

UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO

RED BIBLIOTECARIA MATÍAS

DERECHOS DE PUBLICACIÓN

DEL REGLAMENTO DE GRADUACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO

Capítulo VI, Art. 46

“Los documentos finales de investigación serán propiedad de la Universidad para fines de divulgación”

PUBLICADO BAJO LA LICENCIA CREATIVE COMMONS

Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



“No se permite un uso comercial de la obra original ni de las posibles obras derivadas, la distribución de las cuales se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original.”

Para cualquier otro uso se debe solicitar el permiso a la Universidad

UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO
FACULTAD DE AGRICULTURA E INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA
“JULIA HILL DE O’SULLIVAN”



UNIVERSIDAD DR. JOSÉ
MATÍAS DELGADO
SAN SALVADOR, EL SALVADOR C. A.

Optimización del uso de agua en el proceso de centrifugación en azúcar refinada a través de sus análisis fisicoquímicos.

Monografía presentada para optar al título de Ingeniero en Alimentos

Por

Amaya Vásquez, Rebeca Sariah

Laínez Galán, Lorena Margarita

Asesor

Dr. Jorge Edmundo López Padilla

Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, 12 de junio 2017



UNIVERSIDAD DR. JOSÉ
MATÍAS DELGADO
SAN SALVADOR, EL SALVADOR C. A.

AUTORIDADES

Dr. David Escobar Galindo
RECTOR

Dr. José Enrique Sorto Campbell
VICERRECTOR
VICERRECTOR ACADÉMICO

Lic. María Georgia Gómez de Reyes
DECANA DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA E INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA
“JULIA HILL DE O’SULLIVAN”

COMITÉ EVALUADOR

Lic. Lilian Carmen Carreño
PRESIDENTE DEL COMITÉ EVALUADOR

Lic. María Georgia Gómez de Reyes
COMITÉ EVALUADOR

Lic. Silvana Jacoba de Hernández
COMITÉ EVALUADOR

Dr. Jorge Edmundo López Padilla
ASESOR

Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador, 12 de junio 2017



UNIVERSIDAD DR. JOSÉ
MATÍAS DELGADO
EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

Facultad de Agricultura e Investigación Agrícola

ORDEN DE IMPRIMATUM

Tema:	"OPTIMIZACIÓN DEL USO DE AGUA EN EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN EN AZÚCAR REFINADA A TRAVÉS DE SUS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS"
-------	--

PRESENTADO POR:

Egresado 1:	REBECA SARIAH AMAYA VÁSQUEZ
Egresado 2:	LORENA MARGARITA LAÍNEZ GALÁN
Egresado 3:	

UNIVERSIDAD Dr. JOSE MATIAS DELGADO
FACULTAD DE AGRICULTURA E INVESTIGACION AGRICOLA
COMITE DE TESIS

Lic. Lilian Carmen Carreño
Coordinador de Comité Evaluador

Lic. María Georgia Gómez de Reyes
Miembro de Comité Evaluador

Lic. Silvana Hernández
Miembro de Comité Evaluador

Agradecimientos

Agradecimiento en primer lugar a mi Padre Celestial, por haberme dado la sabiduría y la fuerza para poder cumplir una de mis mayores metas como lo es culminar mis estudios universitarios. En Segundo lugar, le agradezco a mis dos pilares fuertes como lo son mis padres, Roberto Amaya y Estela de Amaya quienes me brindaron todo su apoyo y amor incondicional, dándome todos los medios para llevar a cabo mis estudios, también agradezco a mis tíos Roberto Canales y Coralia de Canales quienes son muy importantes por el apoyo que me brindaron, Además a mis hermanos Zeneyda de Figueroa y su familia, Mahonri Amaya y su esposa, que en todo momento me apoyaron y a toda mi familia, amigos y compañeros/as que siempre me demostraron su apoyo y amor. Finalmente a Lorena Laínez por ser mi amiga y compañera de batalla en cada momento, con la que hemos pasado momentos felices y así también difíciles con la que finalizo una de las etapa más importantes en mi vida y a toda su familia por todo el apoyo brindado. A todos ellos es este éxito por ser pilares fundamentales en mi vida para poder llegar hasta donde estoy en ente momento, los amo. Rebeca Amaya.

Agradezco en primer lugar a Dios y a María Santísima, por ser ese pilar importante en mi vida ya que derramaron sobre mí fuerza y sabiduría para poder cumplir una meta más como es el finalizar mis estudios universitarios. En segundo lugar, debo agradecer a una persona extraordinaria, que fue capaz de sacarme adelante a pesar de todo, agradezco la confianza y el apoyo, por darme lo que necesitaba, por sus consejos y sus motivaciones, que sin duda alguna a lo largo de mi vida me han demostrado el gran amor que me tiene, y esa persona es mi madre, Margarita de Laínez, te amo, no hubiera logrado llegar hasta aquí de no ser por tu apoyo incondicional, también agradezco a mi hermano Mauricio Laínez que me apoyo en todo momento y a toda mi demás familia, amigos, mi comunidad de la iglesia y compañeros/as que siempre han estado demostrándome su apoyo y amor. Finalmente, agradezco a Rebeca Amaya por ser mi amiga de batalla en todo momento, con la que hemos reído, llorado, enojado y de todo, con la que culmino una etapa importante de mi vida, así también agradezco a su familia todo el apoyo brindado. A todos ellos es este triunfo ya que han sido piezas fundamentales en mi vida para poder llegar hasta este punto, los amo. Lorena Laínez

Agradecemos en gran manera a todas las personas que estuvieron involucradas en este proceso de forma directa o indirectamente, primeramente al Dr. Julián Vélez e Ing. Laura Reyes quienes nos dieron la oportunidad de hacer nuestro proyecto dentro de las instalaciones del ingenio para el desarrollo de la presente Monografía. De igual forma, a Rolando Morales, que nos facilitó el laboratorio de control de calidad del ingenio y la ayuda del personal químico y que estuvo pendiente para poder ayudarnos a realizar las pruebas, mediciones requeridas y el uso de los equipos. También, agradecemos al grupo de trabajadores del área de refinería quienes estuvieron colaborándonos en la tomas de las muestras, al grupo de Producción por ofrecernos toda su ayuda y disposición de sus conocimientos, los cuales estuvieron siempre pendientes de cómo iba el avance de este trabajo. También debemos agradecer en gran manera a Álvaro Moisés gerente de producción del ingenio en que se realizó la investigación. Finalmente, pero no menos importante, debemos agradecer a nuestro asesor Dr. Jorge Padilla, quien nos ayudó a realizar esta monografía, dándonos su conocimiento y apoyo para poder solventar cualquier duda durante la investigación.

Índice

Resumen.....	9
Introducción.....	10
Capítulo I. El Problema.....	11
1.1 Planteamiento del Problema.....	11
1.2 Justificación.....	12
1.3 Objetivos de la investigación.....	12
1.3.1 Objetivo general:.....	12
1.3.2 Objetivos específicos:.....	12
1.4 Delimitación.....	13
Capítulo II. Marco Referencial.....	13
2.1 Antecedentes.....	13
2.2 Marco Normativo.....	14
2.3 Marco Teórico.....	14
2.3.1 Refinación.....	14
2.3.1.1 Definición.....	14
2.3.1.2 Materia prima en el proceso de refinación: El Azúcar.....	15
2.3.1.3 Tipos de refinación.....	16
2.3.1.4 Proceso de refinación.....	16
2.3.1.5 Características de la refinación.....	17

2.3.2 Centrifugación.....	18
2.3.2.1 Definición.....	18
2.3.2.2 Tipos de centrifugas.....	18
2.3.2.2.1 Centrifugas continuas.....	18
2.3.2.2.2 Centrifugas discontinuas.....	18
2.3.2.3 Duración del centrifugado.....	21
2.3.3 Lavado.	21
2.3.4 Puntos importantes en el proceso de centrifugación.	22
2.3.4.1 Masa cocida.....	23
2.3.4.2 Miel Nustch.....	23
2.3.4.3 Azúcar húmeda.....	23
2.3.4.4 Sirope.....	23
2.3.4.5 Azúcar seca.....	24
Capítulo III. Marco Metodológico	24
3.1 Análisis fisicoquímicos.	24
3.1.1 Métodos fisicoquímicos y de calidad en azúcar refinada.	25
Capítulo IV. Análisis de resultados	28
4.1 Resultados.....	28
4.1.1 Resultados obtenidos con respecto a parámetros de calidad en azúcar blanco refino según la Norma Salvadoreña.....	28
4.1.2 Resultados obtenidos de la optimización del uso del agua.	30

4.1.2.1 Definiciones.....30

Conclusiones.....43

Recomendaciones.....44

Anexos.....45

Bibliografía.....52

Índice de tablas

Tabla 1. Azúcar Refinada composición y factores esenciales de calidad.....	14
Tabla 2. Valores obtenidos en análisis realizados en muestras de azúcar de primera	29
Tabla 3. Valores obtenidos en análisis realizados en muestras de azúcar de segunda	29
Tabla 4. Valores obtenidos en análisis realizados en muestra de azúcar de tercera	29
Tabla 5. Valores obtenidos en análisis realizados en muestra de azúcar de cuarta.....	29
Tabla 6. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en templas de primera	31
Tabla 7. Valores obtenidos de las fórmulas para la obtención de los gráficos.....	32
Tabla 8. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en templas de segunda.....	34
Tabla 9. Valores obtenidos de las fórmulas para la obtención de los gráficos.....	35
Tabla 10. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en templas de tercera	37
Tabla 11. Valores obtenidos de las fórmulas para la obtención de los gráficos.....	38
Tabla 12. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en templas de cuarta.....	40
Tabla 13. Valores obtenidos de las fórmulas para obtención de los gráficos.....	41

Índice de figuras y gráficos

Figura 1. Proceso de refinación del azúcar de caña.....	17
Figura 2. Centrífuga Discontinua.	19
Gráfico 1. Pérdida de cristales en templas de primera.....	32
Gráfico 2. Proporción de licor purgado en templas de primera.....	33
Gráfico 3. Proporción de agua purgada en templas de primera	33
Gráfico 4. Pérdida de cristales en templas de segunda.....	35
Gráfico 5. Proporción de licor purgado en templas de segunda.....	36

Gráfico 6. Proporción de agua purgada en templeas de segunda	36
Gráfico 7. Pérdida de cristales en templeas de tercera.....	38
Gráfico 8. Proporción de licor purgado en templeas de tercera.....	39
Gráfico 9. Proporción de agua purgada en templeas de tercera	39
Gráfico 10. Pérdida de cristales en templeas de cuarta.....	41
Gráfico 11. Proporción de licor purgado en templeas de cuarta.....	42
Gráfico 12. Proporción de agua purgada en templeas de cuarta	42

Resumen

Esta investigación se realiza con el objetivo de optimizar el uso de agua en el proceso de centrifugación en azúcar refinada a través de sus análisis fisicoquímicos.

