



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE ATLIXCO**

Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado de Puebla

**NOMBRE DEL TRABAJO
“COMPARATIVO DE LOS RENDIMIENTOS DE
CRISTALES EMPLEANDO NÚCLEOS CRISTALINOS
DE LÍNEA Y NÚCLEOS CRISTALINOS
PREPARADOS EN SITIO”.**

**OPCIÓN
TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO BIOQUÍMICO

P R E S E N T A:

HÉCTOR OBED MORALES MARTÍNEZ

ASESOR: Dra. JOHANA RAMÍREZ HERNÁNDEZ

ATLIXCO, PUE. OCTUBRE DE 2023

DEDICATORIA.

Dedico la presente Tesis a Dios, quien ha sido un guía espiritual en mis mejores y malos momentos, por brindarme las herramientas necesarias para lograr alcanzar una meta más en mi vida, siendo esto un paso importante para próximos proyectos u oportunidades para poder ejercer profesional y éticamente.

A mi adorada madre Cynthia Annet Martínez Córdova, por el gran amor, devoción, valor y fortaleza que tienes al entregar todo por cada uno de tus hijos, por ser un símbolo de resiliencia, por siempre brindarme tú ilimitado e incondicional amor, así como tú enorme apoyo, por siempre tener el coraje de levantarte y salir adelante sin importar las adversidades, por ser la mujer que me dio la vida, quien me ha enseñado los buenos valores, no hay palabras suficientes para describir lo extraordinaria que es mi hermosa madre y lo agradecido que estaré con ella en toda mi vida.

A mis amados hermanos Litzi Yanin Martínez Córdova y Yasid Isaid Martínez Córdova quienes han estado apoyándome constantemente, con quienes he compartido momentos maravillosos en esta vida, su llegada a mi vida dio un sentido único, un propósito que el día de hoy veo por fin realizado, gracias por siempre estar ahí para mí brindándome su amor y apoyo incondicional, ambos han servido de inspiración para superar mis metas, los amo demasiado hermanos.

A mi pequeño y amado sobrino Jayceon Eliann Martínez Córdova, eres la extensión más pura de mi hermana, una de las mujeres que más quiero en este mundo, gracias por brindar tú alegría, amor, ternura y sobre todo por brindar un nuevo sentido a mi vida

A mis queridos tíos Adriana Jiménez del Ángel, Juan de Dios César Martínez Córdova quienes han estado conmigo en todo momento, aportando a mi vida múltiples enseñanzas, sabios consejos, compartir conmigo buenos momentos, además de haberme cuidado y amado como a uno de sus hijos, siempre serán una parte importante en mi vida.

A mis primos Delsy Yanneth Martínez Jiménez, Iveth Guadalupe Martínez Jiménez y César Enrique Martínez Jiménez, por siempre estar a mi lado en mis mejores momentos, con quienes he compartido múltiples momentos de felicidad, su amor y apoyo incondicional ha sido fuente de fortaleza en mi vida, cada uno de ustedes ha dejado algo bueno en mí.

A Elena del Ángel Clemente por ser como una madre para mí, por sus múltiples cuidados, ser una gran consejera, las palabras no son suficientes para agradecer lo que ha hecho por mí.

A mis abuelos Héctor Martínez Martínez y Esperanza Córdova García por haberme cuidado y amado como a uno de sus hijos, por siempre alentarme a ser una mejor versión de mí, por haberme dado las herramientas necesarias para alcanzar mis metas, por haber hecho de mí una persona más fuerte.

A mi mejor amigo Miguel Ángel Vicente Pozo por siempre darme ánimos cuando más lo necesito, por siempre apoyarme y alentarme a ser una mejor persona, por ser mi confidente, es para mí un gran honor poder contar con tú amistad y cariño.

Finalmente dedico esta Tesis a uno de los músicos más importantes en la Industria Musical, la Dra. Taylor Alison Swift, su música me ha ayudado a sanar, a ser una persona resiliente y tener siempre en consideración a quienes me han apoyado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS.

Extiendo mi gratitud a la gran casa de estudios que es el Instituto Tecnológico Superior de Atlixco junto a los docentes que conforman la Academia de Ingeniería Bioquímica, principalmente a la Dra. Johana Ramírez Hernández por ser una excelente mentora, a la M.T.A Gabriela Guadalupe Bárcena Vicuña, así como la M.D.U. Gema Minutti Robles por sus grandes contribuciones para el desarrollo del presente trabajo.

A la empresa Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. por brindarme la experiencia laboral en el mundo de la industria de los alimentos que me servirá más adelante en mi formación profesional.

Al QFB. Juan Carlos Olivo Sánchez, quien es SUPPTE. (Superintendente) del Laboratorio de Fabrica y Control de Calidad, quien fue mi asesor durante mi estadía como practicante en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. su dedicación, paciencia, compromiso y múltiples conocimientos fueron parte fundamental para el desarrollo de este proyecto de investigación.

De igual forma extiendo mi más cordial agradecimiento a la gran casa de estudios que es el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, por haberme recibido como estudiante y ver mi crecimiento personal como estudiante.

Estoy totalmente agradecido con la Academia de Ingeniería Bioquímica conformada por extraordinarios docentes que se preocupan por la superación de sus alumnos y brindan un apoyo completo cuando el alumno se encuentra pasando por momentos vulnerables siendo la Ingeniero Heidi Anabel Jacome Sánchez quien es la actual Jefa de Carrera de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla una

de las docentes que en verdad se preocupa por sus estudiantes, brindando asesorías, también los siguientes docentes, el M.C. Oswaldo Castor Ortiz Zamora, el Lic. Leoncio Laíz Trujillo, el Dr. Gustavo Martínez Castellanos y la Ing. Aracely Romano García me brindaron su total apoyo, fueron grandes consejeros, amigos, en resumidas cuentas grandes maestros.

A la familia Arizpe Santos conformada por Honorio Santos Muñoz, Genoveva Santos Mendoza y Honorio Smith Arizpe Santos por brindarme su constante apoyo durante el proceso de titulación, sin sus palabras de aliento y constante motivación esto no habría sido posible.

A la familia Olivos Rojas conformada por Celina Rojas Romero, Anahí Romero Rojas, Jessica Olivos Rojas, Omar Olivos Rojas y Brenda Olivos Rojas, por haberme recibido en su hogar, por ser un hombre para mí en todo momento, por cuidarme, brindarme su cariño, no hay palabras suficientes para agradecer lo mucho que han aportado a mí vida, son una parte importante en mi vida, es y será un honor para mí haberles conocido.

Finalmente a mis queridos amigos quienes han aportado gratas experiencias académicas, así como personales, por haber sido un hombre, un consejero, un hermano(a), las experiencias vividas con ustedes han sido extraordinarias, muchas gracias a Edith Betsabé Hernández García, Nuvia Alin Pérez Salazar, Eric Jesús Palomo Canché, Jesús David Fuentes Galeno, Luis Armando Hernández Aguilar, Brenda Olivos Rojas, Honorio Smith Arizpe Santos, Jhoany Guadalupe Álvarez Leyva, María Fernanda Tepox Meléndez, Calos Arellano Coyotl, Uriel García Morales y Daniel Moisés Bautista Peláez, les aprecio demasiado.

RESUMEN.

El tipo de semillamiento en el sistema de cocimiento debe garantizar la introducción de un número de cristales bastante alto para que la sacarosa contenida en la miel de las plantas tenga suficientes núcleos donde fijarse, evitando en todo momento llegar a zonas de sobresaturación lábil en donde existe la posibilidad de formación espontánea de cristales. Se requiere tomar una decisión certera sobre la cantidad de kilogramos de slurry que se deben suministrar a los tachos ya que este punto es crucial para lograr un adecuado agotamiento y garantizar una excelente calidad de azúcar.

En el presente trabajo se menciona el proceso que se lleva a cabo para la elaboración de azúcar estándar que Industrial Azucarera Atencingo produce anualmente. Actualmente, el Ingenio Atencingo es el encargado de producir su propio núcleo cristalino, siendo uno de los pocos ingenios azucareros que realiza este proceso.

El tipo de ensemillado que se realiza en este ingenio es mediante el semillamiento completo en los tachos de C, la mezcla de núcleos cristalinos parte de un balance entre el cristal base y el alcohol isopropílico. La técnica de este tipo de ensemillamiento da como resultado una correcta operación de elaboración de plantas dando como resultado un óptimo rendimiento en las plantas de C, B y A evitando la formación de cristales falsos, garantizando la sobresaturación del alcohol isopropílico, el vacío en el cuerpo del tacho, así como la temperatura de calentamiento, para evitar la pérdida de tiempo de trabajo útil aprovechando al máximo la capacidad de los equipos empleados en el área de Elaboración y Cristalización dentro del ingenio.

El rendimiento de los cristales en las distintas plantas se obtiene mediante el cálculo de las Purezas de la Masa Cocida correspondiente a cada planta (C, B y A) y Miel (B y A), pero distintos factores pueden repercutir en el rendimiento siendo principalmente el incumplimiento de los parámetros de cada tacho.

ABSTRACT.

The type of seeding in the cooking system must guarantee the introduction of a high enough number of crystals so that the sucrose contained in the honey from the temples has enough nuclei where it can be fixed, avoiding at all times reaching areas of labile supersaturation where it exists. the possibility of spontaneous crystal formation. It is necessary to make an accurate decision on the amount of kilograms of slurry that should be supplied to the bins, since this point is crucial to achieve adequate exhaustion and guarantee excellent sugar quality.

In the present work the process that is carried out for the elaboration of standard sugar that Industrial Azucarera Atencingo produces annually is mentioned. Currently, the Atencingo Sugar Mill is in charge of producing its own crystalline nucleus, being one of the few sugar mills that carry out this process.

The type of seeding that is carried out in this mill is through complete seeding in C pans, the mixture of crystalline nuclei is based on a balance between the base crystal and isopropyl alcohol. The technique of this type of seeding results in a correct tempering operation, resulting in optimal performance in the C, B and A tempers, avoiding the formation of false crystals, guaranteeing the supersaturation of the isopropyl alcohol, the vacuum in the body of the pan, as well as the heating temperature, to avoid the loss of useful work time, making the most of the capacity of the equipment used in the Processing and Crystallization area within the mill.

The yield of the crystals in the different tempers is obtained by calculating the Purities of the Masecuite corresponding to each temper (C, B and A) and Honey (B and A), but different factors can affect the yield, being mainly non-compliance with the parameters of each bin.

ÍNDICE.

ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. HIPÓTESIS.....	2
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	3
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1. CAÑA DE AZÚCAR.....	6
3.1.1. TAXONOMÍA DE LA CAÑA.....	7
3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA.....	8
3.1.2.1. MORFOLOGÍA.....	8
3.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE LOS CAÑALES.....	9
3.1.3.1. FACTORES HUMANOS.....	10
3.1.3.2. FACTORES AGRONÓMICOS.....	10
3.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL AZÚCAR.....	11
3.2.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR. ...	11
3.3. EL AZÚCAR.....	12

3.4. AZÚCAR ESTÁNDAR.....	13
3.4.1. ESPECIFICACIONES.....	14
3.4.1.1. FISICOQUÍMICAS.....	14
3.4.1.2. MICROBIOLÓGICAS.....	15
3.4.1.3. SENSORIALES.....	15
3.5. PROCESO DE CRISTALIZACIÓN DEL AZÚCAR.....	15
3.5.1. EQUIPOS.....	16
3.5.1.1. TACHOS.....	16
3.5.1.2. CENTRÍFUGA.....	18
3.5.1.3. MOLINO DITMAR.....	19
3.5.2. SOLUBILIDAD Y SOBRESATURACIÓN.....	20
3.5.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SOBRESATURACIÓN.....	21
3.5.3. SEMILLAMIENTO.....	23
3.5.4. NUCLEACIÓN Y CRECIMIENTO DE CISTALES.....	24
3.5.4.1. CRECIMIENTO DE CRISTAL.....	25
3.5.4.1.1. TAMAÑO DE CRISTAL.....	27
3.5.4.1.2. MEDICIÓN DEL TAMAÑO DE CRISTALES.....	28
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.....	29
4.1. DESARROLLO DEL PROCESO DE AZÚCAR ESTÁNDAR EN INDUSTRIAL AZUCARERA ATENCINGO S.A. DE C.V.....	29
4.1.1. DIAGRAMA DE FLUJO: PROCESO DE AZÚCAR ESTÁNDAR...29	
4.1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR ESTÁNDAR EN INDUSTRIAL AZUCARERA ATENCINGO S.A. DE C.V.....	31
4.1.1.1.1. BATEY (RECEPCIÓN Y PREPARACIÓN DE CAÑA).....	31

4.1.1.1.2. EXTRACCIÓN (Molinos).....	31
4.1.1.1.3. FILTRACIÓN DE JUGO MEZCLADO.	32
4.1.1.1.4. PESADO DEL JUGO.....	32
4.1.1.1.5. PRIMER CALENTAMIENTO DE JUGO.	32
4.1.1.1.6. LECHADA DE CAL.	33
4.1.1.1.7. ALCALIZADO DE JUGO.....	33
4.1.1.1.8. SEGUNDO CALENTAMIENTO DE JUGO (95° - 105) °C.....	33
4.1.1.1.9. DILUCIÓN DEL FLOCULANTE.	33
4.1.1.1.10. CLARIFICACIÓN DEL JUGO.....	33
4.1.1.1.11. FILTRACIÓN DE JUGO CLARO.....	34
4.1.1.1.12. EVAPORACIÓN.....	34
4.1.1.1.13. CRISTALIZACIÓN.....	35
4.1.1.1.14. CENTRIFUGACIÓN.....	35
4.1.1.1.15. TRANSPORTE A SECADO.....	36
4.1.1.1.16. CALENTAMIENTO DE AIRE.....	36
4.1.1.1.17. FILTRACIÓN DE AIRE.....	36
4.1.1.1.18. SECADO.....	36
4.1.1.1.19. FUNDICIÓN DE GRANZA.....	37
4.1.1.1.20. TANQUE DE AGUA DULCE.....	37
4.1.1.1.21. SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS FERROSAS.....	37
4.1.1.1.22. CRIBADO.....	37
4.1.1.1.23. PARRILLAS MAGNÉTICAS AUTO LIMPIABLES.....	38
4.1.1.1.24. PESADO DE AZÚCAR SECO.....	38
4.1.1.1.25. ENVASE.....	38
4.1.1.1.26. COSTURADO.....	38

