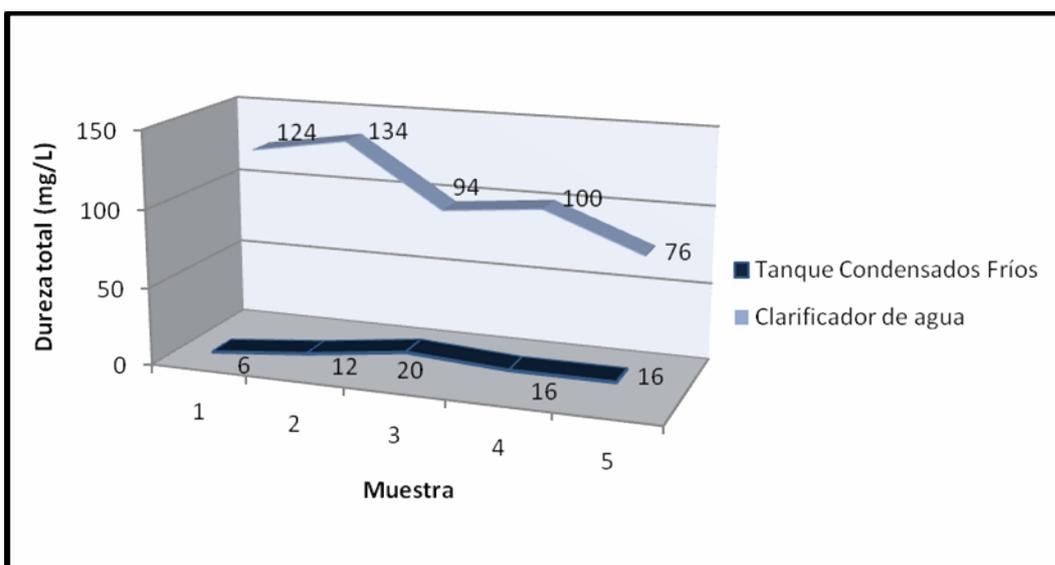


Figura 18. Comportamiento de la sílice en el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua

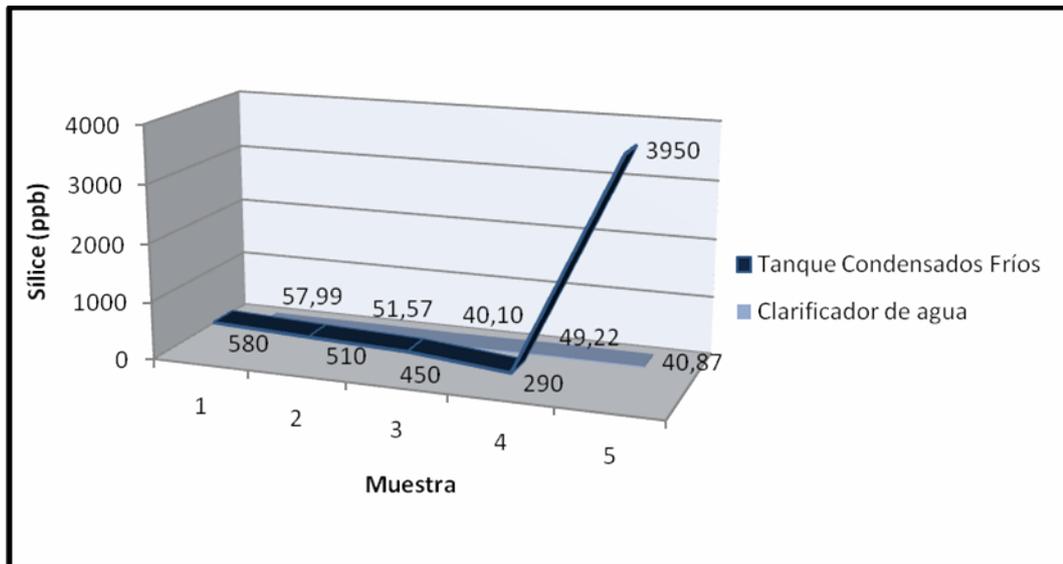


Figura 19. Comportamiento del potencial de hidrógeno en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo

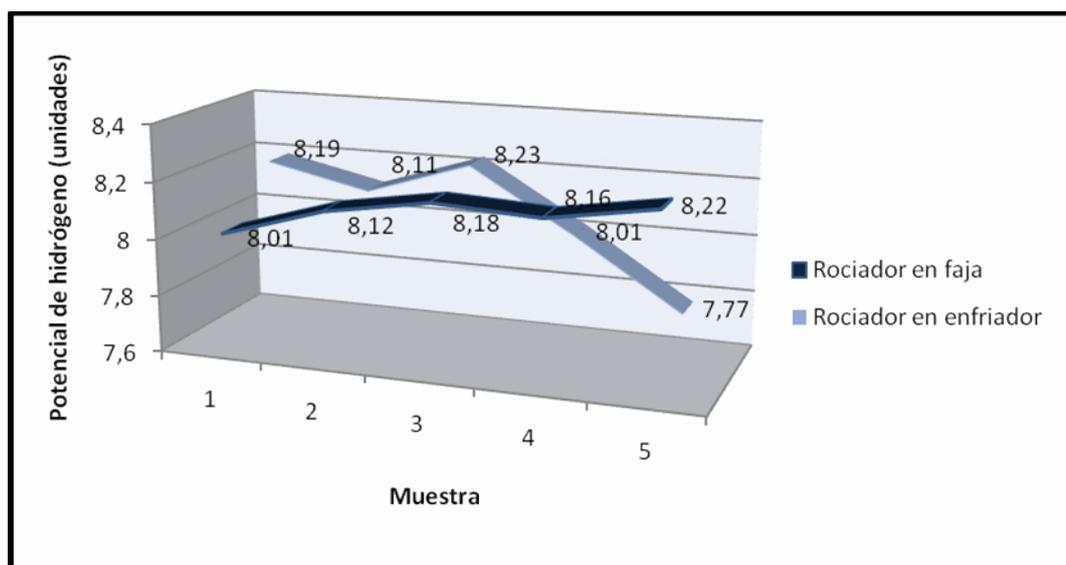


Figura 20. Comportamiento de la conductividad en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo

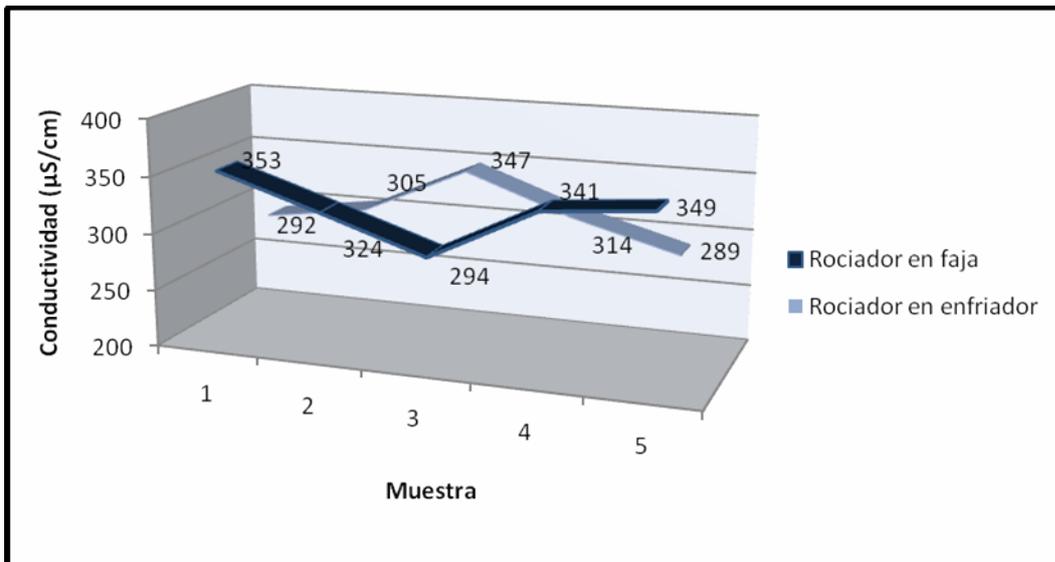


Figura 21. Comportamiento de la turbiedad en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo

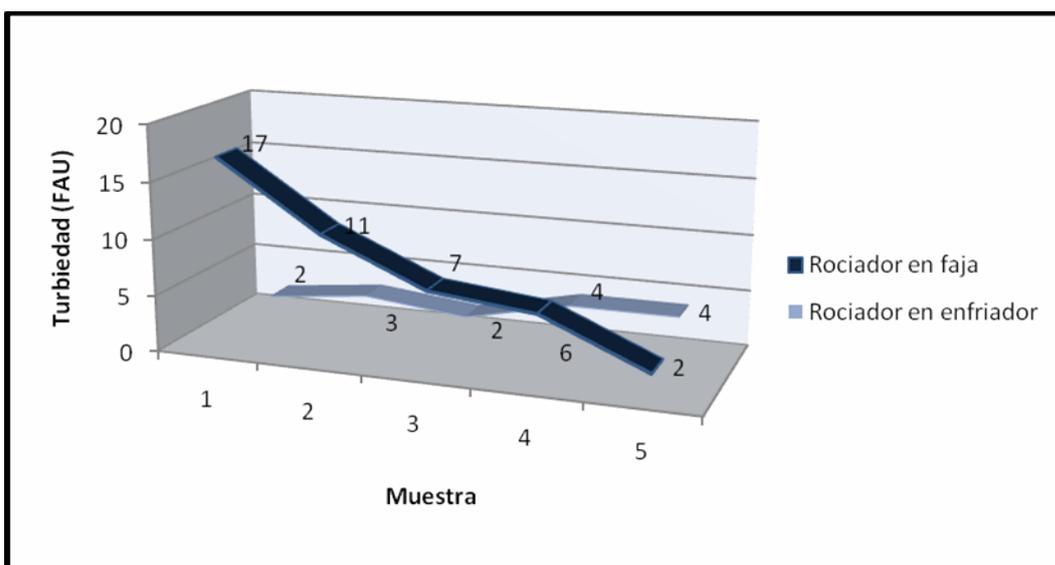


Figura 22. Comportamiento de la dureza total en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo

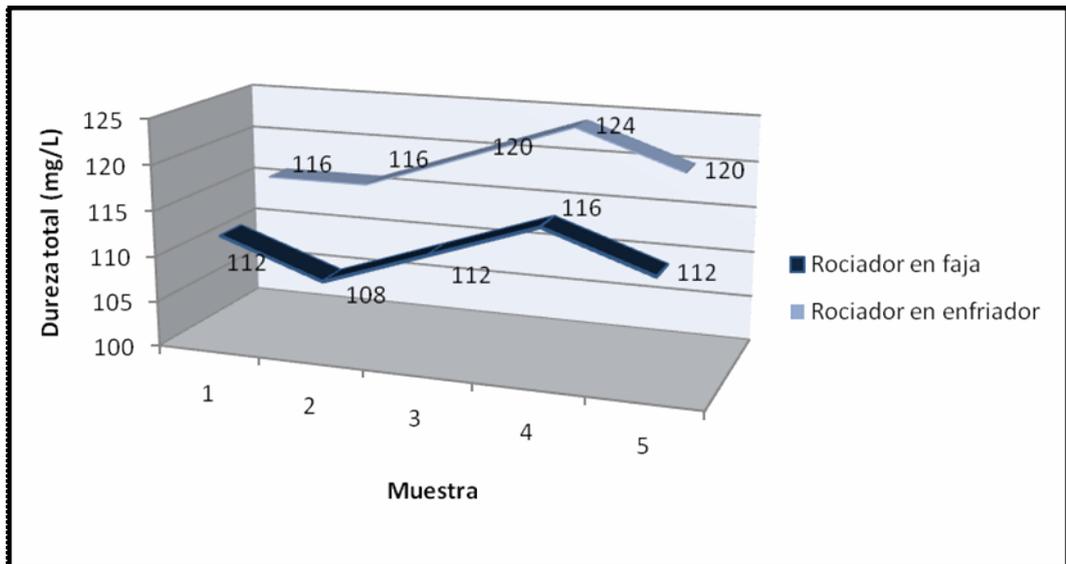


Figura 23. Comportamiento de la sílice en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo

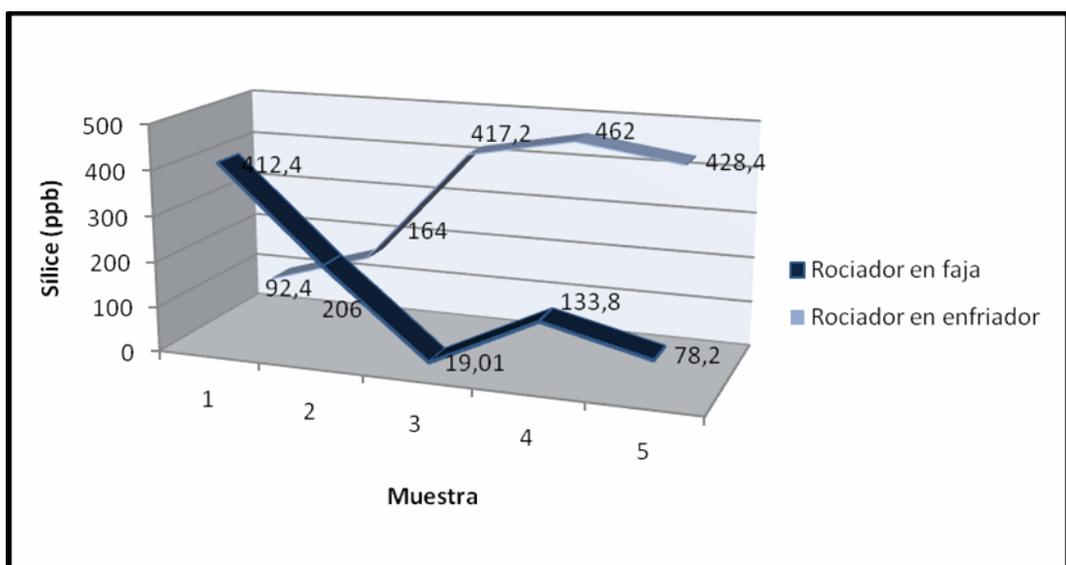
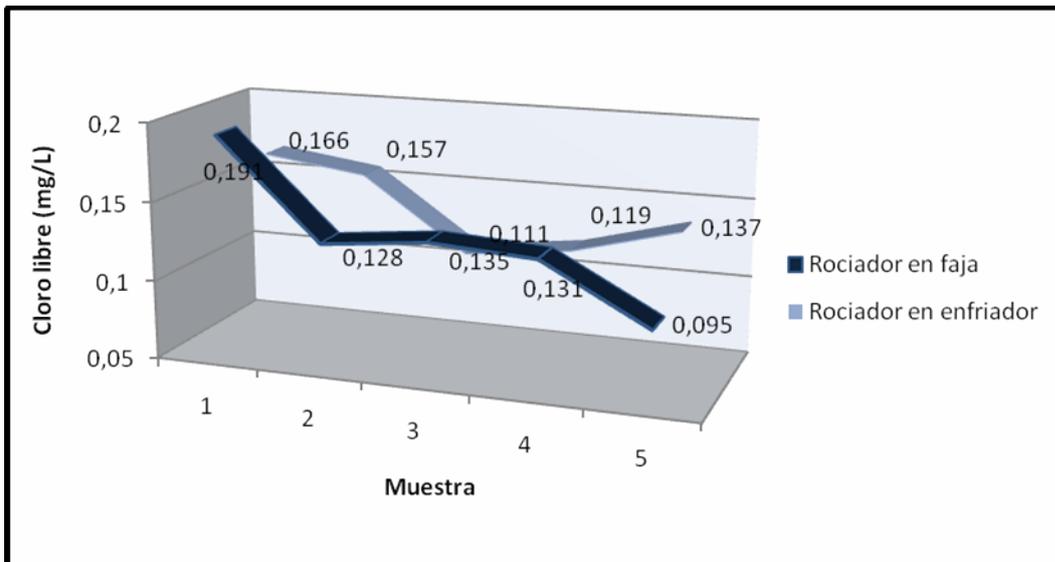