En el proceso de producción de azúcar, específicamente en la centrifugación, se lleva a cabo una etapa de lavado con agua, que hace posible que el proceso de separación de los cristales de azúcar y la miel residual se lleve a cabo con mayor facilidad. Sin embargo, esto se hace a costa de pérdida de cristales, disminución en la productividad y menor rendimiento.

La investigación se llevó a cabo en un ingenio azucarero en El Salvador la cual se ubica en el área de Innovación e Ingeniería de Procesos, centrándose luego en el área de refinería en el proceso de centrifugación específicamente en la etapa de lavado de la azúcar refinada, realizando análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Control de Calidad (área de fábrica).

En dicha investigación se tomaron en cuenta tres puntos: Antes del lavado con las muestras de masa cocida y miel nutsch, durante el lavado con muestra de azúcar húmeda, después del lavado con muestra de sirope y azúcar seca, a dichas muestras se le realizaron diferentes análisis, con los que se obtuvieron resultados importantes, ya que con la optimización del uso de agua en la centrifugación en el azúcar refinada si se logra disminuir pérdidas de cristales, menor proporción de licor purgado, menor proporción de agua purgada y menor color.

Palabras Claves: Optimización del uso de agua, Centrifugación en azúcar, Análisis fisicoquímicos.

Introducción

La caña de azúcar atraviesa por diferentes procesos, entre los cuales se pueden mencionar algunos, tales como: molienda, manejo del jugo, clarificación, filtración, evaporación, clarificación de la meladura, cristalización, separación en máquinas centrífugas, secado y almacenamiento, obteniendo de esta manera el azúcar, en mayor parte, esta pasa por otro proceso como es la refinación, siendo este proceso el objeto de estudio en la presente investigación.

En el presente trabajo se lleva a cabo la optimización del uso del agua, dando lugar en un ingenio azucarero en El Salvador la cual se ubica en el área de Innovación e Ingeniería de procesos, centrándose luego en el área de refinación en el proceso de centrifugación, específicamente en la etapa de lavado de la azúcar refinada, realizando análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Control de Calidad.

En el proceso de producción de azúcar, específicamente en la centrifugación, se lleva a cabo una etapa de lavado con agua, que hace posible que el proceso de separación de los cristales de azúcar y la miel residual se lleve a cabo con mayor facilidad. Sin embargo, esto se hace a costa de pérdida de cristales, disminución en la productividad y menor rendimiento

Con la optimización del uso de agua en la centrifugación en el azúcar refinado se puede observar que si se logra disminuir pérdidas de cristales, menor proporción de licor purgado, menor proporción de agua purgada y menor color, así cumpliendo con los parámetros de calidad según Norma Salvadoreña.

Capítulo I. El Problema

1.1 Planteamiento del Problema.

En el proceso de producción de azúcar, específicamente en la centrifugación, se lleva a cabo una etapa de lavado con agua que hace posible que el proceso de separación de los cristales de azúcar y la miel residual se lleve a cabo con mayor facilidad. Sin embargo, esto se hace a costa de pérdida de cristales, disminución en la productividad y menor rendimiento. Por lo anterior es de mucha importancia que la aplicación de agua en la centrifugación se haga de la forma más eficientemente posible ya que establece el balance entre la productividad de la fábrica y la calidad del azúcar producido.

La importancia de la centrifugación es amplia, porque esta hace posible que exista la separación del cristal de la miel, por lo tanto depende de éste proceso la obtención de una buena productividad de la azúcar refinada.

El área de refinería con esta etapa del lavado tiene un punto muy crítico como lo es el tiempo que este tarda en llevarse a cabo, que si éste no cumple con lo establecido llega a provocar grandes pérdidas de cristales e incluso afectar todo el proceso de centrifugación.

Lo ideal en el proceso de centrifugación sería que la separación de miel y cristal se llevase a cabo sin necesidad de la utilización del agua pero como no es posible debido a la viscosidad de la masa, entonces siempre se requiere del lavado con agua, es por ello que se quiere optimizar en lo mayor posible el uso del agua.

1.2 Justificación.

La presente investigación nos permitió conocer a profundidad la problemática de la cantidad de agua que se utiliza en el proceso de centrifugación en la refinación del azúcar, el cual a través de diferentes evaluaciones fisicoquímicas en el laboratorio posibilitó reajustar y cambiar nuevas medidas para este proceso, orientadas a las variables que influyen en el rendimiento de éste.

Es importante también porque permitió conocer la cantidad de agua necesaria que se utiliza en este proceso y el rendimiento de este, fue un nuevo método que ayudó a mejorar y aumentar la cantidad y calidad de cristales de azúcar formados en este proceso y porque permitió establecer variables de medición de tiempo y cantidad de agua que se utiliza en el proceso de centrifugación, así como también rendimiento, color, tamaño, pureza del cristal de azúcar obtenido.

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general:

- Optimizar el uso de agua en el proceso de centrifugación en azúcar refinada a través de sus análisis fisicoquímicos.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Identificar los factores que inciden en el rendimiento de la etapa de lavado en el proceso de centrifugación.
- Evaluar a través de análisis fisicoquímicos las diferentes variables que influyen en la calidad del cristal.
- Lograr una disminución de pérdidas de cristales para obtener mayor productividad de azúcar refinada.

1.4 Delimitación.

La investigación se llevó a cabo en un ingenio azucarero en El Salvador, la cual se ubica en el área de Innovación e Ingeniería de Procesos, centrándose luego en el área de Refinería en el proceso de centrifugación, específicamente en la etapa de lavado de la azúcar refinada, realizando análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Control de Calidad tales como (Brix, pol, pureza, color, pH, humedad y temperatura).

El tiempo en el que se llevó a cabo el trabajo de especialización es por el plazo de 5 meses dentro de los cuales se estuvo visitando las instalaciones de un ingenio azucarero en El Salvador las veces que fuese necesario.

Capítulo II. Marco Referencial

2.1 Antecedentes.

Diringer Tim y Nielsen Bjame Christian. Después de la instalación del Neltec ColourQ en la fábrica de azúcar de Saraburi, ha sido evidente que el color de azúcar suministrado por las centrífugas para el azúcar blanco ha estado muy por debajo de los límites especificados. Los ensayos con menos agua de pulverización mostraron a los operadores que las centrifugadoras podían funcionar con hasta un 25% menos de agua de pulverización y aún producen azúcar dentro del color de la fábrica. La reducción del agua de rociado en un 25% aumentó la capacidad centrífuga menos del 2% y evitó la disolución de hasta 16 Tn. de azúcar por día, lo que no tienen que ser reprocesados. Además, la caída de pureza entre la masa cocida y la escorrentía licor se podría incrementar en más del 3%, debido a la mayor recuperación de azúcar ¹.

2.2 Marco Normativo.

En la presente investigación se utilizó como referencia la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 67.20.01:03: Azúcar, Especificaciones ².

Tabla 1. Azúcar refinada composición y factores esenciales de calidad

Factores esenciales de calidad	Valores
Polarización	mínimo 99.7 grados Z
Azúcar Invertido	máximo 0.04%
Ceniza por conductividad	máximo 0.04%
Húmedad	máximo 0.10%
Color con Vitamina "A"	máximo 80 Unidades ICUMSA – 4

Nota. Valores establecidos para azúcar refinada según norma Salvadoreña. Fuente: *Norma Azucares. Especificaciones* ² p. 1.

2.3 Marco Teórico.

Para la obtención de la azúcar de caña, se es conocido que la caña tiene que atravesar por diferentes procesos, entre los cuales se puede mencionar algunos, tales como: molienda, manejo del jugo, clarificación, filtración, evaporación, clarificación de meladura, cristalización, separación en máquinas centrífugas, secado y almacenamiento; en mayor parte de esta azúcar pasa por otro proceso como es la refinación.

2.3.1 Refinación.

2.3.1.1 Definición.

Es el proceso por el cual se lleva a cabo la purificación del azúcar.

En el que el azúcar pasa través de diferentes procesos como la clarificación, filtración, decoloración y la recristalización utilizando métodos físicos y químicos ⁴.

2.3.1.2 Materia prima en el proceso de refinación: El Azúcar. (Anexo 3).

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales, es un híbrido complejo de varias especies, derivadas principalmente del *Saccharum officinarum* y otras especies de *Saccharum*. La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos ^{4 p. 37}.

La caña de azúcar es una combinación de jugo y fibra. El jugo es una solución acuosa de sacarosa y de otras sustancias orgánicas e inorgánicas. La fibra se define como el material insoluble de la caña y por lo tanto incluye cualquier suciedad, suelo o cualquier tipo de materia extraña, como también a la fibra del tallo ^{4 p. 40}.

El jugo de caña es al que se le hace todos los procesos para la obtención los cristales de azúcar.

El principal propósito para procesar la caña de azúcar es recobrar el azúcar, que en su estado puro se conoce como sacarosa su nombre químico, la sacarosa consiste en la combinación de los monosacáridos fructosa y glucosa.

El azúcar es uno de los grandes grupos de sustancias las cuales son llamadas por los químicos carbohidratos. Existen solamente dos clases de azúcar que son importantes en el proceso de refinación del azúcar de caña llamada: Sacarosa, que es el azúcar blanco que se usa en los alimentos y bebidas; y el azúcar invertido que también se encuentra en las frutas y miel de abeja ^{3 p. 25}.

En la refinación se utiliza como materia prima el azúcar (crudo o blanco sulfitado).

El azúcar crudo es la principal materia prima en refinería, esta es obtenida de la caña de azúcar por un previo proceso, que para el consumo directo esta necesita de un proceso de

refinación. Dicha azúcar debe tener de 96 o más de polarización ya que así se asegura sus mejores condiciones de conservación ^{7 p. 174}.

2.3.1.3 Tipos de refinación.

Las refinерías se dividen en tres clases: 1. Aquellas que producen muchas calidades de azúcar incluyendo especialidades; 2. Aquellas que producen azúcar granulado o unas pocas variantes, incluyendo jarabes y, 3. Aquellas que sólo producen jarabes. Las primeras dos incluyen a la mayoría de las refinerías que usan carbón de huesos o carbón activado granulado como los principales decolorantes ^{10 p. 569}.