4.1.1.1.27. TRANSPORTE A BODEGA.	38
4.1.1.1.28. ALMACENAMIENTO PRODUCTO TERMINADO (Bodega). ...	39
4.1.1.1.29. FUNDICIÓN (Reprocesado).	39
4.1.1.1.30. DISTRIBUCIÓN.	39
4.1.1.1.31. SERVICIOS AUXILIARES.	40
4.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN EN INDUSTRIAL AZUCARERA ATENCINGO S.A. DE C.V.	42
4.1.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DEL ENSEMILLAMIENTO DEL NÚCLEO CRISTALINO PARA 4 PIES DE TEMPLA DE C EN EL TACHO NO. 11 Y SU PARTICIÓN AL GRANERO DE C O AL TACHO NO. 12.	43
4.1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ENSEMILLAMIENTO DEL NÚCLEO CRISTALINO PARA 4 PIES DE TEMPLA DE C EN EL TACHO NO. 11 Y SU PARTICIÓN AL GRANERO DE C O AL TACHO NO. 12.	44
4.1.3.1.1. LABORATORIO DE FÁBRICA.	44
4.1.3.1.2. MOLINO DITMAR.	45
4.1.3.1.3. TACHOS.	47
4.2. TAMIZADO.	50
4.3. TACHOS. DE C.	52
4.3.1. ENSEMILLAMIENTO.	55
4.3.2. NÚCLEOS CRISTALINOS.	57
CAPÍTULO V. RESULTADOS.	59
5.1. RENDIMIENTO DE CRISTALES EN LAS TEMPLAS DE C, B Y A.	60
5.1.1. TEMPLAS DE C.	63
5.1.2. TEMPLAS DE B.	66
5.1.3. TEMPLAS DE A.	69
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77

6.1. CONCLUSIÓN.....	77
6.2. RECOMENDACIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Caña de Azúcar. (SADR, 2020)	6
Figura 2. Proceso de crecimiento de la caña. (YARA, 2019)	7
Figura 3. Morfología de la caña. (AgroKrebs, 2020).....	9
Figura 4. Diagrama de flujo de la Elaboración de Azúcar. (González, 2017)	12
Figura 5. Estructuras de la Sacarosa (Badui, 2006).....	13
Figura 6. Tachos empleados para el proceso de Cristalización en el área de Elaboración. (Morales, 2022)	17
Figura 7. Esquema funcional del Tacho Cristalizador. (Mulet, and et. al., 2016).....	18
Figura 8. Centrífugas de C. (Morales, 2022)	19
Figura 9. Solubilidad de la sacarosa pura en agua en función de la temperatura. (Rein, 2012).....	21
Figura 10. Representación de difusión y reacción superficial durante la cristalización. (Rein, 2012).....	26
Figura 11. Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración del Azúcar Estándar en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. (IAA, 2022)	30
Figura 12. Diagrama de Flujo del Proceso de Cristalización en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. (IAA, 2022).....	42
Figura 13. Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración de Ensemillamiento de los Núcleos en los Tachos No. 11 y 12 en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. (IAA, 2022)	43
Figura 14. Azúcar Refina Potrero. (Morales, 2022)	50
Figura 15. Tamices empleados para obtener la muestra de cristal idónea. (Morales, 2022)	51
Figura 16. Tamizador. (Morales, 2022)	51
Figura 17. Bolsas de azúcar glass empleadas para la elaboración de núcleos cristalinos. (Morales, 2022)	52
Figura 18. Tacho No. 11. (Morales, 2022).....	53
Figura 19. Tacho No. 12. (Morales, 2022).....	53

Figura 20. Preparación de núcleos cristalinos elaborados en sitio por el Tachero de turno. (Morales, 2022)	56
Figura 21. Ensemillamiento de los núcleos cristalinos en el Tacho No. 11 (Morales, 2022)	56
Figura 22. Tachero de turno observando la muestra de Masa Cocida de C. (Morales, 2022)	57
Figura 23. Análisis Digital de los núcleos cristalinos. (Morales, 2022)	58
Figura 24. Semilla de núcleos cristalinos presentes en el Tacho 11. (IAA, 2021)	59
Figura 25. Semilla de núcleos cristalinos presentes en el Tacho 12. (IAA, 2021)	59

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Taxonomía de la Caña de Azúcar. (SAGARPA, 2015).....	8
Tabla 2. Máxima solubilidad de la sacarosa (disacárido) en g/100g _{Agua} a diferentes Temperaturas. (Badui, 2006).....	13
UI: Unidades ICUMSA	N.A.: No Aplica
Tabla 3. Parámetros Fisicoquímicos del Azúcar Estándar. (DOF, 2004)	14
Tabla 4. Parámetros Microbiológicos del Azúcar Estándar. (DOF, 2004).	15
Tabla 5. Parámetro Sensorial del Azúcar Estándar. (DOF, 2004).....	15
Tabla 6. Parámetros requeridos para el Tacho 11. Elaboración de Templa de 4 pies. (IAA, 2022)	54
Tabla 7. Parámetros requeridos para el Tacho 12. Elaboración de Templa de 2 pies. (IAA, 2022)	55
Tabla 8. Consumo de Núcleos Cristalinos de línea en la temporada de Zafra (noviembre 2021 - abril 2022). (IAA, 2021)	60
Tabla 9. Consumo de núcleos cristalinos en los primeros 10 días de Zafra (2022 - 2023)	61
Tabla 10. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templos de C, B y A. en la Zafra 2021 - 2022. (IAA, 2021).....	62
Tabla 11. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templos de C. (IAA, 2021)	64
Tabla 12. Promedio de los Rendimientos de Cristales en las Templos de C empleando los núcleos cristalinos de sitio y línea.....	64
Tabla 13. Línea de Tendencia en Templos de C.....	65
Tabla 14. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templos de B. (IAA, 2021)	67
Tabla 15. Promedio de los Rendimientos de Cristales en las Templos de B empleando los núcleos cristalinos de sitio y línea.....	67
Tabla 16. Línea de Tendencia en Templos de B.....	68

Tabla 17. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templas de A. (IAA, 2021)	70
Tabla 18. Promedio de los Rendimientos de Cristales en las Templas de A empleando los núcleos cristalinos de sitio y línea.....	71
Tabla 19. Línea de Tendencia en Templas de A.....	71
Tabla 20. Comparación del Rendimiento de Núcleos Cristalinos empleados por mes durante la Zafra.....	73

INTRODUCCIÓN.

En la última década la producción de azúcar proveniente de la caña ha incrementado considerablemente posicionándola como una de las agroindustrias más importantes a nivel mundial teniendo un incremento en la tasa promedio del 1.2%. al pasar de 154.4 mdt en 2008/09 a 174.3 mdt en el ciclo 2018/19 de acuerdo con (FIRA, 2019).

En México la agroindustria de la caña de azúcar cumple un rol importante ya que impulsa la economía en el país generando ingresos aproximados entre 40 a 50 mdp, cultivando así alrededor de 800 mil hectáreas en 15 estados de la república mexicana, en la actualidad operan 49 ingenios azucareros que se abastecen por más de 170 mil productores agrícolas (SADR, 2021). Dicha agroindustria no solo abarca la industrialización, también da un valor agregado a la producción primaria de la caña de azúcar, así como la producción de subproductos como bioinsecticidas, biofertilizantes generados a partir del bagazo, cabe mencionar que este también es empleado para la co-producción de papel, cartón, tableros, compostas y las cenizas siendo esta última un tratamiento del suelo reduciendo la proliferación de plagas o enfermedades que repercuten considerablemente a la calidad de la caña. (IAA, 2022)

El proceso de elaboración de azúcar estándar es altamente complejo debido a las distintas etapas por las cuales el jugo de caña es sometido para posteriormente obtener los cristales de sacarosa como resultado final.

La cristalización cumple un rol importante en el proceso de la agroindustria azucarera siendo este uno de los procesos donde los parámetros deben cumplirse para evitar dispersión en la determinación del tamaño del cristal (DTC) afectando la estructura geométrica del mismo (Perry and et. al., 2008), la finalidad es obtener un tamaño del cristal o grano totalmente uniforme evocando así en la reducción de costos operativos.

Este proceso puede derivar en diversos subgrupos como la preparación de monocristales, cristales en masa, cristalización de sacarosa, entre otros, no obstante, los mencionados anteriormente cumplen el mismo proceso (ensemillamiento,

nucleación, crecimiento, presencia de cambios que repercuten su estructura) (Bolaños, 2000). Las propiedades del producto deseado (cristal) están directamente relacionados con la solubilidad, de igual forma con la sobresaturación, el equipo a emplear (tipo de cristalizador) y las fases líquido-sólido por las cuales el jugo de caña va a pasar.

La función de estos cristales es servir como núcleos hacia donde la sacarosa migrará para iniciar la estructura de los cristales. El tamaño de la partícula, así como la uniformidad de los cristales obtenidos es importante, pues una adecuada preparación de la semilla contribuye a la disminución de la formación de falso grano, obtención de cristales de azúcar más uniformes y por ende menos pérdidas de sacarosa en miel final, así como menos obstrucciones de las rejillas de las centrifugas durante la separación. Por eso es primordial contar con una metodología confiable para determinar el tamaño y uniformidad de los cristales obtenidos, puesto que a partir de ello se calcula la cantidad de semilla a utilizar en el proceso de nucleación (semillamiento) en la cristalización, y se pueden obtener tamaños de cristales finales predeterminados tal y como lo establece la NMX-084-SCFI-2004

CAPÍTULO I.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente, varias industrias producen un tamaño de cristal de azúcar que infringe con las especificaciones de calidad requeridas incrementando así su costo de producción, para ello se requiere que el proceso de elaboración de la semilla de caña de azúcar tenga una técnica más efectiva esto dará como resultado una estabilidad del cristal, se evitará un producto no conforme y aunado a esto se brindará al ingenio un ahorro económico pues dejará de depender de los proveedores.

La etapa de la cristalización es conocida como el proceso más importante en la obtención del producto final (azúcar estándar), siendo su principal función la producción uniforme y eficaz del cristal de azúcar. También es conocido que este proceso puede llegar a dar como resultado una variabilidad considerable de la calidad del cristal afectando así a la DTC (determinación de tamaño del cristal) en el producto final. La sobresaturación es uno de los parámetros importantes durante el cristalizado del azúcar, esto determinará la calidad y rendimiento del producto final, así como el costo de producción y rentabilidad del Ingenio Azucarero.

1.2. OBJETIVO GENERAL.

- Comparar el rendimiento de los núcleos cristalinos elaborados en el ingenio azucarero (Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.) con los núcleos cristalinos del proveedor mediante los datos obtenidos en la zafra de 2021 con la finalidad de reducir costos de producción a la empresa.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Describir el proceso de elaboración de los núcleos cristalinos.
- Comparar los rendimientos de cristales empleando los núcleos cristalinos de sitio y línea en el periodo de Zafra 2021 – 2022.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

En Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. se realizó la formación de núcleos cristalinos a partir del proceso del tamizado (granulometría) del azúcar glass dando como resultado mediante el proceso de cristalización el grano de azúcar estándar que se comercializa en México, la empresa requiere comprar los núcleos cristalinos para la obtención de materia prima (azúcar). Se analizarán los resultados obtenidos de los núcleos cristalinos de la zafra anterior correspondiente al año 2021 con los datos proporcionados por el proveedor tomando en cuenta una serie de parámetros que influyen en la formación de los núcleos determinando así si los núcleos elaborados en el ingenio azucarero son de una mejor calidad para la obtención del producto final, lo que generará un impacto económico al ingenio.

1.4. HIPÓTESIS.

Si el rendimiento de los núcleos cristalinos preparados en sitio es mayor de acuerdo con la normativa vigente en comparación con los núcleos cristalinos de línea puede ser benéfico para la empresa, al reducir costos de compra con proveedores produciendo sus propios cristales cuidando su proceso, maximizando ganancias, además de incrementar el rendimiento y limitando la operación en el punto crítico de control, cuidando la calidad durante todo el proceso.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.

Durante el año de 1936, W. H. Alewijn (colaborador de la Java Sugar Experiment Station "JSES") elaboró una propuesta de una técnica para la formulación de una semilla que consiste en preparar el núcleo cristalino mezclando 25 g de azúcar refinada con 90 ml de un alcanos dentro de un molino de bolas que contiene un aproximado de 600 balines de 4 mm de diámetro, este molino gira a 75 rpm a un tiempo estimado de 12 a 24 horas obteniendo así una semilla con un tamaño en particular siendo este de 3 μm ; a partir de esta propuesta la técnica comenzó a replicarse en los ingenios azucareros a nivel mundial teniendo en cuenta que se le podrían implementar cambios y mejoras al mismo. (Honig, 1982)

A partir de 1993 las primeras formulaciones (pruebas) se llevaron a cabo empleando el isopropanol como suspensión como nueva técnica de elaboración de semilla que se llevaron a cabo en el Instituto del Azúcar de Braunschweig siendo este método publicado 4 años más tarde (1997) donde se elaboró una suspensión comercial que lleva por nombre Seed Crystal Fondant SCF, el método de preparación se rige mediante técnicas comparables con respecto a la molienda empleando isopropanol haciéndolo superior en la disposición de la sacarosa. Las características del tamaño del cristal son reducidas teniendo aproximadamente 7 μm , un número específico de cristales de aproximadamente 2×10^{10} /g de masa, cuenta con una distribución uniforme de estas medidas con presencia de conglomerados sustancialmente inferiores al 10%. (Van der Poel, 1998)

Un año más tarde Van der Poel presenta un cambio en la técnica empleada en el Instituto del Azúcar de Braunschweig, consiste con emplear 2.2 litros de isopropanol por 1 Kg de azúcar que presente un tamaño en el cristal de 0.2 a 07 (mm) libre de impurezas, se continúa empleando el molino de bolas reduciendo las horas de uso

siendo a 4 horas, también añade una etapa de maduración a la semilla agregando a la mezcla un contenido de agua del isopropanol cuatro semanas antes de emplearse para el ensemillamiento siendo esto un factor importante dando como resultado un 35% de presencia de cristales, presentando un diámetro uniforme de 10 μm y la conglomeración es inferior al 10%, en resumen, el número de cristales es de $1.2 \times 10^9/\text{g}$ de semilla. (Van der Poel, 1998) A partir de la modificación de la elaboración de la semilla o núcleo cristalino, dicha técnica se empezó a replicar dando como resultado un mayor agotamiento de las mieles empleadas en los tachos para mantener un mejor control en la cristalización, obteniendo una distribución y tamaño del grano de azúcar más uniforme reduciendo los niveles de pérdidas durante el proceso.