Figura 24. Comportamiento del cloro libre en el rociador de la faja y del enfriador en la línea de crudo



4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Evaluación del análisis físico, químico y biológico

4.2.1.1 Tanque de fábrica

El tanque de fábrica es donde se recolecta los condensados que se producen en la fábrica. Estos condensados proceden principalmente de las calandrias del tercero, cuarto y quinto evaporador, que es la condensación del vapor que produjo el jugo que se calentó en el cuerpo del evaporador anterior. Los resultados se pueden observar en la tabla V.

El primer parámetro que se determinó es el potencial de hidrógeno, observando que la mayoría de los datos se encuentra cercano al límite del rango 6,5 a 7,0, lo cual indica que esta agua es levemente ácida.

Respecto a la conductividad se observa que ésta aumenta en relación al tiempo, que puede ser ocasionado por falta de purga en el tanque.

La turbiedad puede ser aumentada por diferentes motivos, tales como la presencia de trazas de azúcar en el agua, o por falta de purga en el tanque y también por tener potenciales de hidrógeno demasiado ácidos que provocan corrosión del tanque, que está hecho de hierro negro. Tal es el caso del tercer muestreo.

La presencia de trazas de azúcar, no es mas que una contaminación de azúcar en los condensados, y puede ocasionarse principalmente en la serie de evaporadores por diferentes motivos como arrastres de pequeñas gotas de jugo en el vapor, por trabajar a niveles de jugo muy altos en el cuerpo del evaporador, por una operación irregular de los evaporadores, así como también cuando los separadores de arrastre se encuentran defectuosos.

Teniendo trazas de azúcar en el agua condensada, se obtienen potenciales de hidrógeno ligeramente ácidos.

Una característica importante que tiene el agua condensada es que la alcalinidad total es cero en todas las muestras, los resultados de los análisis químicos se encuentran en la tabla XII. La dureza total del agua varía entre cero y 32 ppm, en donde la mayor dureza la ocasiona el calcio.

Otro parámetro que se evaluó es la sílice, el cual se obtiene debido a las altas temperaturas a las que se trabaja en el proceso.

Los sulfitos y los fosfatos que se encuentran en las muestras se deben al tratamiento previo que se le hace al agua antes de entrar a la caldera.

En lo que respecta a los análisis biológicos se puede ver que tanto para el recuento bacteriano, como para el recuento de hongos y levaduras se encuentra presencia en concentraciones considerables. Esta contaminación se debe a que el agua presenta las condiciones idóneas para que estos microorganismos se reproduzcan.

4.2.1.2 Tanque de condensados fríos

El primer parámetro que se determinó es el potencial de hidrógeno, observando que la mayoría de los datos se encuentran cercano al límite del rango 6,5 a 7,0, lo cual indica que esta agua es levemente ácida. Los resultados obtenidos de los análisis físicos para el tanque de condensados fríos se muestran en la tabla VII.

La conductividad se mantiene entre 146 y 299 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que es un valor alto para ser agua condensada. La turbiedad que presenta el agua es debido a la materia orgánica que se encuentra en el tanque, debido a la exposición que tiene con el ambiente, el reposo del agua, así como también las trazas de azúcar que están presentes.

Se puede observar que la temperatura se mantiene considerablemente arriba de la temperatura ambiente. Comparando con la temperatura en el tanque de fábrica, se percibe una diferencia de temperaturas, que se obtiene por los aspersores que se encuentran encima del tanque.

Al igual que en el agua del tanque de fábrica, los resultados de los análisis químicos tienen las mismas tendencias. Los resultados se encuentran en la tabla XIV. Teniendo una diferencia en los análisis de sílice, ya que estos valores son mayores a los del agua del tanque.

Los resultados de carácter biológico se pueden ver en la tabla XXI, el recuento bacteriano es moderado, el recuento de hongos es cero y el recuento de levaduras es ligero. Comparando con los resultados obtenidos para el tanque de fábrica, en el tanque de condensados fríos se observa un incremento considerable en el crecimiento de bacterias, esto se debe a que las bacterias se encuentran en el medio idóneo para que exista un crecimiento. Por la falta de purga en el tanque se encuentra presencia de materia orgánica que sirve como alimento a los microorganismos.

4.2.1.3 Agua potable

Las tablas IX y X muestran los resultados físicos obtenidos para el rociador que se encuentra en la faja conductora de azúcar crudo que se descarga de las centrifugas y para el rociador que se encuentra en el enfriador de azúcar crudo.

Esta agua que proviene de un pozo mantiene características alcalinas, su potencial de hidrógeno se encuentra arriba de 8.00 unidades. La conductividad es superior a los 290 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la turbiedad se mantiene constante para el rociador del enfriador, pero descontrolado para el rociador de la faja.