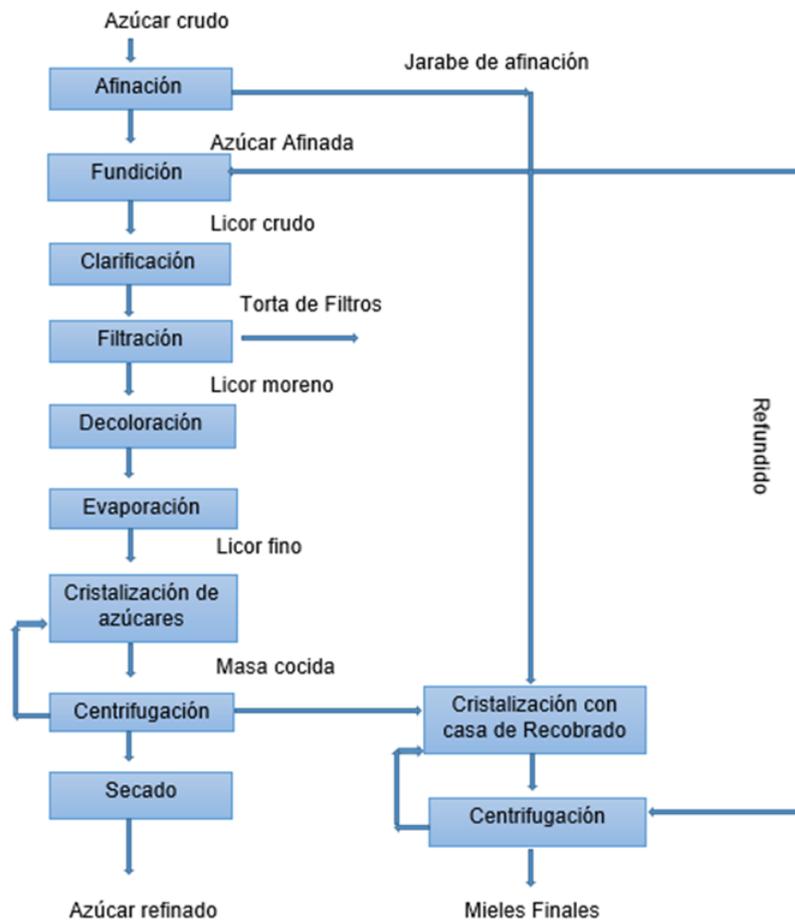
2.3.1.4 Proceso de refinación.

El primer paso del procedimiento se conoce como afinación, o lavado y consta en separar la capa de miel adherida a la superficie de los granos de azúcar. Esta capa o película de miel tienen una pureza de 65 o menor: según la clase de la masa cocida que le dio origen, mientras que el cristal es, prácticamente, sacarosa pura ^{7 p. 175}.

La separación se efectúa mezclando el azúcar crudo con un sirope espeso purgando la mezcla en centrífugas y lavando con agua después de haberse separado el sirope. Después de haberse separado el sirope, el azúcar en la centrífuga se lava con agua, y el azúcar lavado, descargado de la centrifuga para al disolutor: la etapa del lavado, debe rendir un azúcar de color claro ligero, y de aproximadamente 99 de pureza ^{7 p. 176}.

La afinación es un proceso muy importante dentro de la refinación del azúcar crudo, dado que se logra un mejoramiento sustancial de la calidad del azúcar, removiendo típicamente 50% a 70% del color, cenizas y azúcares ⁴.

Figura 1. Proceso de refinación del azúcar de caña



Nota. Obtención de azúcar refinada. Fuente: *Diagrama de flujo del proceso de refinación de azúcar de caña* 4 p. 587.

2.3.1.5 Características de la refinación. (Anexo 2)

Las características que el refinador desea son:

1. Un azúcar que se deje lavar bien, rindiendo un máximo de azúcar lavado de alta pureza con el uso de una mínima cantidad de agua en las centrífugas.
2. Un azúcar que filtre rápidamente en los filtros de saco o de presión
3. Un azúcar de color fácil de eliminar por filtración ^{7 p. 163}.

Dentro del proceso de refinación se lleva a cabo el proceso de centrifugación.

2.3.2 Centrifugación.

2.3.2.1 Definición.

El centrifugado se realiza mediante el uso de centrífugas, que son equipos que giran a muy alta velocidad y donde el cristal de azúcar se separa de la miel que lo rodea y mediante un lavado con agua caliente que tiene lugar dentro de la misma centrífuga, el cristal queda blanco y de aspecto brillante ^{5 p. 238}.

La miel que es obtenida al centrifugar la masa “A” se conoce como Miel “A” y es utilizada para elaborar los cocimientos de la masa “B”, la miel que es obtenida al centrifugar la masa “B” se conoce como Miel “B” y es usada para la elaboración de otro tipo de cocimiento como el de la masa “C”, y que esta al ser centrifugada da una miel conocida como miel final o miel de purga, de la cual es difícil de recuperar sacarosa por el mecanismo de “cristalización” ^{5 p. 238}.

Ésta es una de las etapas más importantes en el proceso de refinación para obtener una azúcar refinada de calidad ya que de esta depende si existió una separación de la capa de miel en el cristal o no.

2.3.2.2 Tipos de centrífugas.

2.3.2.2.1 Centrífugas continuas.

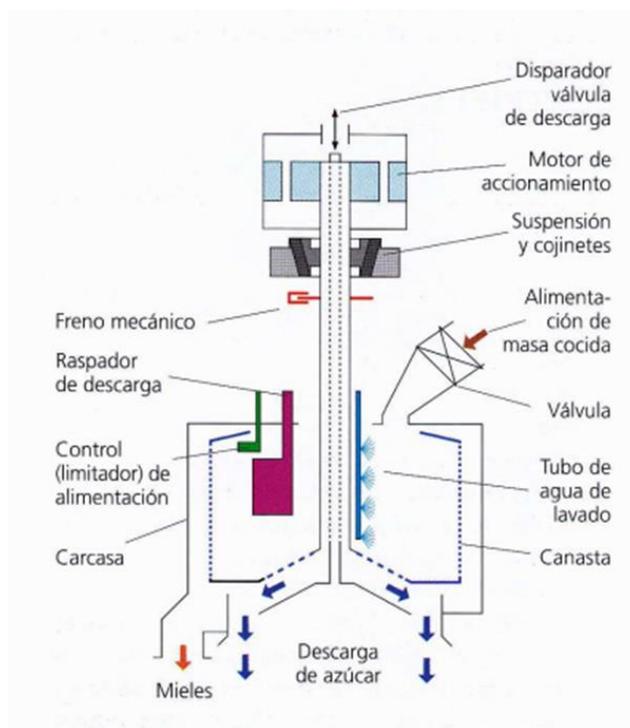
Son aquellas que trabajan a altas rotaciones para ejercer una fuerza intensa sobre la masa y ocasionan apreciable quiebra del azúcar; el tiempo de residencia de la masa dentro de este tipo de centrifuga es pequeño ⁵.

2.3.2.2.2 Centrífugas discontinuas.

Las centrifugas discontinuas son las que normalmente se utilizan para el refinado, es decir que el proceso se realiza de forma discontinua separando el licor madre de los cristales en

ciclos o etapas. Estas etapas son: Pre lavado, carga, aceleración, lavado, secado, desaceleración, y descarga ^{5 p. 239}.

Figura 2. Centrífuga discontinua.



Nota. Máquina Centrífuga discontinua. Fuente: Ingeniera de la caña de azúcar ^{4 p. 488}.

El diagrama esquemático presentado en la figura 2 ilustra las principales características de las centrífugas discontinuas. La canasta es un tambor con diámetro de 1.2 a 1.8m, con un gran número de agujeros de 3 a 6 mm de diámetro perforados sobre la sección cilíndrica que permiten la salida del líquido drenado. Para retener los cristales se instala una fina malla sobre la canasta. También se coloca otra malla detrás de la anterior para ayudar al drenaje del licor madre. Al fondo de la canasta se cuenta con una válvula que permanece cerrada durante el llenado y el centrifugado, y que se abre al final de cada ciclo para permitir que el azúcar caiga sobre un conductor localizado debajo de la máquina. El azúcar normalmente se desprende de las mallas utilizando un raspador, el cual permanece retraído durante la

mayoría del ciclo mientras no está en uso. El eje de accionamiento se extiende desde un motor eléctrico montado por encima de la máquina hasta el fondo de la canasta, y se encarga de accionar la canasta. Los motores empleados son grandes, del orden de 100 a 500 kW, dado que tienen que acelerar y desacelerar grandes cargas en tiempos cortos. Cada ciclo dura alrededor de tres minutos, contados desde el momento en que se alimenta la masa cocida a la máquina, e incluyendo la aceleración, la rotación de centrifugado, la desaceleración y el raspado del azúcar. Para el lavado del azúcar sobre la canasta se instalan boquillas espray. En las centrífugas discontinuas se forma una torta sobre la canasta, a través de la cual el licor madre es drenado bajo acción de una elevada fuerza centrífuga ⁴.

La capacidad de producir azúcar de una centrífuga discontinua depende de tres factores:

1. Contenido del canasto, en volumen de masa:
Superficie de la malla m: diámetro – altura,
Espesura de la capa de masa,
2. Duración del ciclo:
Rotación,
Tiempo de operación de cada etapa del ciclo,
3. Contenido de cristales de la masa cocida ^{5 p. 240}.

Para la obtención del azúcar refinado que es la que estuvo en estudio comúnmente se utilizan las centrífugas discontinuas. En las centrífugas discontinuas no existe el rompimiento de cristales significativos por lo que el raspado de la canasta no causa un mayor daño a los cristales lo contrario de las centrífugas continuas.

2.3.2.3 Duración del centrifugado.

El tiempo durante el cual las máquinas operan a máxima velocidad se ajusta de acuerdo a la experiencia bajo las condiciones y requerimientos particulares de la fábrica. Los tiempos de centrifugado más prolongados ayudan a remover una cantidad adicional de líquido y reducen la humedad del azúcar, pero el beneficio se reduce progresivamente a medida que se incrementa el tiempo de centrifugado.

Con el fin de archivar un número elevado de ciclos, el agua de lavado se aplica a menudo en la fase de aceleración de la velocidad de la centrífuga. Esto eleva el factor de separación, dando como resultado un pasaje considerablemente más rápido del líquido, una purificación más pobre y el uso de más agua de lavado ^{9 p. 834}.

En el proceso de centrifugación se lleva a cabo una etapa que es el lavado.

2.3.3 Lavado.

El lavado es una función extremadamente importante. En primer lugar, no se ha encontrado otro modo de eliminar la miel madre residual; en segundo lugar, para que el lavado sea de forma eficaz, tiene que aplicarse en el momento justo, ni demasiado pronto ni demasiado tarde sino cumplir siempre con los tiempos estipulados según el material a centrifugar ^{6 p. 218}.

El lavado del azúcar es una parte importante del ciclo de centrifugación que necesita atención para poder lograr la calidad del azúcar requerido sin que se presente disolución excesiva. Las boquillas espray se deben configurar para distribuir el agua uniformemente a lo largo de la altura interna de la capa de azúcar. El agua debe ser caliente y puede ser aplicada en más de una lavada, la primera se puede aplicar durante la aceleración. En el que se remueve el exceso de mieles ^{4 p. 497}.

La eficiencia del lavado involucra cierto compromiso como el de aplicar suficiente agua para lograr la pureza de azúcar requerida, pero no sobrepasar en cantidad porque provoca la disolución de cristales. Esto es más fácil lograrlo utilizando agua caliente aplicada uniformemente sobre la canasta, debido a un lavado no uniforme no se logra en ocasiones porque puede sobre lavar parte de la canasta, mientras que otras secciones pueden quedar sin lavar ^{4 p. 490}.

La calidad del lavado tiene que ver con la uniformidad y tamaño del grano porque un cristal duro, uniforme, de tamaño entre mediano y grande, éste se purga con facilidad porque presenta menor superficie a la acción del agua de lavado y lleva sobre su superficie menos miel a separar por medio del lavado. Contrario a lo conglomerado y fino que forman una capa en la centrífuga y su drenaje no es fácil y libre ^{7 p. 164}.