En el año 2006 un estudio realizado por (Ninela and et. al, 2006), compara las purezas de las mieles de 5 ingenios, resalta que se deben hacer mejoras continuas para beneficiar los rendimientos de cristales partiendo con la preparación de la semilla. Presenta un indicador de semillamiento de 20 cm^3 de semilla/ m^3 de masa C, como estándar para obtener cristales con un ancho recomendado de 120 μm .

El ingenio la Unión publicó un estudio realizado en el año 2011 llevado a cabo por (Bautista and et. al., 2011), evaluaron los resultados obtenidos a partir de tres métodos distintos para elaborar una semilla que diera como resultado un mejor rendimiento de cristales, las técnicas aplicadas fueron las siguientes (cristal 600, cristal Fondant y semilla obtenida por molienda), a su vez también se evaluaron cual producto final presentaba una mejor calidad basándose en el tamaño promedio del cristal, así como del coeficiente de variación, se determinó de igual forma que el molino de bolas horizontal produce una mejor semilla operando 8 horas con 800g de azúcar con 2 litros de alcohol etílico, con este método implementado lograron aumentar el tamaño del cristal de azúcar iniciando con 4.07 μm a 6 μm , disminuyendo el CV 83.45% a 32.25% (López, 2014) llevó a cabo un Análisis de agotamiento de miel final en Ingenios de Guatemala: Métodos para hacer semillas, análisis cristalográfico y variables de

agotamiento” realizando procesos de ensemillamiento completos demostrando así el incremento de cristales de azúcar glass en suspensión por cada 1000 pies³ de masa C, mostrando así la variación que existía en el ensemillamiento en los tachos de C.

Los fenómenos termodinámicos, así como cinéticos influyen directamente en la formación, distribución de tamaño de cristal de sacarosa son la nucleación, el crecimiento, aunque la rotura y aglomeración de los cristales pueden tener gran importancia en algunos sistemas (Bernal, 2020), el ensemillamiento se da mediante la inducción de los núcleos cristalinos en los tachos para iniciar la nucleación. En la actualidad el implemento de núcleos cristalinos se obtiene mediante proveedores que se encargan de elaborar una semilla (slurry) de buena calidad siendo de buena importancia para cumplir con una correcta operación. (Rosales, and et. al., 2017)

En la actualidad los ingenios azucareros en distintas partes del mundo han replicado la técnica del ensemillamiento completo, se tienen reportes que ha habido pruebas empleando otro tipo de ensemillamiento inducido o natural), en el Ingenio Azucarero de Atencingo se comenzó a emplear el ensemillamiento completo a partir de la elaboración del núcleo cristalino elaborado en sitio empezando en la Zafra (2021-2022).

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.

3.1. CAÑA DE AZÚCAR.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) llegó a México en la época de la Colonia; su primera plantación tuvo lugar en el estado de Veracruz, entidad que actualmente sigue ocupando el primer lugar con más de la tercera parte de la producción nacional. Se utiliza principalmente para la obtención de azúcar, pero también se emplea como abono, alimento animal o bien para la fabricación de papel. El jugo de caña de azúcar, otro derivado, se emplea en la elaboración de alcohol industrial y de bebidas alcohólicas. (SADR, 2020)



Figura 1. Caña de Azúcar. (SADR, 2020)

A la caña de azúcar se le considera una de las fuentes energéticas más económicas para el hombre, y uno de los cultivos con mayor capacidad para convertir la energía solar en biomasa. Sus variedades son: criolla, cristalina, violeta y veteada. (SADR, 2020)

El tallo de la caña de azúcar se considera un fruto agrícola, ya que en él se distribuye y se almacena azúcar, posee aproximadamente 75% de agua y está formada por nudos y entrenudos. Se cultiva principalmente para la producción de azúcar, aunque también se convierte en materia prima para la fabricación de papel, cemento, abonos y alimento animal, con ella se pueden producir bebidas alcohólicas destiladas.

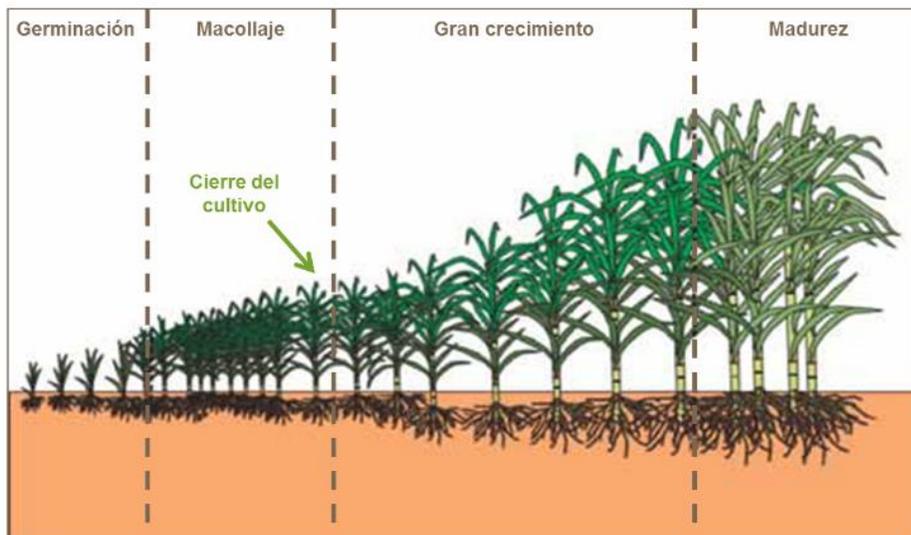


Figura 2. Proceso de crecimiento de la caña. (YARA, 2019)

La importancia de la caña radica en que es la materia prima de la industria azucarera, con un consumo per cápita promedio al año 36.7 kg de azúcar; la Ley de Desarrollo Rural Sustentable identifica a la caña como un cultivo básico del país. Se ubica como uno de los 10 cultivos más consumidos por las familias mexicanas, cuyo gasto en productos derivados de la caña de azúcar representa el 0.5% del gasto total de alimentos, bebidas y tabaco. (GOB, 2018).

3.1.1. TAXONOMÍA DE LA CAÑA.

Botánicamente la caña tiene la presente clasificación mostrada en la Tabla 1, tal como lo menciona (SAGARPA, 2015).

TAXONOMÍA	
División	Magnolophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Andropogoneae
Genero	Saccharum
Especie	<i>S. officinarum L</i>

Tabla 1. Taxonomía de la Caña de Azúcar. (SAGARPA, 2015)

3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA.

3.1.2.1. MORFOLOGÍA.

- Tallo: Macizo, cilíndrico (5 – 6 cm de diámetro), alargado (altura de 2 a 5 m) y sin ramificaciones. La caña tiene una riqueza en sacarosa del 14% aprox.
- Raíz: El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo.
- Hoja: Larga, delgada y plana. Recubiertas por pequeñas vellosidades con numerosas aperturas estomáticas.
- Inflorescencia: Para que aparezca la inflorescencia es necesario que se den una serie de condiciones de edad, fertilización, fotoperiodo, temperatura y humedad adecuadas.

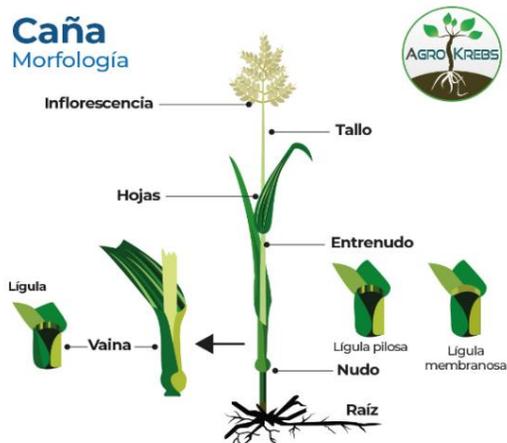


Figura 3. Morfología de la caña. (AgroKrebs, 2020)

3.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE LOS CAÑALES.

La caña es un cultivo tropical de larga duración, por lo que es factible que se desarrolle en cualquier época del año. Teniendo en cuenta lo mencionado por (García, 2015) los componentes del clima que afectan de manera más significativa el crecimiento y desarrollo del cultivo son la humedad del suelo, la luminosidad, temperatura, entre otros como, por ejemplo:

- Temperatura: La fluctuación de temperatura mayor a 8 °C (19 a 35 entre el día y la noche es muy importante porque ayuda a formar y concentrar sacarosa.
- Precipitación anual: 1500 a 1800 milímetros es suficiente para suplir las necesidades del cultivo.
- Altitud (msnm). 600 - 1500; se siembra desde 0 hasta 1800 msnm.
- Humedad relativa (%). Se estima entre 80 a 85 para que el crecimiento vegetativo de la caña de azúcar sea más rápido es necesario que la humedad relativa sea alta. En caso contrario, y si además los riegos son deficitarios, la planta tenderá a madurar.
- Vientos. Moderados para evitar volcamiento.

- Luz. Necesita grandes cantidades de luz para la germinación, crecimiento y desarrollo.
- Suelos. Fácilmente penetrables, con buen drenaje, estructura granular, textura suelta o arcillosa y buen contenido de materia orgánica. En suelos demasiado compactos la caña no se desarrolla satisfactoriamente, mientras que en suelos sueltos y ricos en materia orgánica crece bien, pero con niveles altos de susceptibilidad al volcamiento.

3.1.3.1. FACTORES HUMANOS.

Los factores humanos están relacionados con las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) ya que inciden de manera positiva o negativa sobre la productividad del sistema de producción que va desde la preparación de la tierra hasta su cosecha, de forma directa o indirecta motivando o inhibiendo la inversión de recursos o aplicación de técnicas agrícolas. Como ejemplo tenemos la tenencia de la tierra, influencia de la política agrícola, tendencia del mercado, otorgamiento y liberación de créditos, disponibilidad de mano de obra, fluctuación de los precios de compra y venta de los productos, entre otros. (SAGARPA, 2015)

3.1.3.2. FACTORES AGRONÓMICOS

Los factores agrónomos están relacionados mediante prácticas de manejo que se hayan generado, adoptado a las condiciones específicas para el sitio de interés (terreno destinado para sembrar), entre ellas destacan el uso de variedades mejoradas, métodos de manejo del agua ya sea de riego o para conservar la humedad en secano (temporal), control fitosanitario (plagas, enfermedades y malezas), labranza, uso de insumos (químicos u orgánicos), fertilización, entre otros. (SAGARPA, 2015)

3.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL AZÚCAR.

El proceso para obtener azúcar consiste en nueve pasos: corte de la caña, molienda, generación de vapor, calentamiento, clarificación, filtración, evaporación, cristalización, evaporado y secado.–Posteriormente se procede a la refinación; aquí ocurre la separación de sólidos, alcalización, clarificación, decoloración, filtración, evaporación, cristalización, centrifugado y finalmente se seca por medio de corrientes de aire, así el azúcar queda listo para empacarse y salir a la venta. De este proceso se obtienen cuatro tipos de azúcar: mascabado, estándar, refinado y blanco. (SADR, 2019)

3.2.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR.

El proceso de transformación de la caña a azúcar de acuerdo con (González, 2017) es el siguiente:

- Recepción de la materia prima.
- Molienda.
- Extracción
- Alcalización
- Calentadores.
- Clarificación.
- Evaporación
- Cristalización.
- Centrifugación.
- Secado.
- Envasado

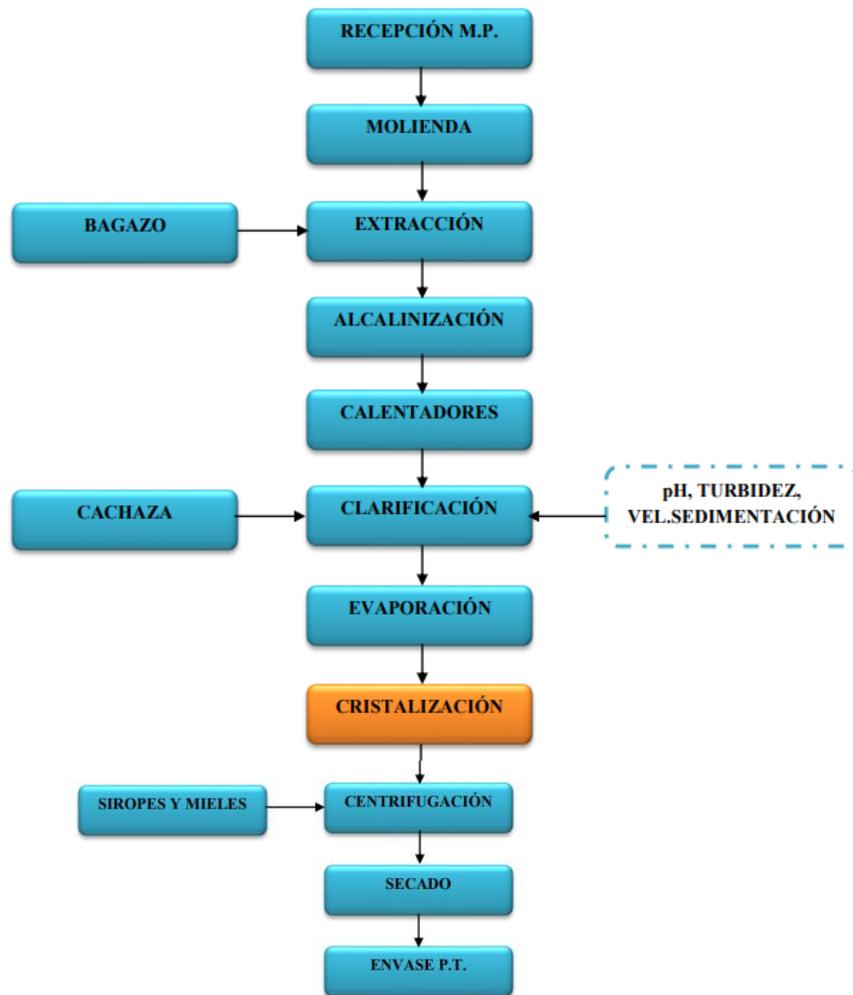


Figura 4. Diagrama de flujo de la Elaboración de Azúcar. (González, 2017)