Los resultados de los análisis químicos se encuentran en las tablas XVI y XVII, presentando una dureza total entre 108 y 124 ppm, el sílice no es un valor constante ya que fluctúa entre los 19 y 462 ppb. El cloro libre es la presencia del cloro residual que se utilizó para la desinfección del agua, este valor no sobrepasa los 0.19 ppm.

Los análisis biológicos que se realizaron se encuentran en las tablas XXII y XXIII, dando como resultados que el agua está ligeramente afectada con bacterias al igual que con hongos, y no hay crecimiento de levaduras.

4.2.1.4 Clarificador de agua

En el clarificador se trabaja con agua que proviene del río Cristóbal, esta agua es tratada con floculante y cloro para desinfección. Los resultados de los análisis físicos, químicos y biológicos se encuentran en las tablas XI, XVIII y XXIV.

Los valores del potencial de hidrógeno se encuentran entre 7.30 y 7.61 unidades, por lo que se puede decir que es de carácter ligeramente alcalino. La temperatura se mantiene a temperatura ambiente de 84 °C. La turbidez es mayor a los 14 FAU. La alcalinidad se encuentra entre los 74 y 140 ppm. Se obtuvo que el recuento bacteriológico esta en una presencia de moderada a fuerte, el recuento de hongos tiene presencia mediana y el recuento de levaduras tiene presencia ligera.

4.2.2 Comparación con la PROPUESTA DE NORMA CATIE

En la tabla XXV se comparan los valores promedio de los resultados obtenidos para los análisis físicos y químicos del tanque de fábrica, tanque de condensados fríos y clarificador de agua, con la PROPUESTA DE NORMA CATIE de una industria de alimentos en general. Esto con el propósito de ver si se está trabajando con agua que es apta para el proceso de fabricación de azúcar.

Como se puede observar el potencial de hidrógeno para el tanque de fábrica se encuentra fuera del rango de trabajo, el tanque de condensados fríos y el clarificador de agua tienen un potencial de hidrógeno dentro del rango que propone la NORMA CATIE. Para la turbiedad la norma propone que sea menor a 10 FAU. Los tres tipos de aguas se encuentran arriba del rango de trabajo.

Para los análisis químicos tenemos que la alcalinidad total esta dentro del rango de operación para los dos tanques y el clarificador, así como también, se encuentran dentro del rango de operación para la dureza del agua.

4.2.3 Comparación con Norma COGUANOR NGO 29001

En los rociadores de la faja después de la centrifugación y del enfriador de la línea de crudo se utiliza agua potable, por lo que se compara con la norma COGUANOR NGO 29001.

El rociador de las centrífugas también se compara con la norma COGUANOR NGO 29001, aunque esta provenga del tanque de fábrica. Se debe a la etapa en la que se encuentra el azúcar.

Después de la centrifugación no hay otro proceso que logre eliminar la presencia de los contaminantes físicos, químicos y biológicos. Por lo que se debe tener mayor seguridad y control de la centrifugación hasta el acondicionamiento del azúcar.

En la tabla XXVI se pueden observar los valores del potencial de hidrógeno, conductividad, turbiedad, alcalinidad y cloro libre que establece la norma COGUANOR NGO 29001 y los valores promedios de los rociadores antes mencionados.

Se puede observar que para el rociador de centrífuga el potencial de hidrógeno y la conductividad se encuentran dentro de los límites permisibles, la turbidez no cumple con dicha norma y la alcalinidad y dureza total están en los límites aceptables. Para el rociador de la faja y el enfriador el potencial de hidrógeno, conductividad, turbiedad y la alcalinidad total se encuentran en el límite permisible y la dureza total se encuentra dentro del límite aceptable.

Con Los resultados biológicos obtenidos para la prueba presuntiva se efectuó una compararon, la cual se encuentra en la tabla XXVII, dando el número más probable (NMP) de 2400 para los tres rociadores, por lo tanto, según la norma el agua no es potable.

5. LOGROS ALCANZADOS

5.1 Fase de investigación

Se logró obtener conocimientos acerca del proceso, en sus diferentes etapas, de la producción azucarera. Así como también conocimientos acerca del desarrollo de las actividades del laboratorio de la fábrica.

En el desarrollo de esta investigación, se logró la determinación de los sistemas de agua que están en contacto directo con el azúcar, y, con información técnica brindada por el ingenio sobre los riesgos y puntos críticos de control que se deben tener para un sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), se logró definir las zonas más vulnerables donde se podría contaminar el producto, para luego realizar los análisis físicos, químicos y biológicos.

5.2 Fase de servicio técnico profesional

Con la información obtenida en la fase de investigación, se logró analizar los parámetros que determinan la calidad del agua.

Con los valores obtenidos se determinó que se debe tener mayor control y prevención del agua del proceso de producción azucarera, para mantenerse en los límites aceptables, y que no sea un riesgo para el producto.

Los análisis físicos, químicos y biológicos efectuados para determinar la calidad del agua se realizaron en el laboratorio de la fábrica del ingenio La Unión.

Se realizó un informe para el jefe de fábrica en donde se presenta los resultados obtenidos, las conclusiones del análisis y las recomendaciones.