Por defecto de la fuerza centrífuga, los cristales de azúcar son retenidos y separados del licor madre por medio de un cedazo (malla de perforaciones finas). En la aceleración es donde se aplica un primer lavado con agua (0- 14 segundos). El segundo lavado debe ocurrir cuando el flujo de miel haya disminuido considerablemente y puede ser fijo (0 – 5 segundos) dependiendo de la necesidad o no de producir azúcar blanco ^{5 p. 239}.

2.3.4 Puntos importantes en el proceso de centrifugación.

En el proceso de centrifugación, específicamente en el lavado, existen tres puntos que son importantes:

1. Antes del lavado: muestras de masa cocida y miel nustch.
2. Durante el lavado: muestra de azúcar húmeda.
3. Después del lavado: muestra de sirope y azúcar seca

Ya que tomando en cuenta éstos puntos, se verifica que el proceso se lleve a cabo de la mejor manera.

2.3.4.1 Masa cocida. (Anexo 3)

Producto de un cocimiento en la etapa de cristalización, está compuesta por miel y cristales de sacarosa, ésta se traslada a centrifugas para la separación del azúcar.

La masa cocida es constituida por tres fracciones de miel:

- a) Exceso de miel, que es fácilmente eliminada por la fuerza centrífuga.
- b) Miel entre espacios de los cristales, es de retirada más difícil.
- c) Película final de miel que envuelve los cristales, está adherida al cristal por fuerzas capilares, difícilmente removibles por la centrifugación, necesitando de la operación de lavado ^{5 p. 241}.

La masa concentrada de cristales y miel, forman la masa cocida o cuando se cocina en parte con meladura y en parte con mieles masa cocida o templa mixta y cada operación o tarea de descarga del tacho se llama una templa ^{7 p. 103}.

2.3.4.2 Miel Nustch. (Anexo 3)

Es la miel que rodea a los cristales, esta se obtiene colocando una muestra de masa cocida en un filtro nutsch el cual retiene los cristales y deja pasar la miel.

2.3.4.3 Azúcar húmeda. (Anexo 3)

Es el azúcar que es obtenido de forma directa de las centrifugas, con un alto contenido de humedad (0.50%), debido al agua purgada en el lavado.

2.3.4.4 Sirope. (Anexo 3)

El jarabe de caña es el alimento líquido derivado de la concentración y el tratamiento térmico del zumo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) o de la solución en agua del

concreto de caña de azúcar de dicho zumo. Contiene no menos del 74 por ciento en peso de sólidos solubles derivados exclusivamente de dicho jugo. La concentración se puede ajustar con o sin agua añadida. Puede contener uno o más de los ingredientes opcionales (sal, conservantes, agentes antiespumantes). El nombre del alimento es "jarabe de caña" o "jarabe de caña de azúcar". Alternativamente, la palabra "sirup" se puede deletrear "jarabe" ^{8 p. 203}.

Sirope se refiere a soluciones densas de las que ha cristalizado algún azúcar, correspondientes a las mieles de las fábricas de azúcar crudo ^{7 p. 174}.

2.3.4.5 Azúcar seca.

Es el azúcar que pasa de las máquinas centrífugas a un proceso de secado para disminuir su humedad (hasta 0.1% o menos) y evitar que se aterrone en el almacenamiento.

Capítulo III. Marco Metodológico

3.1 Análisis fisicoquímicos.

Se realizaron pruebas en el Laboratorio de Control de Calidad de un ingenio azucarero en El Salvador por el tiempo de 1 mes, 4 días a la semana y 2 pruebas al día.

Para la optimización del uso del agua en las centrifugas se tomaron en cuenta tres puntos:

1. Antes del lavado con las muestras de masa cocida y miel nustch.
2. Durante el lavado con muestra de azúcar húmeda.
3. Después del lavado con muestra de sirope y azúcar seca

Dichas muestras fueron tomadas durante el proceso de la refinación de azúcar por tiempos establecidos de descargas y llenado en cada una de las máquinas, haciendo la determinación de:

- Polarización (o Pol) y pureza, con la finalidad de conocer las cantidades de sacarosa presente en las muestras.
- De Brix Refractométrico, con el objetivo de conocer el porcentaje de sólidos disueltos de los materiales que se obtuvieron en las diferentes etapas del proceso, el cual junto con la Pol, permitió conocer la pureza de dichos materiales.
- De color a pH 7, ya que a través de este se conoció la calidad en las diferentes muestras y la efectividad del proceso de decoloración y clarificación.
- De humedad, ya que se permitió conocer la cantidad de agua que contiene el azúcar refinada.
- De ceniza, permitió estimar el % de impurezas (minerales solubles y sales orgánicas) o ceniza presentes en dicha muestra.
- De azúcar reductor, sirvió de indicativo de la inversión que sufre los materiales por los procesos de fabricación y también el deterioro con el que viene la caña antes de ingresar al proceso.

3.1.1 Métodos fisicoquímicos y de calidad en azúcar refinada.

Polarización (o Pol)

- Pol en azúcar
1. Homogenizar muestra.
 2. Pesar 26 g de muestra en balanza analítica.
 3. Transferir la muestra pesada a un balón de 100 ml.
 4. Aforar con agua destilada y homogenizar.
 5. Luego filtrar la muestra en papel Wathman 91.
 6. Lectura directa en Polarímetro en tubos 200mm.

- Pol en masa, sirope y mieles
- 1. Homogenizar muestra.
- 2. Realizar dilución 1:1 (35g.- 40g. de muestra y agua).
- 3. Agitar.
- 4. Pesar 26g de la dilución 1:1 en balanza analítica.
- 5. Pasar al balón volumétrico de 200 ml.
- 6. Aforar con agua destilada y homogenizar.
- 7. Tomar muestra y clarificar con la cantidad de octapol necesaria.
- 8. Filtrar muestra en papel Wathman.
- 9. Lectura en Polarímetro en tubos 200mm.
- 10. Resultados de lectura x 4.

Azúcar invertido

1. Pesar 50g de muestra en balanza analítica.
2. Transferir a un balón volumétrico de 100 ml con 50 ml de agua, agitar hasta homogenizar.
3. Aforar con agua destilada.
4. Llenar bureta con 50 ml con solución de ensayo. Mezclar 5ml de solución Fehling A y 5 ml de solución Fehling B en Erlenmeyer de 250 ml. Agregar 20ml de agua destilada, adicionar entre 15 y 30ml de solución de ensayo contenida en bureta, agregar un agitador magnético.
5. Colocar el Erlenmeyer en el Hot Plate, luego de 2 minutos agregar 4 gotas de solución de azul de metileno.
6. Titular con goteo rápido.

7. El punto final se manifiesta por desaparición del azul de metileno y la solución se vuelve rojo ladrillo.
8. Anotar los ml gastados.

Ceniza por conductividad

- Ceniza en azúcar refino
 1. Pesar 28g de la muestra.
 2. Luego llevar la muestra ya pesada a 100g con agua destilada.
 3. Agitar.
 4. Medir Conductividad en conductímetro.
- Ceniza en masa, sirope y mieles
 1. Pesar de 0.5 a 3g de muestra.
 2. Luego llevar la muestra ya pesada a 100g con agua destilada.
 3. Agitar.
 4. Medir Conductividad en conductímetro.

Húmedad

1. Calibrar termobalanza.
2. Colocar muestra (azúcar) en termobalanza.
3. Anotar resultado.
4. Descartar.

Color

- Color en azúcar refinada.
 1. Pesar 20g de muestra en balanza analítica.
 2. Pasar la muestra a un balón de 100 ml.
 3. Agitar.

4. Agregar 10 ml de mops 420 con pipeta.
 5. Aforar con agua destilada.
 6. Filtrar.
 7. Calibrar con solución mops en celda de 5 a 420 nm (autozero).
 8. Leer muestra en espectrofotómetro.
 9. Anotar absorbancia (abs) obtenida en espectrofotómetro.
- Color en masa, sirope y mieles
1. Homogenizar muestra.
 2. Realizar dilución 1:1 (35g.- 40g. de muestra y agua).
 3. Agitar.
 4. Ajustar la muestra a pH 7.
 5. Filtrar.
 6. Calibrar con agua destilada en celda de 1 a 420 nm (autozero).
 7. Leer muestra en espectrofotómetro.
 8. Anotar absorbancia (abs) obtenida en espectrofotómetro.

Capítulo IV. Análisis de resultados

4.1 Resultados.(Anexo 4)

4.1.1 Resultados obtenidos con respecto a parámetros de calidad en azúcar blanco refino según la Norma Salvadoreña.

Las siguientes tablas nos muestran los valores obtenidos durante los análisis realizados en el laboratorio, los cuales cumplen con la Norma Salvadoreña.

Tabla 2. Valores obtenidos en análisis realizados en muestras de azúcar de primera.

Azúcar Primera	Polarización Grados Z	Azúcar Invertido %	Ceniza por Conductividad %	Húmedad %	Color
R1	99.53	0.008	0.20%	0.03	16
R2	99.58	0.008	0.003	0.03	19
R3	99.52	0.008	0.004	0.04	13
R4	99.36	0.008	0.004	0.03	20

Tabla 3. Valores obtenidos en análisis realizados en muestras de azúcar de segunda.

Azúcar Segunda	Polarización Grados Z	Azúcar Invertido %	Ceniza por Conductividad %	Húmedad %	Color
R1	99.88	0.005	0.008	0.03	37
R2	99.28	0.006	0.006	0.03	25
R3	99.91	0.008	0.006	0.03	28
R4	99.96	0.008	0.012	0.03	25

Tabla 4. Valores obtenidos en análisis realizados en muestra de azúcar de tercera.

Azúcar Tercera	Polarización Grados Z	Azúcar Invertido %	Ceniza por Conductividad %	Húmedad %	Color
R1	98.97	0.008	0.026	0.03	77
R2	98.42	0.008	0.02	0.04	58
R3	99.01	0.006	0.017	0.03	80
R4	99.01	0.008	0.036	0.04	66

Tabla 5. Valores obtenidos en análisis realizados en muestra de azúcar de cuarta.

Azúcar Cuarta	Polarización Grados Z	Azúcar Invertido %	Ceniza por Conductividad %	Húmedad %	Color
R1	99.6	0.008	0.03	0.03	90
R2	99.15	0.008	0.74	0.04	216
R3	99.66	0.008	0.038	0.03	94
R4	99.21	0.006	0.028	0.03	78

4.1.2 Resultados obtenidos de la optimización del uso del agua.

4.1.2.1 Definiciones

Z: Es la pérdida de cristales (Cristales de sacarosa perdidos en cristales de sacarosa verde en total en masa cocida – la pérdida de cristales puede deberse tanto a pérdidas en la pantalla como a la fusión).

PL: Es el licor purgado (Licor madre purgado a licor madre total en masa cocida).

PW: Es la cantidad de agua purgada (Agua de lavado purgada hasta agua de lavado total usada).