3.3. EL AZÚCAR.

La sacarosa (β -D-fructofuranosil-a-D-glucopiranososa) compuesta por glucosa (dextrosa) y fructosa (levulosa) llamada comúnmente “azúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$). Este edulcorante tiene la cualidad de cristalizar siempre y cuando los parámetros como el tiempo, presión, temperatura, pH, grados Brix se cumplan a diferencia de la fructosa y glucosa. Es considerado el químico orgánico más abundante en el mundo, una de sus propiedades es su nivel alto de solubilidad, una gran capacidad de hidratación parte de estas características hacen que se emplee en la elaboración de diversos alimentos,

la dicha solubilidad se mostrará en la Tabla 2. Máxima solubilidad de la sacarosa (disacárido). (Badui, 2006)

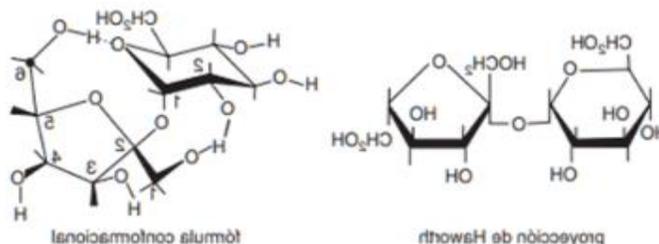


Figura 5. Estructuras de la Sacarosa (Badui, 2006)

Solubilidad de la sacarosa (disacárido) en g/100g _{Agua} .	
°C	Sacarosa
0	179.2
15	197.0
25	211.4
40	238.1
80	362.1
100	487.2

Tabla 2. Máxima solubilidad de la sacarosa (disacárido) en g/100g_{Agua} a diferentes Temperaturas. (Badui, 2006)

3.4. AZÚCAR ESTÁNDAR.

Es el producto sólido obtenido por el proceso de la cristalización de la sacarosa presente en la caña en forma líquida (jugo), constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa, en una concentración mínima de 99,40 % de polarización. (DOF, 2004)

3.4.1. ESPECIFICACIONES.

La NMX-084-SCFI-2004 es empleada para azúcar estándar, menciona que la industrialización de materia prima de calidad aplicando técnicas adecuadas durante su proceso y se cuentan con instalaciones higiénicas, para ello el azúcar estándar debe cumplir con los siguientes parámetros fisicoquímicos, microbiológicos presentes en los siguientes tabuladores:

3.4.1.1. FISICOQUÍMICAS.

Parámetros de calidad	Unidad	Valores	Nivel	Método de Prueba
Polarización	%	99.40	Mínimo	NMX-F-079
Color	U.I.	600	Máximo	NMX-F-526; inciso 10.4
Cenizas (Sulfatadas/conductividad)	%	0.25	Máximo	NMX-F-082; inciso 10.5 y 10.6
Humedad	%	0.06	Máximo	NMX-F-294
Azúcares reductores directos.	%	0.10	Máximo	NMX-F-495
Dióxido de azufre (Sulfitos)	Ppm	20.00	Máximo	NMX-F-501; inciso 10.9
Materia insoluble	Ppm	N.A.	Máximo	
Plomo	Ppm	0.50	Máximo	NMX-F-499
Arsénico	Ppm	1.00	Máximo	NMX-F-498
Partículas metálicas (Hierro)	Ppm	10.00	Máximo	OPCIONAL
Granulometría				
Tamaño medio de grano	Mm	N.A.		

UI: Unidades ICUMSA

N.A.: No Aplica

Tabla 3. Parámetros Fisicoquímicos del Azúcar Estándar. (DOF, 2004)

3.4.1.2. MICROBIOLÓGICAS.

Parámetro	Unidad	Limite	Método de Prueba
Mesófilos aerobios	UFC/g	Máximo 20	NMX-F-253; NOM-092-SSA1
Hongos	UFC/g	<10	NMX-F-255; NOM-111-SSA1
Levaduras	UFC/g	<10	NMX-F-255; NOM-111-SSA1
Salmonella sp	-----	Ausente en 25 g	NMX-F-304; NOM-114-SSA1
Escherichia coli	NMP/g	Ausente	NOM-112-SSA1 NOM-145-SSA1

UFC: Unidades Formadoras de Colonias.

NMP: Número más probable.

Tabla 4. Parámetros Microbiológicos del Azúcar Estándar. (DOF, 2004).

3.4.1.3. SENSORIALES.

Aspecto	Granulado Uniforme (cristales).
Sabor	Dulce.
Color	Marfil (Variando el tono del claro al obscuro).
Olor	Característico del producto.

Tabla 5. Parámetro Sensorial del Azúcar Estándar. (DOF, 2004)

3.5. PROCESO DE CRISTALIZACIÓN DEL AZÚCAR.

La cristalización es considerada un proceso de purificación y separación, parte de una solución sobresaturada mediante la formación de cristales en el centro de la solución teniendo purezas elevadas, su procedimiento es mediante el cual los sólidos o cristales con una disposición espacial distinta a la de sus bloques de construcción (átomos,

iones, moléculas) se forman a partir de un sistema previamente homogéneo otro punto a considerar en el proceso es la baja entropía del estado cristalino. (González, 2017)

La formación de los cristales de azúcar da inicio cuando se produce la nucleación teniendo en cuenta parámetros como lo son la temperatura, presión, grados brix, alcalización, entre otros y es justo en ese momento donde la semilla del cristal inicia su crecimiento. Durante esta etapa de cristalización un operador se encarga de supervisar de manera manual o automática, en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. los tachos se trabajan manualmente.

Esta etapa es considerada una etapa donde hay una notable variabilidad debido a la interrelación de las propiedades de la suspensión a cristalizar, la sobresaturación de la miel que se cristaliza en el proceso y a mecanismos no conocidos totalmente como cinéticas de crecimiento de cristales, nucleación de cristales y atrición. (Rosales and et. al., 2017)

3.5.1. EQUIPOS.

3.5.1.1. TACHOS.

Un tacho al vacío es un evaporador de simple efecto, la industria azucarera hay una variedad de ellos. La función principal es convertir la sacarosa obtenida de la caña en meladura que ingresa a la estación de cocimientos. El tacho básicamente es un cristizador evaporativo o sea es un cristizador de azúcar bajo el principio de evaporación de agua.



Figura 6. Tachos empleados para el proceso de Cristalización en el área de Elaboración. (Morales, 2022)

Los tachos continuos ofrecen una ventaja intrínseca ya que son capaces de operar a menores temperaturas debido a la cabeza hidrostática reducida de la masa dentro del tacho, un punto importante y que genera un impacto en la calidad del azúcar crudo es producción de un grano de tamaño uniforme con un mínimo aglomerado y/o grano muy pequeño facilitando la separación de mieles y al drenaje en las centrifugas, así como el secado subsecuente del azúcar. (Rein, 2012).

Cuando la meladura tiene la concentración adecuada, así como su viscosidad, esta concentración aumenta en un rango de 78 a 80°C los cristales comienzan a aparecer realizando y la constitución de la masa se transforma pasando progresivamente de estado líquido a un estado sólido-liquido, perdiendo cada vez su fluidez y consecuentemente su manipulación es más complicada en ese momento se denomina masa cocida. La consistencia de la masa cocida difícilmente se mueve por los tubos estrechos y no circula fácilmente así que normalmente se emplean equipos con

sistemas de vacío, así el tacho básicamente es un evaporador de simple efecto diseñado para manipular materiales densos y viscosos.

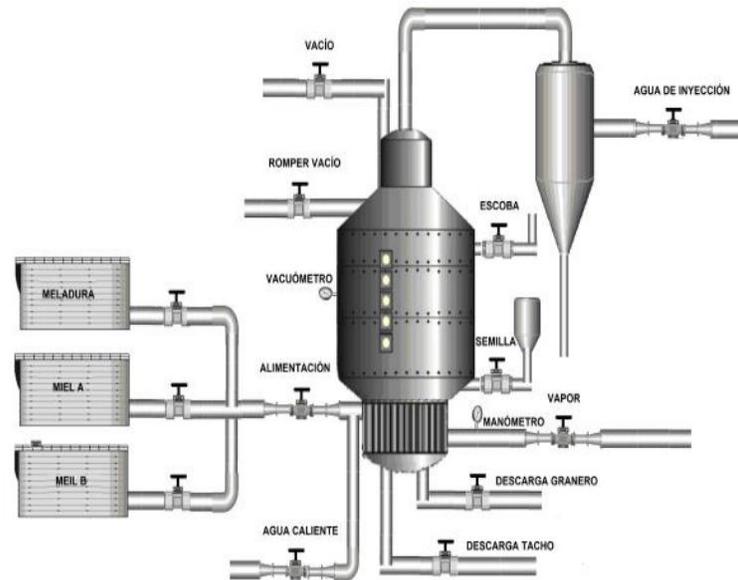


Figura 7. Esquema funcional del Tacho Cristalizador. (Mulet, and et. al., 2016)

3.5.1.2. CENTRÍFUGA.

En la industria azucarera es fundamental el uso de las centrífugas, su rol es fundamental ya que se encargan de la separación de grano generado en los tachos y la miel de las masas cocidas, como parte de su función se hace uso de la fuerza centrífuga para eliminar la miel del azúcar de manera que el grano queda atrapado en las mallas localizadas en las paredes de las centrífugas. Durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la película de miel que recubre los cristales y se descarga para conducirla a la sección de secado.



Figura 8. Centrífugas de C. (Morales, 2022)

La miel que sale de las centrífugas se bombea a tanques de almacenamiento para someterla a posteriores cristalizaciones y repartirlas en los tachos de A y B.

A su vez como producto de la masa de C se obtiene la melaza, una miel de purga que se comercializa como materia prima para la obtención de alcoholes.

3.5.1.3. MOLINO DITMAR.

El método más utilizado en los ingenios, para cristalizar es el de semillamiento completo, el cual se basa en introducir todos los núcleos de azúcar que crecerán en el proceso y se convertirán en azúcar comercial. Para esto, se introduce azúcar comercial ya sea cruda o blanca, tamizada o no en un molino con un medio de molienda, pudiendo ser balines de acero o bolas o cilindros de porcelana.

La semilla se hace en un medio con alcohol etílico o isopropílico, para que el proceso que se dé sea una dispersión pues, no se quiere que se disuelvan los cristales de azúcar. Los conocidos molinos Ditmar que son unos recipientes de acero al carbón o acero inoxidable con movimiento con aspas y balines de acero inoxidable con un

diámetro de 1/4", según el fabricante, tienen la capacidad de producir finos cristales con un tamaño promedio de 7 μ m si se mantienen funcionando cuatro horas con la cantidad apropiada de azúcar y alcohol (2 veces alcohol y 1 de azúcar en volumen) y para cinco horas, se ofrece contar con un 57 por ciento de cristales en un rango de tamaño entre 6 – 10 micrómetros, 39 por ciento de cristales entre 1 y 5 micrómetros y un 4 por ciento de cristales con un tamaño mayor a 10 micrómetros.(López, 2017)

3.5.2. SOLUBILIDAD Y SOBRESATURACIÓN.

La sacarosa tiene una elevada solubilidad en agua, una solución saturada de sacarosa se encuentra en equilibrio termodinámico con la fase sólida de sacarosa y contiene alrededor de dos partes de sacarosa por cada parte de agua a temperatura ambiente y casi cinco partes de sacarosa por cada parte de agua a 100°C, dicha solubilidad se observa en la Tabla 2. Máxima solubilidad de la sacarosa (disacárido) en g/100g agua a diferentes Temperaturas. (Badui, 2006)

La solubilidad de soluciones puras de sacarosa se presenta en la Figura 9. El coeficiente de saturación dado en distintas regiones y se clasifica de acuerdo con (Rein, 2012) de la siguiente manera:

- Región 1 y 1.2 conocida como zona metaestable los cristales de azúcar crecen sin que se produzca nucleación de nuevos granos de azúcar.
- Región 1.2 y 1.3 se conoce como región intermedia, donde los cristales pueden continuar creciendo, pero con formación de nuevos núcleos cuando hay presencia de cristales de azúcar.
- La región que se encuentra por encima de la curva de coeficiente de sobresaturación 1.3 se conoce como región lábil; en esta región se produce nucleación espontánea.

Para cristalizar la sacarosa se requiere elevar su concentración por encima de aquella correspondiente a una solución saturada, y llevarla en forma regulada y con precisión a la concentración requerida para lograr la cristalización deseada. Por lo tanto, es importante establecer la concentración de sacarosa en solución saturada bajo las condiciones de operación. (Rein, 2012)

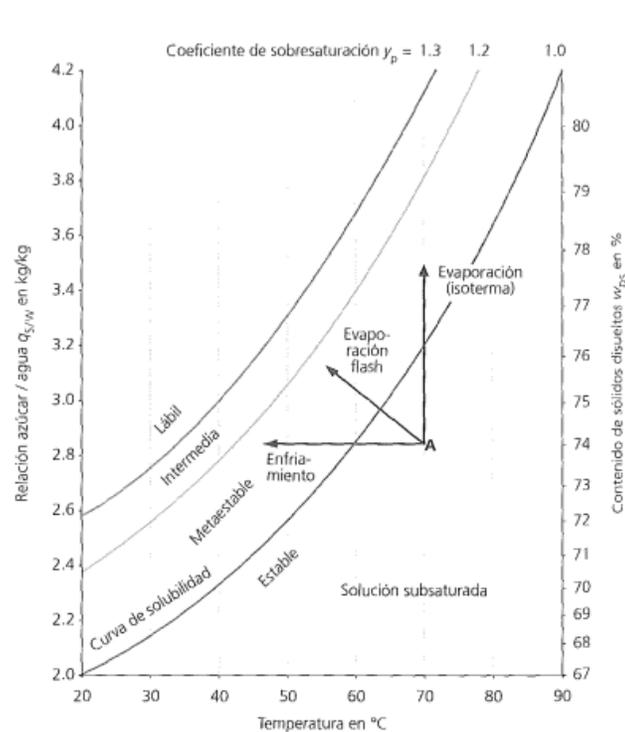


Figura 9. Solubilidad de la sacarosa pura en agua en función de la temperatura.
(Rein, 2012)

3.5.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SOBRESATURACIÓN.