5.3 Fase de aprendizaje-enseñanza

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, determinan la información necesaria para el equipo del plan de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), sobre la calidad del agua con la que se trabaja en el proceso de producción de azúcar en el ingenio La Unión.

Se realizó una presentación al equipo de APPCC, informando la situación en la que se trabajó el agua de proceso, para la zafra 2007/2008, y recomendaciones para la zafra 2008/2009, en el cual estuvieron presentes cuatro ingenieros químicos y un administrador de empresas.

CONCLUSIONES

1. El agua distribuida desde la entrada a los molinos hasta la clarificación de meladura, ya sea condensados calientes (tanque de fábrica), condensados fríos o agua clarificada, no representa riesgo físico para el proceso de producción de azúcar.
2. El agua que se agrega desde la entrada a molinos hasta la cristalización de sacarosa, no representan riesgo desde el punto de vista de parámetros químicos para el proceso debido al uso de floculantes y agentes de desinfección, como el cloro.
3. El agua que se agrega desde la entrada a los molinos hasta la cristalización de sacarosa, no representan un peligro biológico, debido a las altas temperaturas a las que se trabaja en el área de tachos.
4. El agua que se agrega desde la centrifugación hasta el envasado del azúcar, no cumple con los requerimientos bacteriológicos que establece la norma guatemalteca obligatoria COGUANOR NGO 29001 para agua potable, arriesgando la inocuidad del producto final.

RECOMENDACIONES

1. Se deben realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para evaluar la calidad del agua, de una a tres veces por semana.
2. Los análisis bacteriológicos realizados al agua potable que se suministra al proceso, muestran que no es potable, por lo que se recomienda que se mejore el tratamiento de desinfección que se realice.
3. Se sugiere realizar un tratamiento de desinfección correctivo al tanque de condensados fríos, para evitar el alto contenido de contaminantes biológicos.
4. Se recomienda realizar purgas a los tanques de fábrica y de condensados fríos, cuando la conductividad eléctrica sobrepase los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para disminuir el contenido de materia orgánica.
5. Se debe realizar un rediseño del tanque de condensados fríos, de reflujo, para disminuir el tiempo de residencia en el tanque, disminuyendo así el crecimiento biológico.
6. Se recomienda realizar desinfección con ozono en lugar de cloro al agua de condensados calientes que llega a los rociadores de las centrifugas, para disminuir el riesgo de contaminar el azúcar. Debido a que el cloro puede afectar la calidad del azúcar.

7. Éste trabajo de evaluación de la calidad del agua de proceso realizado en Ingenio La Unión, representa la fase inicial de un programa prerequisite de APPCC, Programa de Calidad del Agua por lo que se recomienda que futuros estudios complementen el desarrollo de las fases consecutivas de un proyecto completo de éste tipo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arca, Manuel P. **Haciendo Azúcar**. Acra Corporation. Impreso en USA, 1983.
2. Cifuentes Hidalgo, Milton Lisandro. Determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, para evaluar la calidad del agua para consumo humano y su uso en la población de Nuevo San Carlos, Retalhuleu. Trabajo de graduación Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1996.
3. De León Marizuya Oscar Alfonso. Determinación de la Calidad del agua para uso industrial proveniente de la planta de bombeo ojo de Agua. Trabajo de graduación Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2,002.
4. Folleto de Seminario **Programas Prerrequisitos al plan APPCC, Programa de Calidad del Agua**. Seminario AIB Internacional. Guatemala. 2007.
5. Gudiel Paniagua, Héctor René Martín. Determinación de la calidad del agua para consumo humano y su uso industrial de las fuentes de agua que abastecen al municipio de Santa Catarina Pinula. Trabajo de graduación Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1996.
6. Jiménez Pérez, Zully Elizabeth. Determinación de la calidad del agua del río Sigüacán para consumo humano y uso industrial del municipio de Pueblo Nuevo Tiquisate. Trabajo de graduación Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2003.

7. Lemus Castro, Silvia Carolina. Diseño de un Sistema HACCP para un Fármaco específico, dirigido a Laboratorios Farmacéuticos Salvadoreños. Trabajo de graduación Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2004.
8. **Manual de Procedimientos para el Laboratorio de Fábrica.** Ingenio La Unión, S.A. Certificación ISO 9000-2001.
9. **Norma COGUANOR NGO 29001 Especificaciones para agua potable.** Guatemala: 1999.
10. Pelczar, Michael J y otros. **Microbiología.** 4ª edición. México: McGraw-Hill, 1982.
11. Powell, Sheppard. **Acondicionamiento de Aguas para la Industria.** Trad. Salvador Ayanegui. México: s.p.o. 1966.
12. Solórzano Ponce, Rita Yesenia. Determinación de la Calidad del Agua para consumo Humano ay Uso Industrial proveniente de la Planta de Tratamiento La Carbonera, municipio de Sanarate, departamento de el Progreso, Guatemala. Trabajo de graduación Ing. Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2005.