R: Relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida.

% CRY: Porcentaje de cristales de azúcar.

% ML az: Porcentaje de miel en azúcar.

Agua purgada (Kg/h): Peso en Kg de agua purgada durante el centrifugado por hora.

Purga de masa: Restos que se eliminan durante la centrifugación de la masa cocida de un cocinado completo, toda la cual se descarga desde el tacho. Las masas de primera, segunda, tercera y cuarta difieren del porcentaje de sacarosa presente, ejemplo: la masa de primera posee un alto porcentaje de sacarosa y menor color por eso es de mejor calidad.

Para la optimización del uso del agua en las centrífugas en la siguiente tabla se muestran los tres puntos que se tomaron en cuenta para la obtención de los datos para los resultados:

1. Antes del lavado (masa cocida y miel nustch)
2. Durante el lavado (azúcar húmeda)
3. Después del lavado (sirope y azúcar seca)

De los cuales se analizaron las siguientes variables fisicoquímicas tales como: Brix, pol, pureza, color, cenizas, temperatura y flujo.

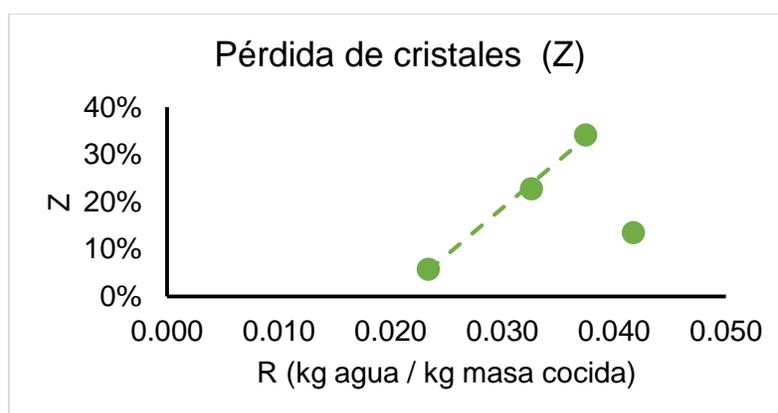
Tabla 6. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en templeas de primera.

PURGA DE MASAS PRIMERAS									
			Brix (%)	Pol (%)	Pza (%)	Color	Cenizas	T °C	Flujo (kg)
Fecha: 23/02	R1	Masa Cocida 1	87.99	91.76	99.7	79	0.0923		68,022
Hora de descarga: 09:05 a.m		Nutsch de MC1	77.5	77.04	99.4	288	0.163	N/A	36,309
Tacho: 1		Sirope A	77.18	76.8	99.5	264	0.1359		42,025
Tiempo de lavado: 9 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				2,838
Fecha: 27/02		Azúcar	99.65	99.53	99.87	16	0.002	50.4	28,836
	R2	Masa Cocida 1	88.88	88.48	99.55	139	0.01817		67,000
Hora de descarga: 08:15 a.m		Nutsch de MC1	75.66	75.32	99.55	376	0.1594	N/A	30,610
Tacho: 2		Sirope A	75.76	75.52	99.68	244	0.1068		46,985
Tiempo de lavado: 9 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				2,508
Fecha: 07/03		Azúcar	99.49	99.58	100	19		50.3	22,524
	R3	Masa Cocida 1	88.04	87.88	99.41	137	0.0841		66,746
Hora de descarga: 08:45 a.m		Nutsch de MC1	77.14	76.72	99.46	514	0.1276	N/A	34,920
Tacho: 2		Sirope A	75.82	75.52	99.6	565	0.138		45,096
Tiempo de lavado: 7 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				2,177
Fecha: 07/03		Azúcar	99.51	99.52	100	13	0.004	50.4	23,826
	R4	Masa Cocida 1	87.06	86.68	99.56	149	0.0972		66,432
Hora de descarga: 11:05a.m		Nutsch de MC1	77.06	76.6	99.4	259	0.1194	N/A	37,473
Tacho: 2		Sirope A	76.26	76	99.66	243	0.1196		40,055
Tiempo de lavado: 4 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				1,552
		Azúcar	99.57	99.36	99.78	20	0.004	48	27,929

Tabla 7. Valores obtenidos de las fórmulas para la obtención de los gráficos.

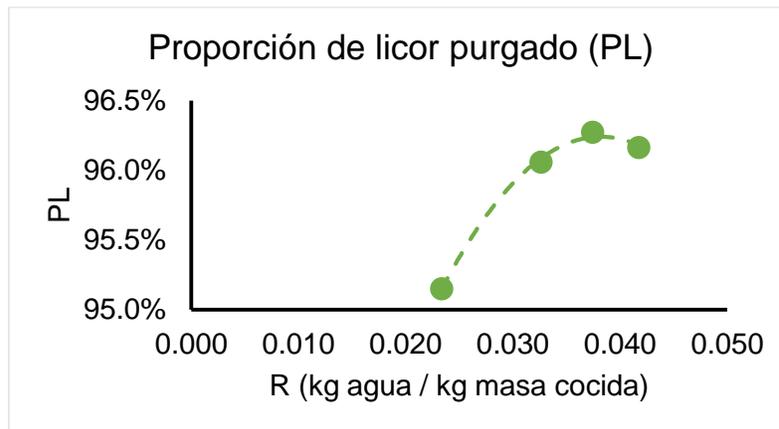
R	% CRYSTALS	% ML az	Agua purgada (kg/h)	Z	PL	Pw
0.04172453	46.6	2.0	2737.275614	0.13544899	0.96095775	0.96444071
0.03743871	54.3	1.7	2393.529824	0.34175183	1.0467284	0.9542058
0.03261027	47.7	2.1	2059.84787	0.22793828	1.02132921	0.94636162
0.02335747	43.6	2.7	1431.59324	0.05762463	0.98294539	0.92260261

Gráfico 1. Pérdida de cristales en plantas de primera.



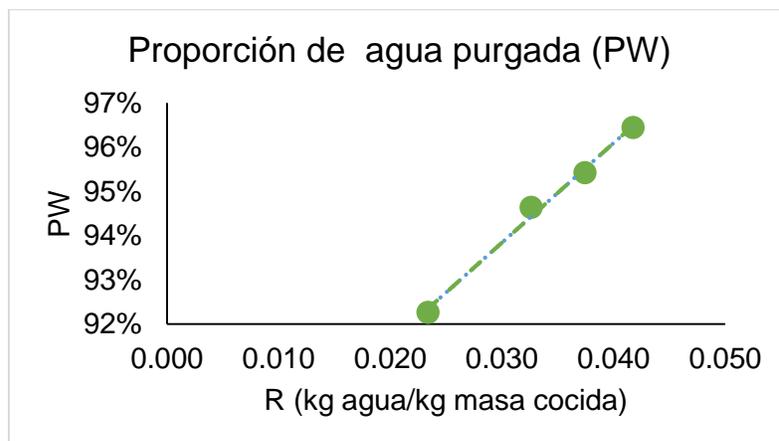
En el gráfico se observa que la tendencia, mientras va creciendo la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R), va en aumento la pérdida de cristales (Z).

Gráfico 2. Proporción de licor purgado en plantas de primera.



En el gráfico se observa que la tendencia entre mayor la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R) crece la proporción de licor purgado (PL).

Gráfico 3. Proporción de agua purgada en plantas de primera.



En el gráfico se observa que la tendencia de la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R) crece, así la proporción de agua purgada aumenta (PW).

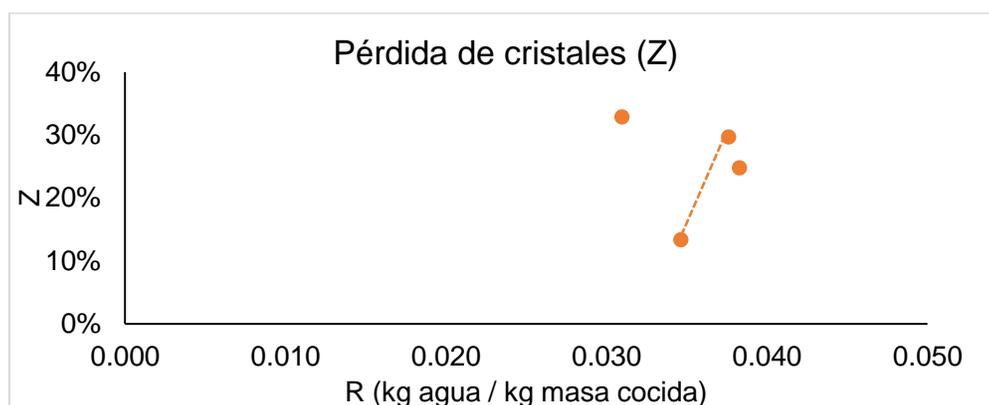
Tabla 8. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en templeas de segunda.

PURGA DE MASAS SEGUNDAS									
			Brix (%)	Pol (%)	Pza (%)	Color	Cenizas	T °C	Flujo (kg)
Fecha: 16/02	R1	Masa Cocida 2	89.76	88.8	98.93	424	0.2793		67,255
Hora de descarga:		Nutsch de MC2	76.98	75.2	97.69	1099	0.5308	N/A	29,917
08:55 a.m		Sirope B	76.64	75.48	98.49	666	0.3223		46,045
Tacho:		Agua	N/A	N/A	N/A				2,083
Tiempo de lavado: 10 s.		Azúcar	99.69	99.88	100	37	0.008	45.8	23,293
Fecha: 20/02	R2	Masa Cocida 2	89.32	88.28	98.83	309	0.2072		67,127
Hora de descarga:		Nutsch de MC2	74.98	73.2	97.63	866	0.4434	N/A	28,654
09:15 a.m		Sirope B	75.78	74.72	98.6	444	0.2479		40,920
Tacho: 2		Agua	N/A	N/A	N/A				2,570
Tiempo de lavado: 12 s.		Azúcar	99.74	99.28	99.53	25	0.006	50.6	28,777
Fecha: 08/03	R3	Masa Cocida 2	90.18	89.44	99.18	496	0.2678		67,382
Hora de descarga:		Nutsch de MC2	78.7	77.12	97.99	1204	0.4062	N/A	31,065
12:55 m.		Sirope B	75.7	74.96	99.02	636	kjg		38,694
Tacho: 1		Agua	N/A	N/A	N/A				2,334
Tiempo de lavado: 11 s.		Azúcar	99.75	99.91	100	28	0.006	50.2	31,022
Fecha: 21/03	R4	Masa Cocida 2	91.04	89.92	98.77	425	0.3244	54.5	67,700
Hora de descarga:		Nutsch de MC2	77.76	76.92	97.38	876	0.5063	N/A	27,275
12:30 m.		Sirope B	79.5	75.72	96.75	1092	0.683	66	41,751
Tacho: 1		Agua	N/A	N/A	N/A			233	2,546
Tiempo de lavado: 13 s.		Azúcar	99.72	99.96	100	25	0.012	55.2	28,495

Tabla 9. Valores obtenidos de las fórmulas para la obtención de los gráficos.