La sobresaturación es pilar fundamental para que el proceso de cristalización es por ello por lo que se recomienda que se lleve a cabo la sobresaturación teniendo en cuenta lo siguiente:

- Calentamiento: Al incrementar la temperatura (calentamiento) se quita el solvente y pasa de estar concentrada a terminar en una sobresaturación y con ello la solubilidad puede incrementar o no.
- Crecimiento del cristal: Se determinará de los índices de sobresaturación, las condiciones del tacho cristizador, y de los balances para obtener las templeas para los A, B y C. El tamaño de cristal para cada tacho varía. En Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. el tamaño del cristal debe ser para C de 0.3mm, para B de 0.5mm y para A de 0.7mm.
- Enfriamiento: Al bajar la temperatura (enfriamiento) no habrá una solubilidad evocando en un cambio no deseable ya que pasa de tener un grado de concentración a saturada terminando en sobresaturada.
- Evaporación: Hay una pérdida por evaporación del disolvente hasta que la cantidad de sustancia disuelta en la solución restante supere la de saturación. Dentro del tacho la temperatura se encuentra controlado manteniendo un equilibrio perfecto para la formación del cristal.
- Precipitación: El objetivo es que ocurra una “aglomeración” de sólidos para dar inicio con la formación del cristalizado de azúcar.
- Pureza: La pureza real representa el contenido de sacarosa expresado como porcentaje de la sustancia seca o el contenido de sólidos disueltos. La pureza aparente se expresa como la polarización dividida por los grados Brix refractométricos, multiplicada por 100.

La pureza influye mucho en el proceso del cristalizado ya que repercute en la calidad del producto final (azúcar estándar), (IAA, 2022) establece que si la alimentación al tacho se lleva a cabo con una meladura de baja pureza afecta al proceso debido a que

el tiempo de residencia se incrementa pues será necesario elevar esta pureza con evaporación dentro del cristalizador, y esto afectará el costo de producción del producto terminado.

- Rendimiento: El rendimiento depende de los balances para elaborar las plantas para A, B y C respectivamente mediante la Cruz de Cobence, El rendimiento para los Tachos de A es 50 y para B es de 53 y C es de 41. Para lograr esto se consideran los siguientes parámetros: Semilla de B, Meladura, Planta de A, Agotamiento, Grados Brix y Temperatura.
- Vacío: El vacío es fundamental para la formación de cristales a partir del alcohol isopropílico, es necesario que exista una sobresaturación considerable. La sobresaturación del alcohol disminuirá en la proporción en que los cristales se desarrollen y estos crezcan, para conservar la sobresaturación, es necesario entonces mantener la evaporación del agua y el suministro de material azucarado.

3.5.3. SEMILLAMIENTO.

Los núcleos cristalinos se inducen inicialmente en los tachos C, el contenido que es incorporado en los tachos cuando estos cumplen con los parámetros correspondientes como por ejemplo Psi, Brix, Temperatura, Tiempo, entre otros es conocido como suspensión o "slurry", esta mezcla contiene azúcar fina (azúcar tamizada) con alcohol isopropílico. Para que la mezcla sea homogénea se emplea un molino de bolas "Molino Dittman" para poder incorporar bien el alcohol en la azúcar fina en un tiempo determinado de 5 aproximadamente, la cantidad de slurry requerida usualmente es determinada a partir de la experiencia del supervisor o tachero. (Rein, 2012)

El tipo de semillamiento que se recomienda es el completo para obtener un buen rendimiento y grano de azúcar se adiciona el tamaño de la semilla que es producido

en la templa para igualar el tamaño de grano al final del cocimiento, este tipo de semillamiento garantiza un 95% de población de cristales de un tamaño uniforme de 10 μ m.

Los cristales de azúcar por el método de semillamiento completo se adicionan en una solución de sacarosa con una pureza conocida y en su zona de sobresaturación metaestable para garantizar que dichos cristales sembrados, no se disuelven pero que tampoco aparezcan otros espontáneamente por una exagerada sobresaturación, (Ramos, 2009) hace referencia a lo mencionado anteriormente mencionando que una solución azucarada de una pureza controlada de 72% a 77% se encuentra dentro de la zona de sobresaturación metaestable que es cuando el material que está en ebullición en el tacho alcanza un grado de sobresaturación de 1.15 a 1.30, esto se puede observar en la figura 9.

Debido a que cada partícula de suspensión alcohólica (polvillo) origina un grano de azúcar, el volumen de la carga que se cristaliza no influye en el número de cristales originados, pero si influye en cuanto tiempo hay que esperar para la suspensión introducida crezca hasta el tamaño final establecido.

3.5.4. NUCLEACIÓN Y CRECIMIENTO DE CISTALES.

En la industria azucarera el proceso de generación de cristales es considerado como un proceso cinético de reacción donde la fuerza impulsora es la sobresaturación. Las moléculas de sacarosa en solución tienen que esparcirse o difundirse hasta el cristalizarse y luego ser incorporadas en la estructura reticular del cristal. La nucleación es un proceso complejo, que es influenciado por muchos factores y difícil de controlar o predecir. (Rein, 2012)

Los núcleos cristalinos se forman a partir de moléculas, átomos, iones debido a la velocidad de turbulencia son denominadas también como una unidad cinética debido a su proceso de crecimiento considerando estos parámetros: tiempo, velocidad,

energía, concentración y zona de ubicación. Su proceso generalizado es el que se presenta a continuación.

Producto Agregado → Embrión → Núcleo → Cristal

El proceso de nucleación se puede dividir en primario y secundario tal como lo menciona (Romero, 2018):

El primario es aquella en donde una disolución libre de partículas de fase sólida (aglomerados), en esta etapa encontramos la nucleación homogénea y heterogénea.

- Nucleación Heterogénea: Se tiene el riesgo de encontrar presencia de agentes extraños a la disolución, puede existir presencia de fase sólida, pero cualquiera de estos no tiene ningún efecto sobre el proceso de nucleación durante la cristalización.
- Nucleación Homogénea: Se lleva a cabo en presencia de agentes extraños a la disolución que son capaces de afectar la velocidad de nucleación

La nucleación secundaria: Se da a partir de cristales ya formados dentro de la disolución, se conocen dos tipos: por esfuerzo cortante del fluido o por contacto.

- El esfuerzo cortante del fluido, la fase líquida se mueve sobre la superficie del cristal en formación con una velocidad considerable y arrastra embriones. o núcleos que pudieran estar sobre la superficie del cristal.
- Por contacto los cristales pueden colisionar con otros cristales, pueden chocar con las paredes del cristizador o las aspas del agitador, como en el caso del esfuerzo cortante se desprenden núcleos que ahora formarán nuevos cristales.

3.5.4.1. CRECIMIENTO DE CRISTAL.

La velocidad de nucleación se representa de forma exponencial, por lo general se contempla la influencia de distribución del tamaño de cristal en un tiempo prolongado y es conocida como “velocidad de cristalizado”.

El crecimiento ocurre primero con la formación del núcleo, y luego con su crecimiento gradual. Tomando de referencia la figura 9. Solubilidad de la sacarosa pura en agua en función de la temperatura se observan las distintas regiones:

- Bajo los parámetros mencionados en el apartado de rendimientos la región metaestable es una zona idónea para la que la nucleación de la semilla azúcar se reproduzca.
- El proceso de nucleación se forma a partir de una serie de choques o fricción.

La formación del cristal requiere que se lleve a cabo dos fenómenos, el primero de ellos es la difusión de las moléculas de sacarosa a lo largo de la interface solución-cristal y luego se da la adsorción de las moléculas en la superficie del cristal.

La Figura 10 representa de manera gráfica el proceso de crecimiento de cristal, para la cual una capa límite a través de la cual las moléculas se difunden y se genera una capa de adsorción sobre la superficie del cristal.

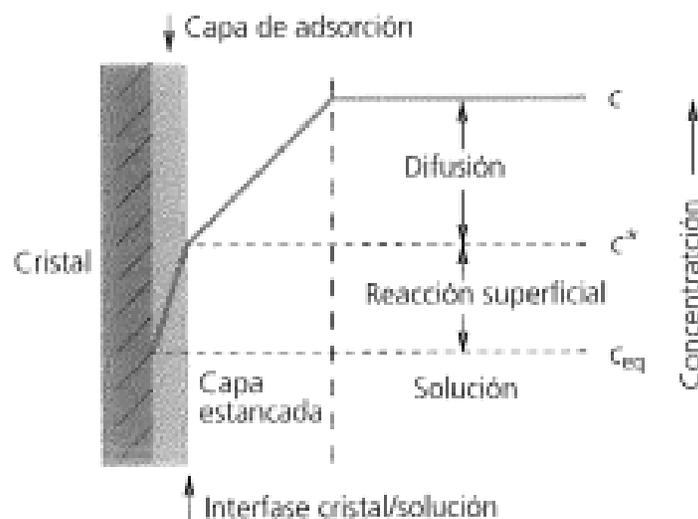


Figura 10. Representación de difusión y reacción superficial durante la cristalización.
(Rein, 2012)

3.5.4.1.1. TAMAÑO DE CRISTAL.

El tamaño de cristal del azúcar producido es importante porque usualmente tiene que cumplir con determinada especificación de calidad del consumidor. El azúcar para consumo directo tiene un tamaño promedio entre 0.2 mm y 2 mm, dependiendo de los requerimientos del mercado, así como el productor.

Los cristales de tamaño más grande tienen menos área superficial por unidad de masa y son más fáciles de procesar durante la centrifugación debido a que la cantidad de película de miel sobre la superficie es menor. Sin embargo, con cristales más pequeños se tiene una mayor área superficial, lo cual mejora la tasa de cristalización. Esto es particularmente importante para los cocimientos de baja pureza, donde el tamaño de los cristales se mantiene pequeño, típicamente alrededor de 0.2 mm para masas cocidas de C. El tamaño de apertura de las mallas de centrifugas se selecciona de acuerdo con el tamaño de cristal a ser separado y esto permite que se genere una mejor distribución de tamaño de los cristales.

Una de las funciones que cumple la centrifuga es facilitar la distribución del tamaño de cristal haciéndolos más uniforme. Los granos finos en masas cocidas tienden a llenar espacios presentes entre cristales más grandes, produciendo una capa de cristales en las máquinas centrifugas que no se puede filtrar o purgar fácilmente. Adicionalmente, los cristales pequeños pueden pasar a través de las aperturas de la malla, resultando en un menor agotamiento de las mieles.

En la industria azucarera se emplea el coeficiente de variación para poder determinar la distribución del tamaño del cristal, se emplea la siguiente fórmula:

$$CV = 100\left(\frac{\sigma}{dm}\right)$$

Donde “*dm*” corresponde al tamaño promedio del cristal y σ es la desviación estándar de la distribución. A medida que los cristales crecen, el tamaño promedio se incrementa y se espera que el CV se reduzca. El método común para determinación

de la apertura media y CV por tamizado asume una distribución normal (esto se corroborará cuando se tenga el producto final).

3.5.4.1.2. MEDICIÓN DEL TAMAÑO DE CRISTALES.

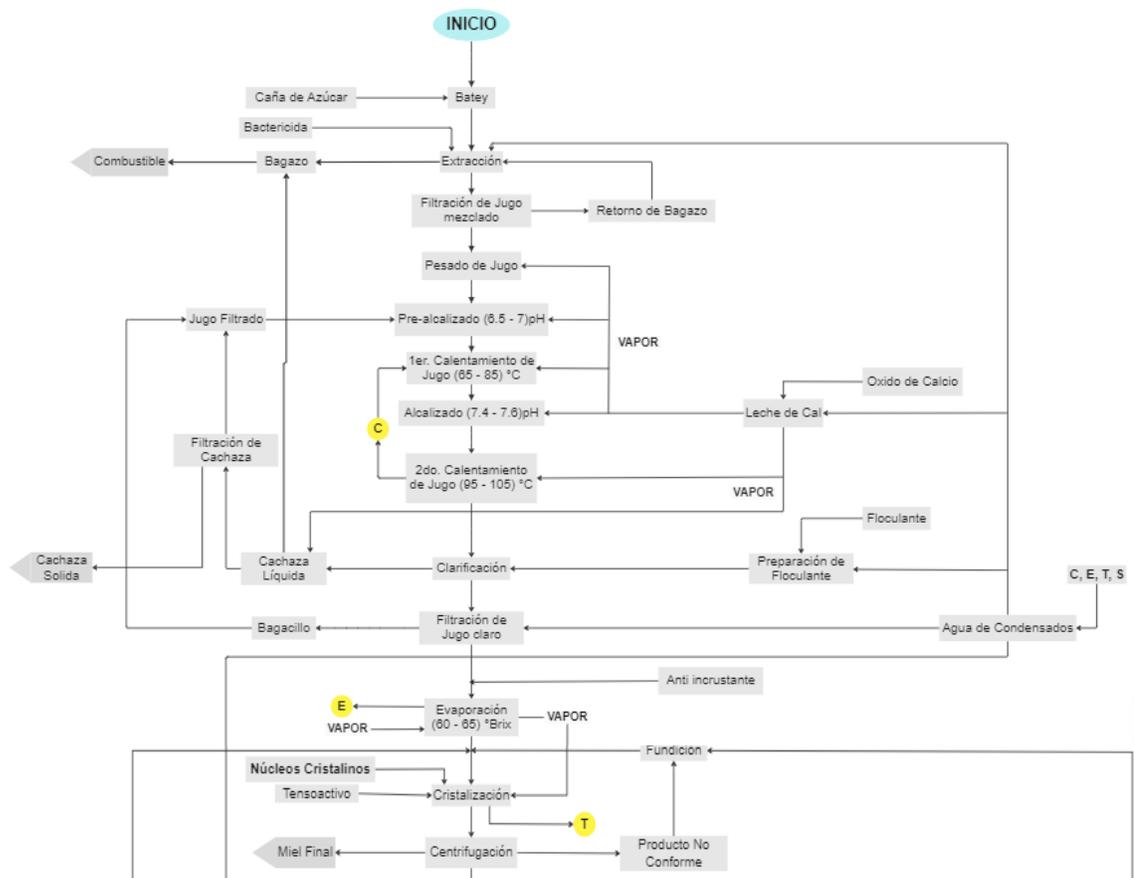
En el Ingenio de Azucarero de Atencingo el método ICUMSA es aplicable al llevar a cabo el secado del azúcar estándar y proceder tamizar mediante una torre de tamices mediante el método de granulometría de acuerdo con la NMX-F-303-SCFI-2011 a partir del apartado 5, en esta norma se especifica el procedimiento de la preparación de la muestra (esto se aplica cuando se tiene el azúcar estándar como producto final). También se está aplicando la técnica de análisis digital empleando un computador, así como el microscopio para observar más a detalle sin la necesidad de separar y secar la muestra antes de llevar a cabo el análisis de medición (esto aplica para observar el tamaño del núcleo cristalino después de realizar el ensemillamiento completo ya que el tachero u operador debe medir el tamaño del núcleo obtenido).