APÉNDICE 1

Tabla XXVIII. Presupuesto del proyecto

Descripción	Costos	Total
Recurso Humano		
Honorarios de Asesor Docente	Q 1,000.00*6 meses	Q 6,000.00
Honorarios de Asesor Técnico	Q 1,000.00*6 meses	Q 6,000.00
Honorarios de Revisor	Q 1,000.00*3 meses	Q 3,000.00
Honorarios de Epesista	Q 2,000.00*6 meses	Q 12,000.00
Material y Equipo de Laboratorio		
Gastos en Equipos de Laboratorio	Q 2,000.00*2 meses	Q 4,000.00
Reactivos	Q 1,500.00*2 meses	Q 3,000.00
Pruebas y Procedimientos	Q 1,000.00*2 meses	Q 2,000.00
Material y Equipo de Oficina		
Computadora	Q 800.00*6 meses	Q 4,800.00
Fotocopias	Q 50.00*6 meses	Q 300.00
Depreciación de Equipo Informático	Q 200.00*6 meses	Q 1,200.00
Otro	Q 50.00*6 meses	Q 300.00
Varios		
Alimentación y Hospedaje	Q 2,000.00*6 meses	Q 12,000.00
Análisis realizados fuera del Ingenio La Unión	Q 500.00	Q 500.00
TOTAL		Q 55,100.00

ANEXO 1

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS, FISICOQUÍMICOS, DE METALES PESADOS Y BIOLÓGICOS DE UNA MUESTRA DE AZÚCAR

FECHA DE INGRESO: 22 de mayo de 2008

Identificación de la muestra: muestra de azúcar granular calidad blanco estándar, su color visual es perla, aspecto seco, sus cristales son de tamaño medio, granulado uniforme, presenta brillo, se recibe en bolsa ziploc con 157,02g.

Tabla XXIX. Resultados correspondientes a una muestra de azúcar blanco estándar

DETERMINACIONES ORGANOLÉPTICAS		
PARÁMETRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
APARIENCIA	Una partícula negra visible en 500g	Característico
OLOR	Típico del producto	Característico
SABOR	Característico y libre de sabores extraños	Característico
METALES PESADOS		
HIERRO	0,520	No más de 1,0 mg/K
COBRE	0,196	No más de 1,0 mg/K
PLOMO	0,083	No más de 0,1 mg/K
ARSÉNICO	0,044	No más de 1,0 mg/K

DETERMINACIONES FISICOSQUÍMICAS		
PUREZA POR POLARIMETRÍA	99,80	99,04% mínimo
ACOLOR UI _{420nm}	106	No más 400 UI
CENIZAS	0,027	No más de 0,155%
POTENCIAL FLOC ALCOHÓLICA	0,101	0,140 U. Abs máx.
HUMEDAD	0,030	No más de 0,060%
AZÚCARES REDUCTORES	0,028	%
C. CUATERNARIOS DE AMONIO	0,460	mg/K
DIÓXIDO SE AZUFRE	4,93	Menos de 20 mg/K
MATERIA INSOLUBLE <small>sedimento</small>	54,7	mg/K
BACTERIOLÓGICOS		
BACTERIAS COLIFORMES	Sin desarrollo/72 H	0 UFC/10 g Max.
HONGOS	Sin desarrollo/5 días	Menos de 14 UFC/10g
LEVADURAS	3 UFC/10 g	Menos de 15 UFC/10g
MESOFÍLICAS AEROBIAS	80 UFC/10 g	Menos de 200 UFC/10 g

Fuente: Análisis realizados en TECNIAZUCAR LABORATORIOS S.A. DE C.V. en Orizaba, Veracruz, México.

ANEXO 2

PROPUESTA NORMA CATIE PARA ALGUNAS INDUSTRIAS

Tabla XXX. Límites para parámetros físico-químicos del agua para ciertas industrias, según la norma CATIE

Industria	pH (unidades)	Sólidos Totales (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza Total (mg/L)
Alimentos en general	6,5 - 8,5	500,0	250,0	250,0
Bebidas Carbonatadas	---	850,0	85,0	250,0
Destilerías y Cervecerías	6,5 – 7,0	500,0	75,0	---
Jabón y detergentes	6,5 – 8,5	270,0 – 300,0	50,0 – 100,0	130 – 150,0
Cemento	6,0 – 10,0	200,0 – 300,0	---	50,0 – 150,0
Papel	6,0 – 10,0	200,0 – 300,0	---	50,0 – 150,0
Tenerías	6,0 – 8,0	---	135,0	50,0 – 150,0
Textiles	6,0 – 8,0	100,0 – 200,0	---	25,0
Calderas	8,0 – 9,6	200,0 – 250,0	---	280,0

ANEXO 3

AGUA POTABLE. ESPECIFICACIONES. COGUANOR NGO 29 001:99 1ª. Revisión

1. Objeto

Esta norma tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable.

2. Normas COGUANOR a consultar

COGUANOR NGO 4 010	Sistema internacional de unidades (SI)
COGUANOR NGO 29 011h2	Aguas. Ensayos. Determinación del color de referencia.
COGUANOR NGO 29 011h12	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de la turbiedad.
COGUANOR NGO 29 012h14	Aguas. Determinación de metales. Dureza.
COGUANOR NGO 29 012h15	Aguas. Determinación de metales. Hierro.
COGUANOR NGO 29 013h3	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Alcalinidad.
COGUANOR NGO 29 014h7	Aguas. Determinación de constituyentes no metálicos. Cloruro.
COGUANOR NGO 29 013h13	Aguas. Determinación de constituyentes no metálicos. Fluoruro.
COGUANOR NGO 29 013h18	Aguas. Determinación de constituyentes no metálicos. Nitrógeno (nitrato).
COGUANOR NGO 29 013h19	Aguas. Determinación de constituyentes no metálicos. Nitrógeno (nitrito)
COGUANOR NGO 29 013h21	Aguas. Determinación de constituyentes no metálicos. Oxígeno disuelto. Método de referencia.
COGUANOR NGO 29 013h23	Aguas. Determinación de constituyentes no metálicos. Potencial de hidrógeno (pH).