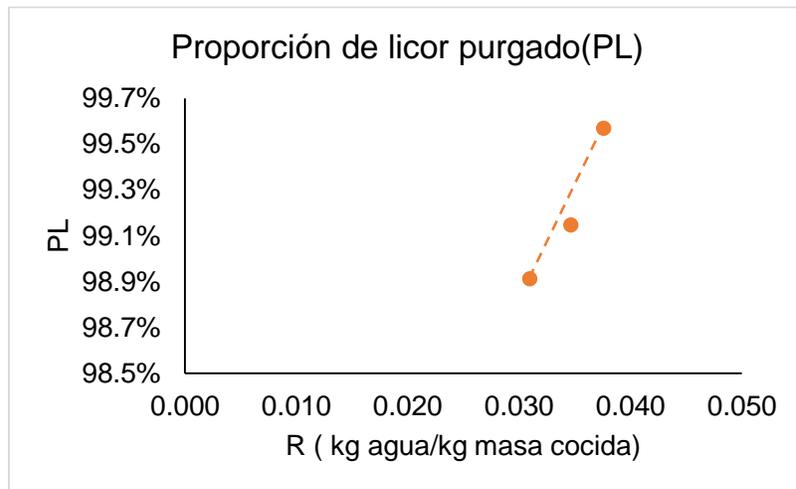
R	% CRYs	% ML az	Agua purgada (kg/h)	Z	PL	Pw
0.03097187	55.5	0.5	2010.793027	0.32832424	1.05970687	0.96533511
0.03828394	57.3	2.7	2495.079103	0.24755989	1.00599294	0.97088568
0.03464232	53.9	0.4	2256.705908	0.1333561	1.01453364	0.96677531
0.03760341	59.7	0.2	2465.958319	0.29643034	0.99806822	0.96865957

Gráfico 4. Pérdida de cristales en templeas de segunda.



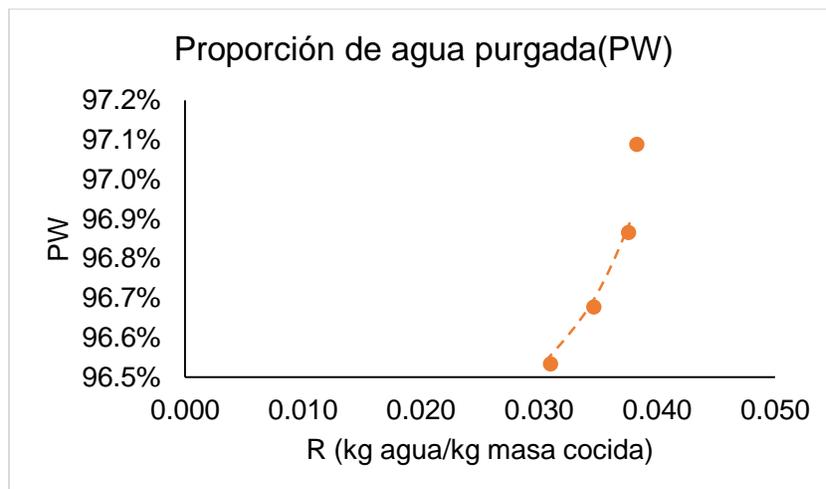
En el gráfico se puede observar que la tendencia, mientras va creciendo la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R), va en aumento la pérdida de cristales (Z).

Gráfico 5. Proporción de licor purgado en plantas de segunda.



En el gráfico se puede observar que la tendencia entre mayor la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R) crece la proporción de licor purgado (PL).

Gráfico 6. Proporción de agua purgada en plantas de segunda.



En el gráfico se observa que la tendencia de la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R) crece, así la proporción de agua purgada aumenta (PW).

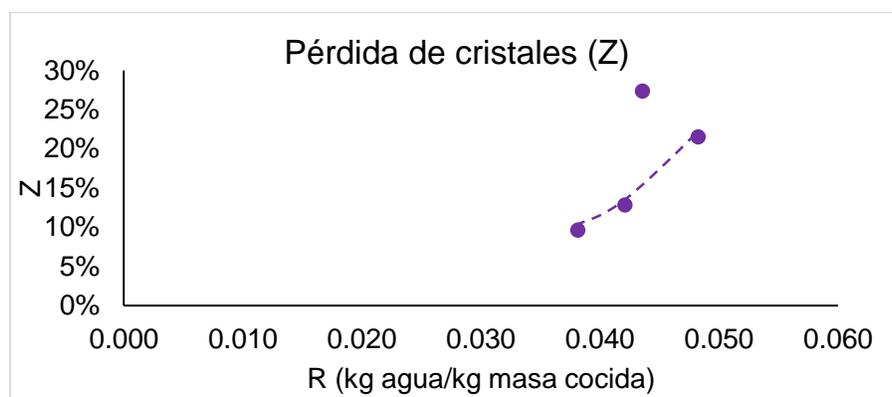
Tabla 10. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en templeas de tercera.

PURGA DE MASAS TERCERAS									
			Brix (%)	Pol (%)	Pza (%)	Color	Ceniza	T °C	Flujo (kg)
Fecha: 21/02	R1	Masa Cocida 3	90.5	88.64	97.94	858	0.4174		67,509
Hora de descarga: 09:05 a.m		Nutsch de MC3	77.62	74.04	95.39	2195	0.8452	N/A	28,657
Tacho: 1		Sirope C	76.74	73.8	96.17	1694	0.6743		33,857
9 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				2,575
		Azúcar	99.61	98.97	99.66	77	0.026	54.4	36,226
Fecha: 10/03	R2	Masa Cocida 3	90	88.32	98.13	902	0.4087		67,382
Hora de descarga: 09:30 a.m		Nutsch de MC3	77.62	74.44	95.9	2173	0.7965	N/A	30,108
Tacho: 2		Sirope C	76.62	74.68	97.47	1367	0.4817		36,740
11 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				2,837
		Azúcar	99.09	98.92	98.82	58	0.02	54.3	33,479
Fecha: 14/03	R3	Masa Cocida 3	89.42	87.16	97.47	963	0.4792	65.1	67,191
Hora de descarga: 10:00 a.m		Nutsch de MC3	77.82	73.88	94.44	2291	0.8786	N/A	32,051
Tacho: 2		Sirope C	76.58	73.84	96.42	1608	0.6052	58.1	45,131
9 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				2,927
		Azúcar	99.09	99.01	99.91	80	0.017	50.1	24,987
Fecha: 16/03	R4	Masa Cocida 3	88.16	86.4	98	1,294	0.4883	61.5	66,746
Hora de descarga: 12:35 m.		Nutsch de MC3	76.4	73.2	95.81	2,110	0.8052	N/A	33,486
Tacho: 2		Sirope C	76.48	73.68	96.34	1,842	0.7085	61.7	42,797
13 s.		Agua	N/A	N/A	N/A				3,220
		Azúcar	99.24	99.01	99.76	66	0.036	48.3	27,169

Tabla 11. Valores obtenidos de las fórmulas para la obtención de los gráficos.

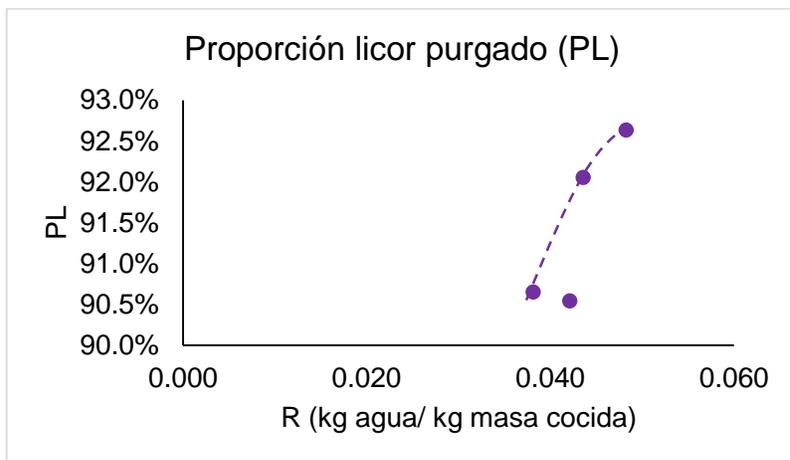
R	% CRYs	% ML az	Agua purgada (kg/h)	Z	PL	Pw
0.03813567	57.6	4.0	2433.217508	0.09622947	0.96117239	0.94512236
0.04210625	55.3	4.2	2532.530823	0.12823907	0.96726201	0.89261814
0.04356829	52.3	3.8	2700.010969	0.2737474	1.01664496	0.92232515
0.04824821	49.8	3.7	3013.877696	0.21490952	0.96842842	0.93588136

Gráfico 7. Pérdida de cristales en templeas de tercera.



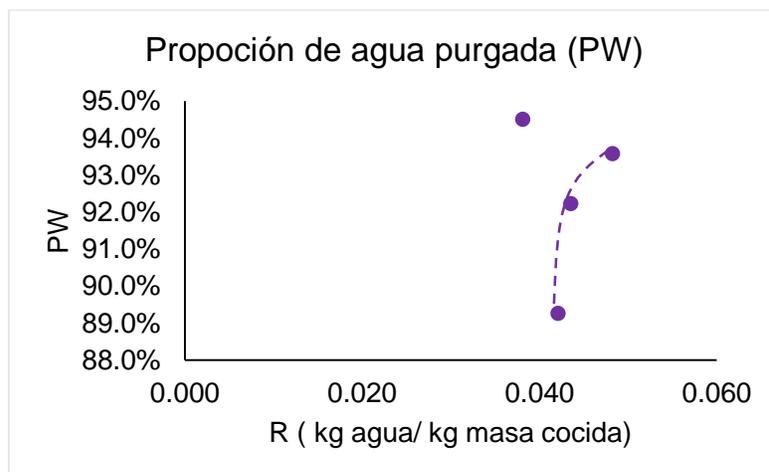
En este gráfico se puede observar que la tendencia, mientras va creciendo la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R), va en aumento la pérdida de cristales (Z).

Gráfico 8. Proporción de licor purgado en templates de tercera.



En el presente gráfico se observa que la tendencia entre mayor la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R) crece la proporción de licor purgado (PL).

Gráfico 9. Proporción de agua purgada en templates de tercera.



En el gráfico anterior se observa que la tendencia de la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida ® crece, así la proporción de agua purgada aumenta (PW).

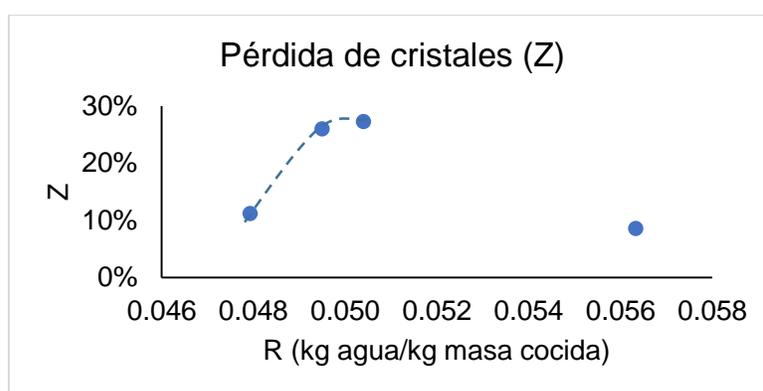
Tabla 12. Valores obtenidos en análisis fisicoquímicos en plantas de cuarta.