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.

4.1. DESARROLLO DEL PROCESO DE AZÚCAR ESTÁNDAR EN INDUSTRIAL AZUCARERA ATENCINGO S.A. DE C.V.

4.1.1. DIAGRAMA DE FLUJO: PROCESO DE AZÚCAR ESTÁNDAR.

A continuación, en la Figura 11. se mostrará el proceso de elaboración del azúcar estándar en Industrial Atencingo S.A. de C.V. (IAA, 2022)



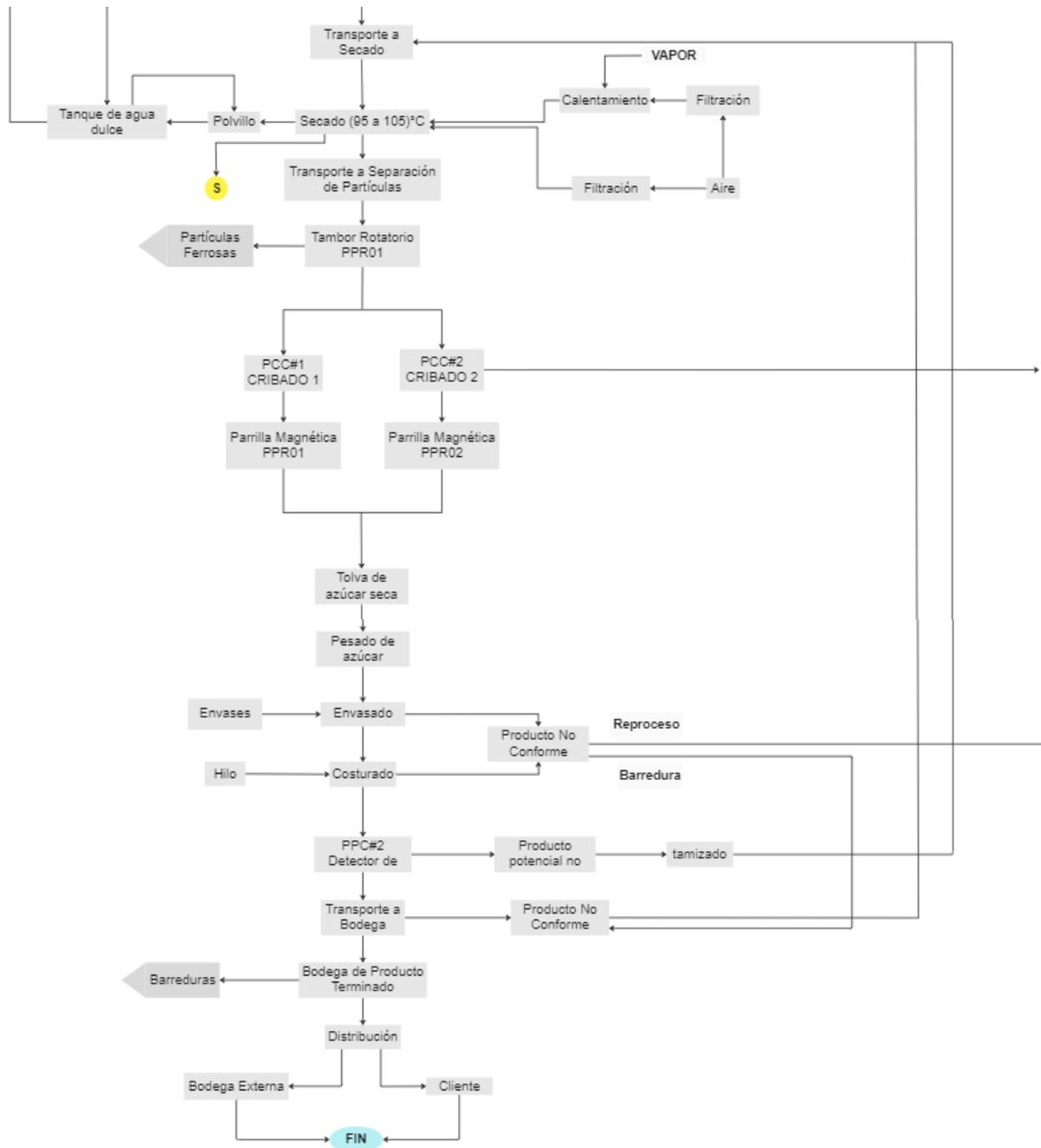


Figura 11. Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración del Azúcar Estándar en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. (IAA, 2022)

4.1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE AZÚCAR ESTÁNDAR EN INDUSTRIAL AZUCARERA ATENCINGO S.A. DE C.V.

A continuación, se describirán los distintos procesos que se ve en la Figura 11 de acuerdo con lo establecido por (IAA, 2022).

4.1.1.1.1. BATEY (RECEPCIÓN Y PREPARACIÓN DE CAÑA).

La caña que llega del campo en camiones (70%) y remolques de carretas (30%) aproximadamente, se pesa en básculas, se conduce al batey donde se dispone directamente en tres mesas alimentadoras, así como un volteador de camión, una vez descargada la caña, los camiones y carretas proceden acudir a las básculas para el destare, las cañas en mesas y volteadores alimentan al conductor auxiliar donde es preparada por un juego de cuchillas, después se dirige al conductor principal de caña donde se completa su preparación con otro juego de cuchillas para finalmente llevarlas a la desfibradora buscando un parámetro establecido de 84% de celdas rotas como mínimo. La caña desfibrada se alimenta directamente al molino.

4.1.1.1.2. EXTRACCIÓN (Molinos).

La caña desfibrada por los equipos empleados en Batey llega al tándem de 6 molinos, donde se extrae el jugo de la caña por compresión Cada molino consta 4 mazas, los molinos son asistidos por transmisiones ya sean movidas por turbinas de vapor o motores eléctricos. En el recorrido de la caña por el molino se agrega agua de condensados a 70-90°C con la finalidad de extraer la mayor cantidad de sacarosa que contiene el material fibroso. El bagazo que sale de la última unidad de molienda debe estar entre el 50-51% de humedad que se usa como combustible para las calderas,

produciendo el vapor directo de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos. Se emplea un bactericida para controlar la proliferación de bacterias en el jugo de caña.

4.1.1.1.3. FILTRACIÓN DE JUGO MEZCLADO.

El jugo extraído de los dos primeros molinos se hace pasar por un colador rotativo donde se hace la separación del jugo y pachaquil (fibra), el jugo es enviado al tanque de recepción de jugo y el pachaquil se recircula al proceso de Extracción. Para la asepsia de este colador se hace uso de vapor directo de 240° a 300°C.

4.1.1.1.4. PESADO DEL JUGO.

El jugo colocado se recibe en el tanque de recepción de jugo, se procede a enviar a las básculas de jugo pesado.

El jugo colado que se extrae de la molienda se pesa en básculas con celdas de carga para controlar la cantidad de jugo que entra en la fábrica y se pre-alcaliniza a 6.5 -7.0 pH aproximadamente.

4.1.1.1.5. PRIMER CALENTAMIENTO DE JUGO.

Proceso en el que se eleva la temperatura del jugo alcalizado hasta una temperatura de 65-85°C empleando el vapor vegetal generado por los equipos de evaporación.

4.1.1.1.6. LECHADA DE CAL.

En este proceso se prepara una solución de óxido de calcio en agua de condensados a 85°C (lechada de cal) a 6° Baume.

4.1.1.1.7. ALCALIZADO DE JUGO.

En este proceso se le adiciona la solución de lechada de cal a 6° Baume (preparada con agua de condensados 85°C junto con óxido de calcio) al jugo para incrementar el pH del jugo a 7.3 – 7.6 para facilitar así la clarificación del jugo, ayudando a precipitar la mayor parte de las impurezas.

4.1.1.1.8. SEGUNDO CALENTAMIENTO DE JUGO (95° - 105) °C.

Proceso en el que se eleva la temperatura del jugo alcalizado hasta una temperatura de 95 a 105 °C utilizando el vapor de escape que proviene de las máquinas primarias.

4.1.1.1.9. DILUCIÓN DEL FLOCULANTE.

Proceso en el que se prepara una solución de floculante en agua de condensados, este producto corresponde a una resina aniónica de alto peso molecular que se utiliza como coadyuvante para la formación y precipitación de floculo que ayuda a precipitar las impurezas del jugo.

4.1.1.1.10. CLARIFICACIÓN DEL JUGO.

Esta etapa del proceso, se tiene una separación de las impurezas que trae el jugo esto derivado de la temperatura y respectiva dosificación del floculante menor a ppm (base de jugo) formando flóculos de sustancia coloidal y los de los cuales son extraídos de cada uno de los compartimentos del clarificador por medio de una bomba de sopapo o por gravedad los sólidos no azúcares se precipitan en forma de lodo llamado cachaza (este es destinado al campo como un mejorador de suelos) y el jugo claro queda en la parte superior, después es extraído por gravedad en la parte superior de cada uno de los clarificadores (caja de derrames).

Los lodos dulces extraídos del clarificador son filtrados mediante vacío aplicado a filtros rotativos en cuya superficie se atrapan los lodos y el jugo separado aquí (jugo turbio) es integrado a la corriente de jugo que extrae el molino en el tanque de jugo pesado.

4.1.1.1.11. FILTRACIÓN DE JUGO CLARO.

El jugo clarificado es pasado a través de tres coladores con malla de 100 a 120 mesh., para evitar el paso de bagacillo a la siguiente etapa del proceso.

4.1.1.1.12. EVAPORACIÓN.

El jugo clarificado es enviado a los pre-ensasadores y a un quintuple efecto los cuales trabajan con mayor escape de (125 – 130) °C a una presión de 20 a 22 lbs/plg² evaporando el 80% del agua que trae consigo el jugo.

Este proceso se da en evaporadores de múltiple efecto al vacío que consisten en un conjunto de celdas de ebullición (de pre y quintuple efecto) dispuestas en serie. El jugo entra primero en el pre-ensasador y se calienta hasta el punto de ebullición. Al comenzar la ebullición se generan vapores los cuales sirven para calentar el jugo en el siguiente efecto, logrando así un menor punto de ebullición en cada evaporador. En

el proceso de evaporación se obtiene el jarabe o meladura la cual es enviada por proceso a la siguiente etapa del proceso de cristalización.

En el proceso de evaporación, el vapor condensado del pre-ensamador y los dos primeros vasos del cuádruple es recuperado como condensados puros los cuales, parte se bombean al área de calderas y otros, son utilizados en el lavado de azúcar en las centrifugas de "A". Los condensados impuros de los vasos 3 y 4 son utilizados en extracción y filtros.

4.1.1.1.13. CRISTALIZACIÓN.

La cristalización se realiza en los tachos, que son recipientes al vacío de un solo efecto se debe tener un vapor vegetal de 114°C y una presión de (5-12) lbs/plg², alimentando núcleos cristalinos de 10µm y tensoactivo para disminuir la viscosidad. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida.

El trabajo del cristalizado se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr la mayor recuperación de sacarosa. La miel final resultante es pesada y almacenada para su comercialización.

4.1.1.1.14. CENTRIFUGACIÓN.

La masa cocida pasa por las centrifugas, maquinas giratorias en las cuales se hace la separación de los cristales y del licor madre por medio de la fuerza centrífuga aplicada y un lavado con agua de condensados puros a una temperatura de 90 – 95 °C, ya que estos equipos giran a 1200-1800 rpm. La miel separada en las centrifugas se utiliza en las siguientes etapas de cocimiento en los tachos.

4.1.1.1.15. TRANSPORTE A SECADO.

Este es un proceso de transportación de azúcar húmedo del proceso de centrifugación (granulador de azúcar), a través de transportadores helicoidales y un elevador de cadenas y canjilones.

4.1.1.1.16. CALENTAMIENTO DE AIRE.

Proceso de calentamiento de aire a través del paso de este por radiadores de vapor de escape de 125 – 130 °C a una presión de 19 a 25 lbs/plg².

4.1.1.1.17. FILTRACIÓN DE AIRE.

Previo a su calentamiento el aire es filtrado a través de medios filtrantes colocados antes del radiador de vapor con el fin de atrapar impurezas que podrían causar contaminación al producto.

4.1.1.1.18. SECADO.

El azúcar húmedo se transporta a traves de un elevador con cadena y canjilones, que a su vez alimenta a secadores horizontales de aire caliente a contracorriente, mismo que es filtrado y luego calentado por medio de radiadores alimentados con vapor de escape de 125 – 130 °C. El azúcar entra en contacto con el aire caliente que se inyecta a contracorriente obtenido al final de la etapa de secado, un azúcar con un porcentaje de humedad de 0.06 máximo.