3. Definiciones

3.1. Agua potable: Es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.

3.2. Cloro: Es el elemento número 17 de la tabla periódica de los elementos. En condiciones normales de temperatura y presión es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire.

Nota 1: El cloro es, sin duda alguna, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, además de ser de fácil utilización y menos costoso que la mayoría de los otros productos o agentes desinfectantes disponibles.

3.3. Límite máximo aceptable (LMA): Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba del cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

3.4. Límite máximo permisible: Es el valor de la concentración característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para consumo humano.

3.5. Características físicas: Son aquellas características relativas a su comportamiento físico, que determinan su calidad.

3.6. Características químicas: Son aquellas características relativas a sustancias contenidas en ella, que determinan su calidad.

3.7. Características bacteriológicas: Son aquellas características relativas a la presencia de bacterias, que determinan su calidad.

3.8. Grupo coliforme total: Son bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en un período de 24h – 48h, características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación.

4. Características y especificaciones físicas y químicas

4.1. Características físicas

Tabla XXXI. Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (2)
(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto		
(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados		

4.1.1. Conductividad Eléctrica: El agua potable deberá tener una conductividad de $100\mu\text{S}/\text{cm}$ a $750\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C .

4.2. Características químicas del agua potable

Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en la tabla XXVI.

Tabla XXXII. Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0,5 mg/L	1,0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100,000 mg/L	250,000 mg/L
Conductividad	----	< de 1 500 μ
Dureza Total (CaCO ₃)	100,000 mg/L	500,000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7,0 – 7,5	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1 000,0 mg/L
Sulfato (SO ₄ ⁻)	100,000 mg/L	250,000 mg/L
Temperatura	15,0°C – 25,0°C	34,0°C
Aluminio (Al)	0,050 mg/L	0,100 mg/L
Calcio (Ca)	75,000 mg/L	150,000 mg/L
Cinc (Zn)	3,000 mg/L	70,000 mg/L
Cobre (Cu)	0,050 mg/L	1,500 mg/L
Magnesio (Mg)	50,000 mg/L	100,000 mg/L
<p>(1) El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0,5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8,0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de <i>Escherichia coli</i> y ciertos virus.</p> <p>(2) En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2,0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los últimos casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.</p> <p>(3) En unidades de pH</p>		

4.3. Agua clorada: La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración inocua, por lo que en la tabla XXVI se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual que es aquella porción del cloro residual total que esté “libre” y que sirva como medida de capacidad para oxidar la materia orgánica que pueda encontrarse en el interior de las tuberías o por ruptura de las mismas que pueda producir cierta contaminación microbiológica.

5. Características bacteriológicas

Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes, fecales en términos de las porciones normales de volumen y del número de porciones que se examina, con esta finalidad se establecen las alternativas siguientes.

5.1 Método de los tubos múltiples de fermentación

Para nuevas introducciones de agua, en la evaluación de las plantas de tratamiento y evaluaciones anuales, se debe proceder como se indica en las literales siguientes:

- a. Prueba de 15 tubos: Se examinan 5 tubos con porciones de 10mL, 5 tubos con porciones de 1mL y 5 tubos con porciones de 0.1mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2.0 coliformes en 100mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano.

- b. Prueba de 9 tubos: Se examinan 3 tubos con porciones de 10mL, 3 tubos con porciones de 1mL y 3 tubos con porciones de 0.1mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3.0 coliformes en 100mL de agua, lo que se interpreta como un indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano.

En el caso de análisis rutinario y cuando se analizan cantidades grandes de muestras, se podrá emplear el método de los 9 tubos, pero en casos de discrepancia o inconformidad con los resultados obtenidos, deberá emplearse la prueba de los 15 tubos como método de referencia.

Límites: Según se indique por las muestras que se examinen, la presencia de microorganismos del grupo coliforme, no debe exceder de los siguientes límites:

Tabla XXXIII. Límites para el método de los tubos múltiples de fermentación, grupo coliforme.

Cuando se examinan porciones de 10 mL	No más del 10% deben mostrar, en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme
No se permitirá la presencia del grupo coliforme en tres o más de las porciones de 10 mL de una muestra normal, cuando ocurran:	<ul style="list-style-type: none"> - En dos muestras consecutivas - En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras - En más de 5% de las muestras, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras

Tabla XXXIV. Número más probable (NMP) para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se utilizan tres porciones de 10mL, 1mL y 0,1mL

Número de tubos que dan reacción positiva			
3 de 10 mL cada uno	3 de 1 mL cada uno	3 de 0,1 mL cada uno	NMP
0	0	0	3
0	0	1	3
0	1	0	3
1	2	0	-
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
2	3	0	-
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	≥2400

ANEXO 4

Figura 25. Tanque de fábrica (condensados calientes)



Figura 26. Tanque de condensados fríos



Figura 27. Clarificador de agua del río Cristóbal