PURGA DE MASAS CUARTAS									
			Brix (%)	Pol (%)	Pza (%)	Color	Ceniza	T °C	Flujo (kg)
Fecha: 21/02	R1	Masa Cocida 4	92.5	88.32	95.48	1475	0.6995		68,154
Hora de descarga:		Nutsch de MC4	79.8	73.2	91.73	3902	1.5533	N/A	25,305
13:30 p.m		Sirope D	78.16	73.16	93.6	2725	0.9955		40,781
Tacho: 1		Agua	N/A	N/A	N/A				3,435
Tiempo de lavado: 14 s.		Azúcar	99.61	99.6	99.99	90	0.03	51.4	30,808
Fecha: 10/03	R2	Masa Cocida 4	90.78	87.64	96.54	1515	0.6554		67,573
Hora de descarga:		Nutsch de MC4	78.74	73.84	93.78	3181	1.0946	N/A	29,305
14:40 p.m		Sirope D	65.82	63.76	96.87	1725	0.5125		40,023
Tacho: 2		Agua	N/A	N/A	N/A				3,807
Tiempo de lavado: 12 s.		Azúcar	99.61	99.15	99.53	216	0.074	64	31,357
Fecha: 16/03	R3	Masa Cocida 4	91.32	88.28	96.67	1,310	0.6681	63	67,763
Hora de descarga:		Nutsch de MC4	78.76	72.32	91.82	3,225	1.3555	N/A	27,692
09:00 a.m		Sirope D	72.9	67.92	93.17	2,788	1.1284	62.4	36,065
Tacho: 1		Agua	N/A	N/A	N/A				3,248
Tiempo de lavado: 12 s.		Azúcar	99.64	99.66	100	94	0.038	49	34,946
Fecha: 30/03	R4	Masa Cocida 4	90.06	87.44	97.09	1,306	0.6426	56	67,382
Hora de descarga:		Nutsch de MC4	77.5	72.36	93.37	3,169	1.3602	N/A	29,768
08:55^a.m		Sirope D	75.96	73.96	97.37	1,313	0.5683		43,234
Tacho: 2		Agua	N/A	N/A	N/A				3,335
Tiempo de lavado: 11 s.		Azúcar	99.62	99.21	99.25	78	0.028	51.1	27,483

Tabla 13. Valores obtenidos de las fórmulas para obtención de los gráficos.

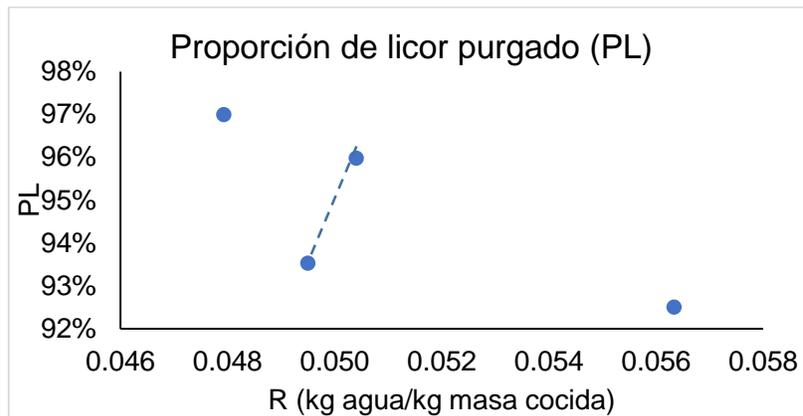
R	% CRYSTALS	% ML az	Agua purgada (kg/h)	Z	PL	Pw
0.05039933	62.9	1.5	3314.768777	0.27261209	1.0142303	0.96502066
0.05633462	56.6	3.2	3684.385268	0.08540717	1.12431008	0.96787467
0.04792634	59.1	1.2	3121.84688	0.1118313	1.02326358	0.96126304
0.04949706	55.8	2.9	3230.764387	0.25975599	1.01210994	0.96868685

Gráfico 10. Pérdida de cristales en templeas de cuarta.



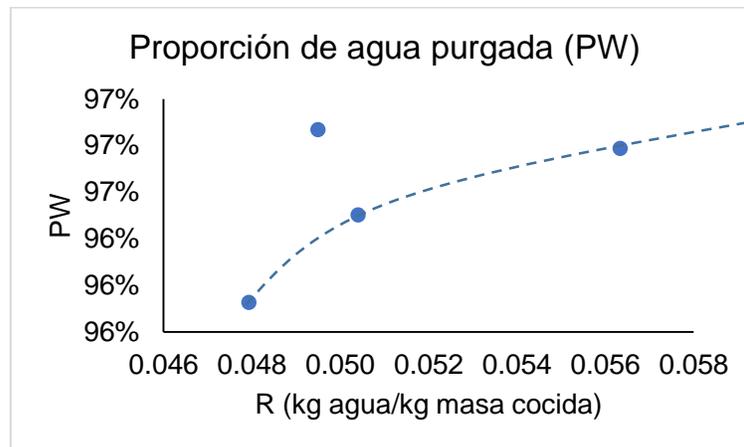
En este gráfico se puede observar que la tendencia, mientras va creciendo la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R), va en aumento la pérdida de cristales (Z).

Gráfico 11. Proporción de licor purgado en plantas de cuarta.



En el gráfico se observa que la tendencia entre mayor la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R) crece la proporción de licor purgado (PL).

Gráfico 12. Proporción de agua purgada en plantas de cuarta.



En el gráfico se observa que la tendencia de la relación de peso de agua del lavado centrífuga a flujo de masa cocida (R) crece, así la proporción de agua purgada aumenta (PW).

Conclusiones.

- Con la optimización del uso de agua en la centrifugación en el azúcar refinado si se logra disminuir pérdidas de cristales, menor proporción de licor purgado, menor proporción de agua purgada y menor color, siempre y cuando se realiza un buen proceso previo de la materia prima en la refinación.
- Para la optimización del uso de agua tiene que ver, que tipo de masa cocida o templea es la que está en proceso y así será el tiempo y cantidad de agua purgada, porque la pérdida de cristales se da conforme al agua purgada ya que esta provoca que cierta cantidad de cristales se disuelvan, si existe mayor cantidad de agua purgada existirá mayor pérdida de cristales.
- Como la separación de líquido y cristal no es perfecta, siempre existe presencia de licor en el cristal, por eso se le purga agua, y al purgar agua le ayuda a esta separación durante la centrifugación y esto provoca que cierta cantidad de licor se vaya con el sirope.
- Para la evaluación de las variables fisicoquímicas se dan diferentes resultados debido a la templea o masa cocida que está en análisis por ejemplo un masa de primera tiene un menor color que una masa de tercera y mucho más de una masa de cuarta, así igual el Brix, pol, cenizas, azúcares reductores y la humedad.
- Como en refinería se utiliza como materia prima azúcar crudo o azúcar blanco sulfitado, estas provocan cambios en el proceso de refinación porque por ejemplo un azúcar crudo viene con mayor color necesitará mayor cantidad de agua purgada para cumplir siempre con los parámetros de calidad lo contrario de un azúcar blanco sulfitado.

Recomendaciones.

- Para la optimización del uso del agua se recomienda tener un buen proceso previo en el azúcar, que servirá como materia prima en el proceso de refinación.
- Para obtener un producto final de mayor calidad tener un importante cuidado en las máquinas centrífugas de su comportamiento para que éstas trabajen conforme a los requerimientos de calidad.
- Tener un sumo cuidado en la etapa del lavado porque según la cantidad de agua purgada así será la cantidad de la pérdida de cristales.
- Hacer siempre todos los análisis fisicoquímicos al azúcar refinado y verificar si éstos están cumpliendo con los parámetros de calidad según la Norma Salvadoreña.
- Con los tiempos de lavado al purgar agua tener un crítico cuidado porque entre mayor tiempo de lavado menor productividad, pudiendo aumentarla haciendo uso necesario del flujo de agua.

Anexos

Anexo 1

Glosario de términos y definiciones.

Afinación: Tratamiento de los cristales de azúcar con un sirope concentrado para remover la capa de mieles que los rodea. Esto se logra mediante la mezcla del azúcar con sirope y entonces centrifugando la magma con o sin agua de lavado ³.

Azúcar afinada: Azúcar purificada por afinación ³.

Azúcar crudo: Azúcar moreno producido en las fábricas de azúcar, generalmente destinado a procesos posteriores en refinería para obtener azúcar blanco ⁴.

Azúcar invertido: Mezcla de aproximadamente partes iguales de glucosa y fructosa producido por la hidrólisis de la sacarosa o inversión ³.

Azúcar refinada: Azúcar purificada mediante afinación ⁴.

Azúcar: Término para el disacárido sacarosa y productos de la industria azucarera, esencialmente compuesto de sacarosa ³.

Brix: La medición de los sólidos totales en un licor o sirope de azúcar usando el hidrómetro Brix ³.

Caña: Es la materia prima que ingresa al ingenio, normalmente en la definición del término se incluye la caña limpia más las materias extrañas y el agua que la acompañan ³.

Ceniza: Residuo sólido determinado gravimétricamente después de la incineración en la presencia de oxígeno. Algunas veces la determinación se hace conductimetricamente lo cual es una determinación indirecta de la ceniza en solución ³.

Centrífuga: Es un equipo que gira a muy alta velocidad y donde el cristal de azúcar se separa de la miel que lo rodea y mediante un lavado con agua caliente que tiene lugar dentro de la misma centrífuga, el cristal queda blanco y de aspecto brillante ³.

Color: Índice de atenuación, determinado por absorción de luz, bajo condiciones definidas. Generalmente se mide empleando el método ICUMSA a 420 nm ⁴.

Cristalización: Nucleación y crecimiento de los cristales ⁴.

Ingenio: Lugar donde se lleva a cabo la transformación de la sacarosa en cristales de azúcar ³.

Licor madre: Fase líquida remanente después de una cristalización ³.

Magma: Mezclas de cristales y sirope. Ocasionalmente también se usa como sinónimo de masa cocida ³.

Optimización: Es la acción de buscar la mejor manera de realizar una actividad ³.

Polarización (o Pol): Contenido de sacarosa aparentemente expresado como porcentaje de masa, medido a partir de la rotación óptica de luz polarizada al pasar por una solución azucarada ⁴.

Pureza: Representa el contenido de sacarosa expresado como porcentaje de la sustancia seca o el contenido de sólidos disueltos. Los sólidos comprenden el azúcar y no sacarosa tales como invertidos, cenizas y elementos colorantes ⁴.

Purga: Restos que se eliminan durante la centrifugación de la masa cocida de un cocinado completo, toda la cual se descarga desde el tacho ³.