4.1.1.1.19. FUNDICIÓN DE GRANZA.

Del proceso de secado se obtiene la granza (azúcar que excede la granulometría requerida para el producto terminado).

4.1.1.1.20. TANQUE DE AGUA DULCE.

Proceso donde se lleva a cabo la fundición de la granza y el fundido es enviado a integrarse al jugo filtrado para luego ser agregado al flujo de jugo extraído por el molino en el tanque de jugo pesado.

4.1.1.1.21. SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS FERROSAS.

Este equipo representa una etapa de tránsito del azúcar seco, ubicado en la salida del secador y su función principal es ir separando en línea las partículas ferrosas que el azúcar arrastra a través del proceso.

4.1.1.1.22. CRIBADO.

En esta etapa se recibe el azúcar seco previo a la tolva del envase, el grado de importancia que implica este equipo como etapa de proceso, es la última barrera de separación de peligros físicos que pudiera traer el azúcar a través del proceso. Lo que identifica a este equipo como nuestro punto crítico de control, ya que después de él no existe otro elemento de control para peligros físicos (plásticos, metales, madera, etc.).

4.1.1.1.23. PARRILLAS MAGNÉTICAS AUTO LIMPIABLES.

En esta etapa se hace pasar se hace pasar azúcar cribada que pudiera contener un poco de fierro en polvo, este es retenido a través de barras magnéticas que se auto limpian de manera neumática, en un tiempo programado.

4.1.1.1.24. PESADO DE AZÚCAR SECO.

En esta etapa se tienen dos basculas automáticas ensacadoras de azúcar con peso de 50 Kg/saco, 25 Kg/saco ambos equipados con equipo electroneumático para la acción de carga de azúcar fina, gruesa y descarga, todo esto monitoreando y controlado por un PLC Siemens.

4.1.1.1.25. ENVASE.

Una vez seca y fría, el azúcar se descarga hacia unas basculas automáticas que descarga 50 y 25 Kg en sacos de polipropileno laminados. El área de envasado es climatizada a través de una unidad acondicionadora y cuenta con un sistema de extracción de polvos.

4.1.1.1.26. COSTURADO.

El sellado del saco se realiza a través de máquinas cosedoras.

4.1.1.1.27. TRANSPORTE A BODEGA.

El producto terminado es transportado en bandas de hule desde el envase hasta la bodega de azúcar.

4.1.1.1.28. ALMACENAMIENTO PRODUCTO TERMINADO (Bodega).

El producto terminado en su presentación de 50 Kg., es almacenado en la bodega de azúcar en estibas de hasta 100 bultos de altura, la estiba es protegida con un plástico en el piso y terminada la misma, es cubierta totalmente también con plástico. El producto se almacena en bodegas diseñadas específicamente para mantener el producto en las condiciones de su liberación, en lugares limpios y secos, dejando espacios suficientes para el acceso y limpieza del área. El almacén de producto terminado está sujeto a un programa de control de plagas. La distribución se realiza en tráileres de caja cerrada de 25 a 35 toneladas de capacidad.

4.1.1.1.29. FUNDICIÓN (Reprocesado).

El producto no conforme detectado por las diferentes fuentes es manipulado en base al procedimiento de producto no conforme AT-PROBOD02 o potencialmente no inocuo AT-PROINO03. Si se decide su reproceso este se lleva a cabo, fundiéndolo con agua de condensados caliente e integrando el material fundido al proceso de cristalización (meladura) como se puede observó en el diagrama de flujo.

4.1.1.1.30. DISTRIBUCIÓN.

El proceso terminado es transportado a: Almacenamiento Bodega interna y Embarque directamente al cliente.

4.1.1.1.31. SERVICIOS AUXILIARES.

El proceso de servicios auxiliares está compuesto por las siguientes áreas:

4.1.1.1.31.1. CALDERAS.

Su función principal en cadena de vapor es aportar el vapor que se utiliza para el cocimiento de materiales, calentamiento y en radiadores par secado de azúcar.

4.1.1.1.31.2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO.

Su función principal es coordinar todas las actividades de mantenimiento a equipos de procesos y pruebas no destructivas de los mismos, así como mantenimiento correctivo se encarga de ejecutar toda orden de trabajo para mantener los equipos en óptimas condiciones.

4.1.1.1.31.3. INSTRUMENTACIÓN.

Se encarga de desarrollar actividades de mantenimiento a equipo de control de procesos, llevan a cabo el control de equipos de medición.

4.1.1.1.31.4. ÁREA ELÉCTRICA.

Su función principal que aporta a la cadena de valor es tener en óptimas condiciones todos los equipos eléctricos a través de programas de mantenimiento.

4.1.1.1.31.5. ÁREA DE CONTROL AMBIENTAL.

Su principal función es cumplir con las obligaciones reglamentarias que estipula la ley en materia ambiental.

4.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN EN INDUSTRIAL AZUCARERA ATENCINGO S.A. DE C.V.

A continuación, en la Figura 12 se mostrará el proceso de cristalización del azúcar estándar en Industrial Atencingo S.A. de C.V. (IAA, 2022)

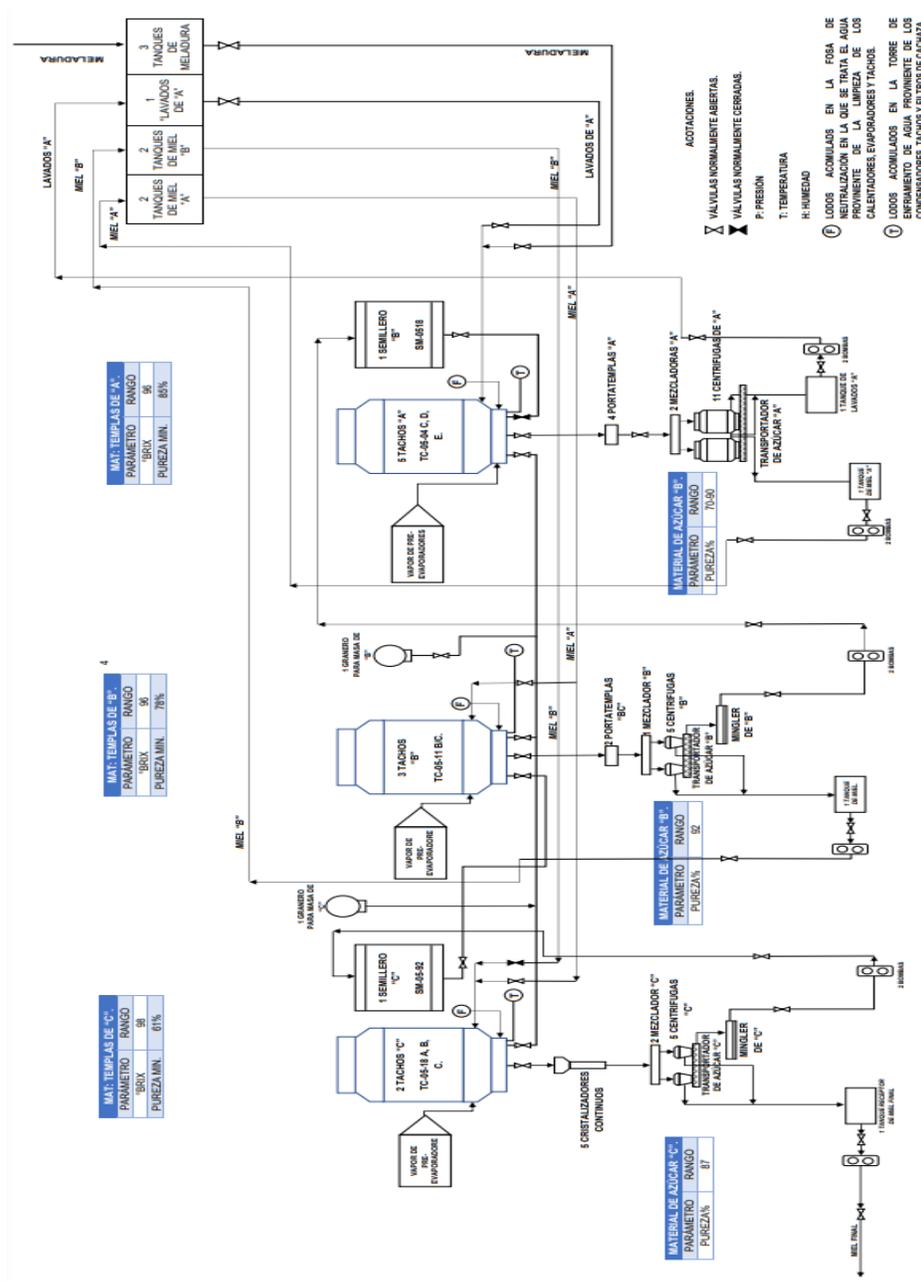


Figura 12. Diagrama de Flujo del Proceso de Cristalización en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. (IAA, 2022)

4.1.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DEL ENSEMILLAMIENTO DEL NÚCLEO CRISTALINO PARA 4 PIES DE TEMPLA DE C EN EL TACHO NO. 11 Y SU PARTICIÓN AL GRANERO DE C O AL TACHO NO. 12.

A continuación, en la Figura 13. se mostrará el proceso de ensemillamiento de los núcleos cristalinos en los Tachos No. 11 y 12 de acuerdo con (IAA, 2022).

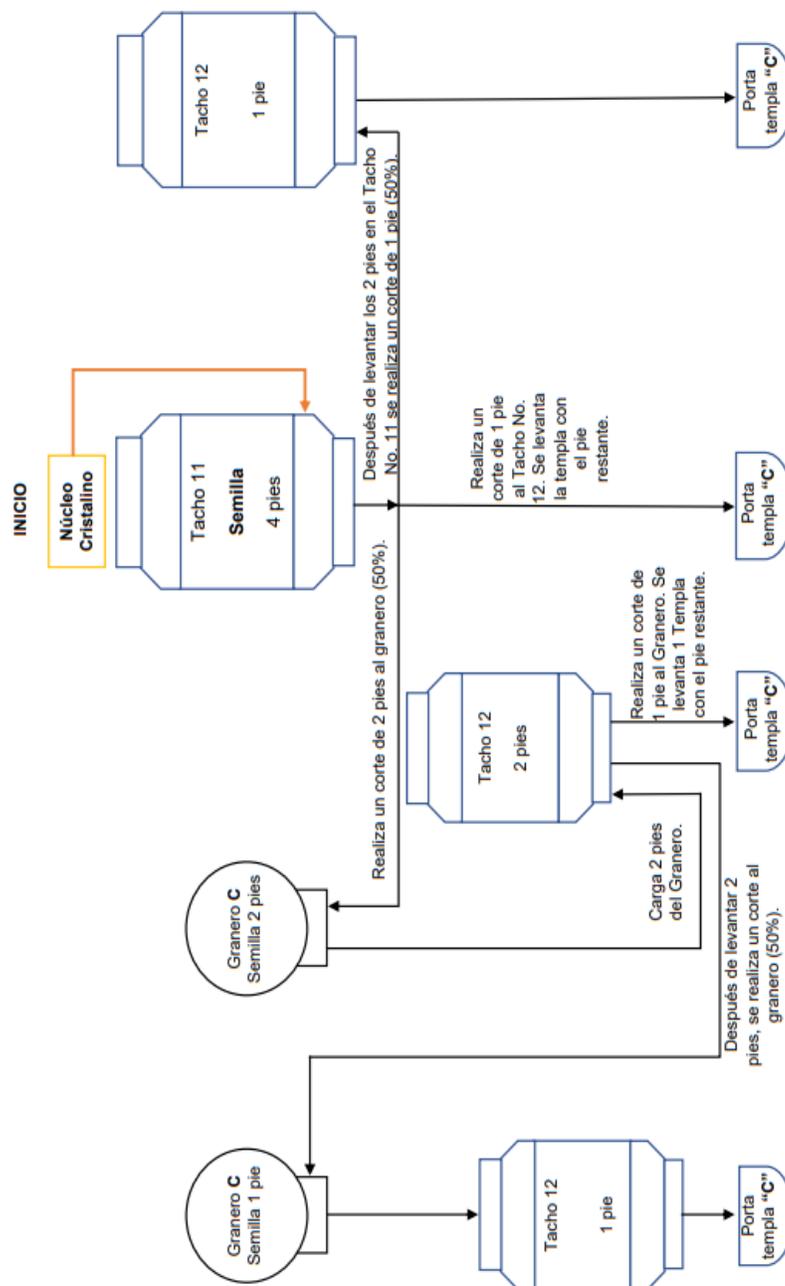


Figura 13. Diagrama de Flujo del Proceso de Elaboración de Ensemillamiento de los Núcleos en los Tachos No. 11 y 12 en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de

4.1.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ENSEMILLAMIENTO DEL NÚCLEO CRISTALINO PARA 4 PIES DE TEMPLA DE C EN EL TACHO NO. 11 Y SU PARTICIÓN AL GRANERO DE C O AL TACHO NO. 12.

El proceso de elaboración de los núcleos cristalinos se divide en tres etapas correspondientes al área de Laboratorio de Fábrica y Elaboración donde se realiza el ensemillamiento que parte del tamizado del azúcar en polvo (en Industrial Azucarera Atencingo S.A de C.V. se emplea azúcar glass) y culmina en el grano de azúcar con un tamaño de 0.7mm.

4.1.3.1.1. LABORATORIO DE FÁBRICA.

1.- Obtener un total de 20 bultos de azúcar glass y son depositados en el Laboratorio de Fábrica en el área de crudo.

2.- Sanitizar el área de trabajo y equipos a usar durante el tamizado.

2.- Limpiar el vibrador de tamices y los tamices empleando una brocha distinta para cada pieza.

3.- Solicitar los materiales a emplear durante el proceso de tamizado como, por ejemplo: Bulto de azúcar glass, tamices (70, 450 y 635), bolsas transparentes, balanza digital, espátula, vaso de precipitado de 1Lt., plumón, brocha, charola de plástico.

4.- Colocar el bulto de azúcar cerca del área de trabajo para tener una mejor manipulación.