Sacarosa pura: El compuesto químico puro C₁₂ H₂₂ O₁₁ que es conocido como azúcar blanco ⁴.

Sirope: El licor madre obtenido desde un proceso de cristalización. El sirope es separado de los cristales por centrifugación ³.

Sólidos disueltos: Todo material soluto que está en solución, incluyendo sacarosa, monosacáridos, cenizas y otras impurezas orgánicas ⁴.

Tacho: Evaporador al vacío usado en la industria azucarera para hervir y cristalizar el azúcar desde un licor o sirope ³.

Templa: Masa cocida de un cocinado completo, toda la cual se descarga desde el tacho ³.

Anexo 2

Las siguientes figuras son diagramas de los resultados que se obtuvieron, sirven para simular la estación de centrifugas y predecir qué es lo que pasará (en términos de color de azúcar, disolución de cristales y humedad del azúcar) al cambiar la cantidad de agua que se agrega en la estación de centrifugas en la etapa del lavado.

Figura 3

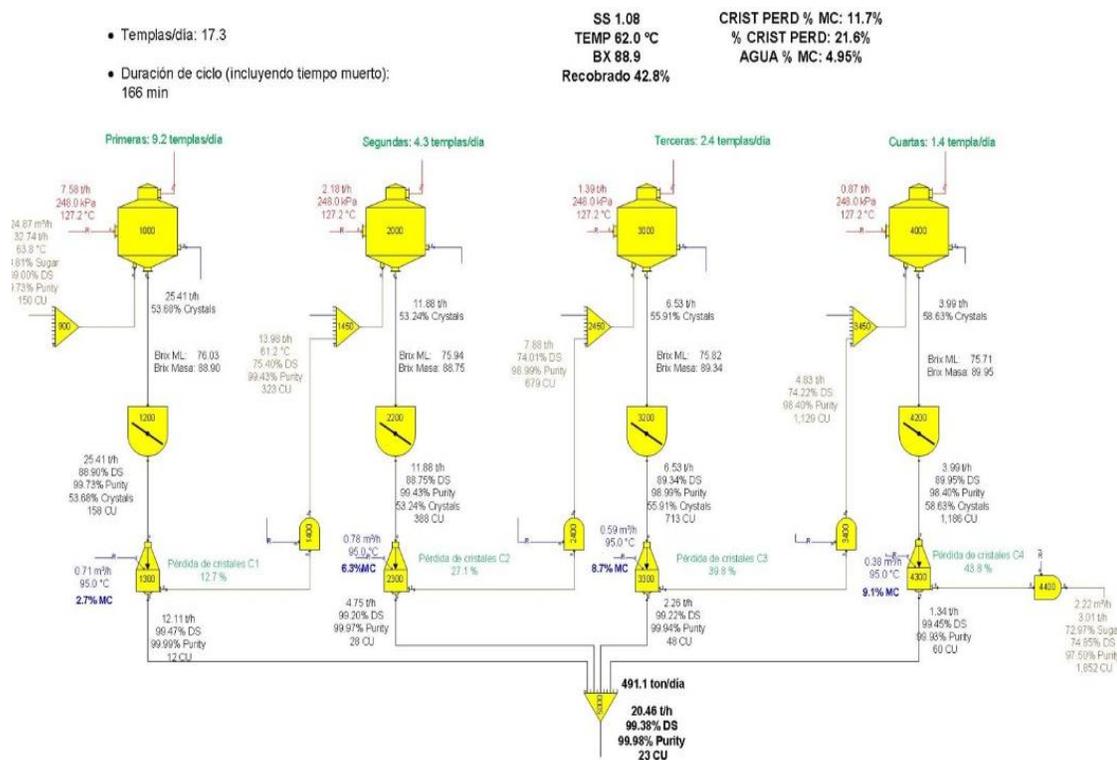
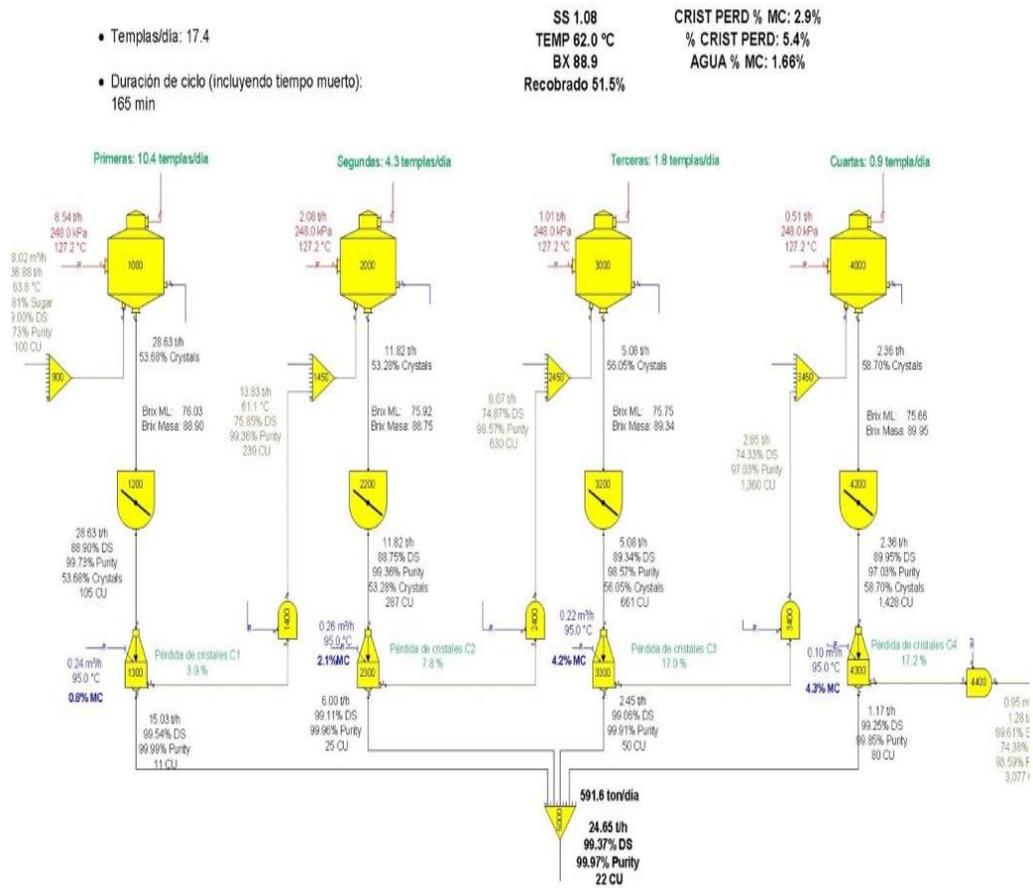


Figura 4.



Anexo 3



Imagen 1: Flujómetro en refinería



Imagen 2: Muestra de masa cocida



Imagen 3: Muestra de sirope



Imagen 4: Muestra de miel nutsch



Imagen 5: Muestra de azúcar

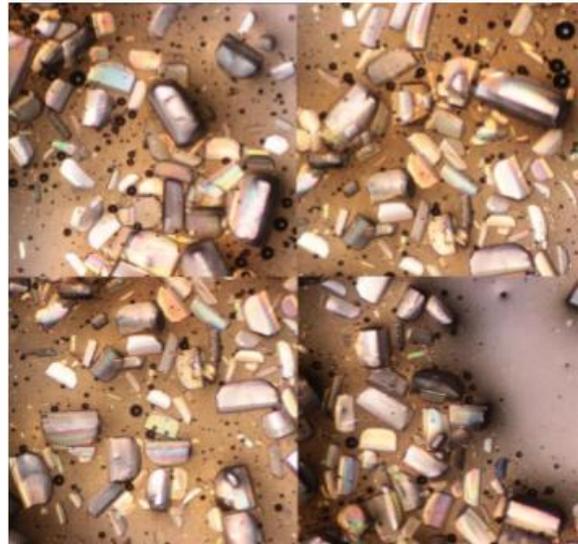


Imagen 6: Cristales de Azúcar

Anexo 4

[REDACTED] 20 de abril del 2017

A quien corresponda,

Por este medio hacemos constar que Rebeca Sariah Amaya Vásquez y Lorena Margarita Láinez Galán realizaron las pruebas para la optimización del uso de agua en el proceso de centrifugación en azúcar refinada a través de análisis fisicoquímicos en el laboratorio de fábrica [REDACTED] y que los resultados presentados en la monografía "Optimización del uso de agua en el proceso de centrifugación en azúcar refinada a través de sus análisis fisicoquímicos" corresponden a las mediciones realizadas.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julián Vélez'.

Julián Vélez

Ingeniero de Procesos

Bibliografía

1. DIRINGER Tim y BJAME Christian Nielsen. HIGHER EFFICIENCY OF THE CENTRIFUGAL STATION DUE TO OPTIMIZED SPRAY WATER CONTROL, BASED ON THE RESULTS OF INLINE COLOUR MEASUREMENT. [Documento en línea] [Sin fecha] [Consulta 23 de febrero 2017]. Disponible en: <http://assbtproceedings.org/ASSBT2015Proceedings/Sections%20D%20&%20F/Diringer,%20T.pdf>
2. CONACYT. Azúcares. Especificaciones En: *NSO 67.20.01:03* [Documento en línea] Norma Salvadoreña, 2003 [Consulta 16 de febrero 2017]. Disponible en: https://defensoria.gob.sv/images/stories/varios/NORMAS/AZUCAR/AZUCARES_ESPECIFICACIONES.pdf. Nota: Esta norma es una adaptación de la Norma CODEX STAN 4-1981. Azúcar Blanco.
3. BATULE, Eduardo. Serie azucarera 5, La refinación del azúcar de caña. En: *Enciclopedia Azucarera Batule* [Documento en PDF]. 2009. ISBN-9977-54-d56X.
4. REIN, Peter. *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlín: Elbe Druckerei Wittenberg, 2012. ISBN 978-3-87040-142-9.
5. RAMOS R, Aulio Alberto. *Procesos de Elaboración del Azúcar y Etanol de la caña*. Segunda edición, 2009. ISBN 958-33-3770-6.

6. HONING, Pieter. *Principios de Tecnología Azúcarera*. Nueva York: Compañía Editorial Continental, S.A., 1969. ISBN 1969-52-11015.
7. SPENCER, Guilford L. *Manual de Fabricantes de azúcar de caña y químicos azucareros*. Traducida por Constantino J BOURBAKIS. Séptima edición. New York: Jonh Wiley & Sons. 1918.
8. DINARTE Cañas, Carlos. *Historia del azúcar en El Salvador*. El Salvador: Kalina, 2009. ISBN. 99923-876-5-8.
9. VAN DER POEL, Pieter Willem, SCHIWECK Huber M. y SCHWARTZ Thomas K. *Sugar Techology*. Berlín: Bartens KG, 1998 ISBN. 3-87040-065-X.
10. CHEN, James C.D. *Manual del Azúcar de Caña*. México D.F.: Limusa, 1991. ISBN. 968-18-3662-6.