4.1.- Abrir el bulto de azúcar glass e introducir el vaso de precipitado de 1 litro para obtener el azúcar glass.

5.- Acomodar los tamices en el siguiente orden 70, 450 y 635, con el vaso de precipitado tomar una medida de 900g., adicione al tamiz No. 70, distribuya la muestra

de azúcar glass, posteriormente coloque 2 tamices para que embone en el vibrador de tamices.

6.- Acomodar los tamices en el vibrador de tamice y seleccionar un tiempo de 10 minutos para mediante agitación el azúcar glass se vaya filtrando.

7.- Rotular con un plumón 3 bolsas para los tamices 70, 450 y 635 (finos).

8.- Retirar los tamices pasados los 10 minutos, proceda a separar cuidadosamente los tamices en el área de trabajo, vierta el contenido de los tamices 70, 450 y 635 en las bolsas previamente rotuladas para finalmente con ayuda de la brocha remover el azúcar glass restante de cada tamiz vaciándolo en la bolsa que corresponda a cada tamiz.

9.- Encender la balanza digital, coloque la bandeja de plástico sobre la balanza y realice el Tare, coloque la bolsa correspondiente al tamiz No. 450 para ir monitoreando el pesaje del azúcar glass presente en el tamiz.

10.- Juntar 4 Kilogramos de azúcar glass correspondientes al tamiz No. 450. Se monitorea el pesaje haciendo uso de la balanza digital, después coloque la bandeja de plástico sobre la balanza y proceda a “tarar”.

11.- Sanitizar el área de trabajo y materiales empleados en el proceso de tamizado cuando se finalice el turno.

12.- Repetir los pasos mencionados del 2 al 11 o continuar hasta obtener un pesaje de 2280 Kg de azúcar glass correspondientes a 190 días que dura la temporada de Zafra siendo un equivalente a 570 bolsas de 4 Kg.

4.1.3.1.2. MOLINO DITMAR.

13.- Realizar el balance apropiado (2 veces alcohol y 1 de azúcar en volumen). Se vierte al molino la cantidad de azúcar apropiada 4 kilogramos se recomienda utilizar un embudo para evitar pérdidas de la materia prima.

13.1.- Medir el volumen de alcohol (8 litros) haciendo uso de material de laboratorio graduado como, por ejemplo: Probeta, un Vaso de Precipitado, un Matraz Erlenmeyer con la finalidad de tener una mejor precisión y exactitud.

14.- Verter al molino 8 litros de alcohol isopropílico en el molino. Se hace uso de un embudo para evitar pérdidas y a su vez se remueve el azúcar adherido tanto a las paredes del embudo, como en la boquilla del molino.

15.- Cerrar el molino. Se asegura que el operador cierre la válvula, observando que no haya alguna fuga de alcohol al encender el molino.

16.- Encender el molino y dejar funcionar hasta que el tiempo de molienda concluya 5 horas.

16.1.- Adicionar 600ml de agua 5 minutos antes de que la operación del molino concluya.

17.- Verter la semilla en un recipiente de almacenamiento.

18.- Tamizar la semilla en dado caso que haya alguna aglomeración.

19.- Realizar lavado al molino con alcohol y se enciende el molino durante 5 minutos, después se desecha el contenido.

20.- Tomar una muestra de la semilla para su análisis cristalográfico. El muestreo es directamente del recipiente que contiene la semilla, antes de tomarla el operador debe agitar la suspensión hasta su completa homogenización. El recipiente donde se almacene la muestra debe mantenerse cerrado para evitar la volatilización del alcohol.

21.- Realizar lavados posteriores con agua tibia al molino para remover y disolver las partículas de semilla que quedan presentes aun dentro de las paredes del molino (recuerde encender el molino por 5 minutos).

Recomendaciones del Molino Ditmar.

- ✓ Antes de iniciar la Zafra: Llenar únicamente con 8 litros de alcohol isopropílico, recuerde emplear un embudo, cierre la entrada, ponga en marcha el molino

durante 15 minutos y descargue. Repita lo mismo para el enjuague, hágalo con 1 litro de alcohol el molino, ponga en marcha durante 15 minutos, después repita el procedimiento durante 5 min.

- ✓ En Zafra: Si este no se usará inmediatamente después de un lote se debe lavar con agua caliente y enjuagar con 2 litros de alcohol con el molino encendido.
- ✓ Finalizada la Zafra: Lavar el molino con agua caliente hasta disolver los restos de sacarosa, enjugar varias veces con alcohol agregando aceite mineral y dejar encendido el molino durante 15 minutos y finalmente guarde el molino.

4.1.3.1.3. TACHOS.

Los Tachos de C 11 y 12 son pieza fundamental para dar origen a las templeas que se emplearan para la producción de los cristales de azúcar en el resto de los tachos que corresponden a A (1-7) y B (9 y 10), cabe mencionar que el Tacho No. 8 corresponde a A y B.

En la figura mostrada anteriormente (la figura 21) podemos apreciar a detalle el procedimiento que se hace en los tachos de C cumpliendo los siguientes requerimientos:

22.- Monitorear los parámetros del tacho 11 que se encuentran en la Tabla 6 se cumplan para la correcta elaboración de la templea de 4 pies.

23.- Verificar que las válvulas que alimentaran al tacho 11 se encuentren cerradas para posteriormente abrir las válvulas cuando el jefe de elaboración indique:

- Abrir válvula de Alimentación de vapor de escoba para calentar el equipo.
- Abrir válvulas de alimentación de agua al condensador de vapor para levantar el vacío a 20 pulgadas de Mercurio, cuando llegue a este valor cargue la templea

al cono del tacho, posteriormente cuando llegue a 21 pulgadas de mercurio deberá abrir la válvula de vapor a la calandria.

- Abrir la válvula de alimentación al granero de C y vigilar el granero que succione únicamente 1 pie de templa y cerrar la válvula de este.

24.- Realizar el ensemillamiento de los núcleos (mezcla homogénea obtenida en el Molino Ditmar) tomando 4 kilogramos. de muestra e incorporando 1.5 litros. de alcohol isopropílico mezclando homogéneamente para después colocar la muestra en el “embudo” del tacho, cuando el tacho cumpla con los parámetros requeridos automáticamente el tacho succionará los núcleos cristalinos e iniciará la formación de los cristales para obtener una templa de 4 pies.

25.- Monitorear la celda del tacho observando la viscosidad de la muestra cada 30 minutos.

26.- Observar que el material (formación de núcleos cristalinos) alcance el nivel esperado del 100% de capacidad, el tiempo de espera es de 3 a 4 horas, posteriormente cierre las válvulas de alimentación.

27.- Monitorear los grados brix, al llegar a 97 se llevan a cabo indicaciones de paro y descarga de la templa (recuerde abrir la válvula de rompe vacío hasta llegar a 5 pulgadas de mercurio para poder descargar la templa).

28- Cerrar las válvulas de alimentación (vapor y línea de agua de inyección al condensador).

29.- Abrir la compuerta de descarga una vez que se haya descargado toda la masa en la porta templeas una vez finalizado debe cerrarla.

30.-Realizar el corte de la templa abriendo la válvula al Granero o Semillero de C dejando 2 pies en el semillero o para alimentar al tacho 12 o a los de B.

31.- Tomar una muestra de la sonda situado en el tacho y coloque la muestra en un cristal para observar el crecimiento del núcleo cristalino en la templa haciendo uso de una lupa.

31.1.- Llevar la muestra observada con la lupa a observar al microscopio haciendo uso de análisis digital donde el tachero mediante el uso del programa EUROMEX MICROSCOPEN BV podrá observar el tamaño de la semilla y determinará la uniformidad de este siendo de 3 μ m.

32.- Realizar la descarga del pie de templa a las centrifugas de C para separar la semilla de azúcar y la miel mediante el uso de la fuerza centrífuga después de la separación la miel de regresará a alimentar a los tachos tal como se muestra en el diagrama de flujo del proceso de cristalización correspondiente a la figura 12.

33.- Preparar el tacho 12 con los parámetros mencionados en la Tabla 7 y envíe 1 pie de templa para obtener una templa de tercera de 1 pie siguiendo los puntos 25 a 30, el tiempo de preparación es de 4 a 5 horas aproximadamente, después repita el punto 31 y finalmente descargue la muestra a la porta templeas de C.

34.- Preparar el tacho 12 con los parámetros mencionados en el punto 22, pero ahora tome los 2 pies del semillero de C, haga crecer la semilla de azúcar alcanzado el 100% de la capacidad del tacho, realice un corte de templa enviando al semillero de C un pie de templa, repita el punto 31.

35.- Preparar el tacho 12 con los parámetros mencionados en el punto 22, alimente el tacho 12 con el pie de templa restante ubicado en el semillero de C, haga crecer la semilla de azúcar alcanzado el 100% de la capacidad del tacho, repita el paso 31 y descargue la muestra a la porta templeas de C

36.- Repetir el procedimiento desde el punto 22 para obtener más templeas de C y dar seguimiento al proceso de crecimiento de cristales en los tachos de B y A.

4.2. TAMIZADO.

Se utiliza azúcar glass de la marca “AZÚCAR REFINADA POTRERO” como materia prima para la elaboración de núcleo cristalino de sitio tal como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Azúcar Refina Potrero. (Morales, 2022)

La característica de núcleo cristalino es por el tamaño en “3 μm ” es por ello por lo que se debe emplear un juego de tamices poder alcanzar el tamaño idóneo. En Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V. se lleva a cabo el tamizaje en el Laboratorio de Fábrica en el área de crudo, los tamices requeridos son: 70, 450, 635 y finos respectivamente, siendo colocada la muestra de azúcar glass en la malla No. 70 tal como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Tamices empleados para obtener la muestra de cristal idónea. (Morales, 2022)

El juego de mallas es colocado en el tamizador, se enciende el equipo programándolo a un tiempo de 10 minutos.



Figura 16. Tamizador. (Morales, 2022)

Posteriormente el azúcar glass que se encuentra en la malla no. 450 es la muestra usada para generar los núcleos cristalinos que se prepararán en durante la zafra, esta

malla tiene una abertura de 0.032mm. Los tacheros ocupan aproximadamente 3 bolsas de 4Kg. del fino de azúcar glass en un día de jornada laboral (1 bolsa por cada turno), la zafra tiene un periodo de 190 días es por ello por lo que se deben obtener 570 bolsas de 4Kg. de azúcar glass.



Figura 17. Bolsas de azúcar glass empleadas para la elaboración de núcleos cristalinos. (Morales, 2022)

4.3. TACHOS. DE C.

El proceso de preparación de los núcleos cristalinos es vital para dar origen a las masas cocidas o templadas que se producen en el interior de los tachos de C 11 y 12, los tachos cumplen un papel importante ya que son estos equipos los que se encargan de desarrollar (crecer) los núcleos formando así la semilla que se empleará en los tachos de B.

A continuación, en las siguientes Figura 18 y 19 se contemplan los tachos que son aprovechados para la elaboración de templadas de tercera.



Figura 18. Tacho No. 11. (Morales, 2022)



Figura 19. Tacho No. 12. (Morales, 2022)

El tachero u operador de turno debe de preparar el tacho para dar inicio con la operación, para este caso los tachos de C deben cumplir con los siguientes parámetros:

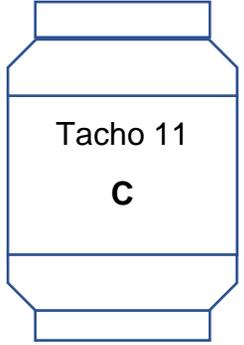
PARAMETROS EN TACHO 11	
 <p>Tacho 11 C</p>	Grados Brix: 95 – 97
	Temperatura: 65 °C
	Psi: 22 in Hg.
	Presión de vapor: 10 – 12 lbs
	Miel A 60 - 65%
	Meladura: 20 - 25%
	Pureza de la Masa C: 415

Tabla 6. Parámetros requeridos para el Tacho 11. Elaboración de Templa de 4 pies.
(IAA, 2022)

En la Tabla 6. Se muestran los parámetros que se requieren para que el tacho 11 inicie operar, para ello el tachero de turno debe de monitorear las válvulas constantemente, cabe mencionar que este tacho es el único tacho que se opera automatizado, cuando el Tacho cumple con los parámetros requeridos, en el cono del tacho es introducido el núcleo cristalino y este lo absorberá para dar inicio con la formación de la templa de 4 pies. Esta templa o también conocida como “masa cocida” servirá para obtener otros pies de templa tal como se puede observar en la Figura 13.

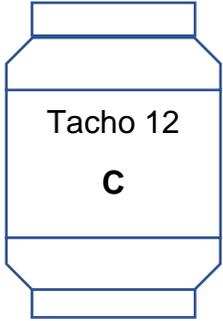
PARÁMETROS EN TACHO 12	
	Grados Brix: 95 – 97
	Temperatura: 65 °C
	Psi: 22 in Hg.
	Presión de vapor: 10 – 12 lbs
	Miel B: (40 – 50) %
	Masa de C: 2 pies.
	Pureza de la Masa C: 41

Tabla 7. Parámetros requeridos para el Tacho 12. Elaboración de Templá de 2 pies.
(IAA, 2022)

En la Tabla 7. Se muestran los parámetros que se requieren para que el tacho 12 inicie operar, para ello el tachero de turno debe de monitorear las válvulas constantemente, en este se hacen crecer los pies que se producen cuando se la templá se fragmenta y es mandada al granero tal como se muestra en la Figura 13.

4.3.1. ENSEMILLAMIENTO.

El tachero de turno se encarga de preparar la mezcla homogénea de los núcleos cristalinos empleando el fino obtenido del azúcar glass junto con el alcohol isopropílico tal como se menciona en el punto 24 del Capítulo 3. Cuando el tacho 11 logra alcanzar los parámetros, se procede a introducir la mezcla en el “cono o embudo” del tacho.



Figura 20. Preparación de núcleos cristalinos elaborados en sitio por el Tachero de turno. (Morales, 2022)



Figura 21. Ensemillamiento de los núcleos cristalinos en el Tacho No. 11 (Morales, 2022)

4.3.2. NÚCLEOS CRISTALINOS.

Durante el periodo de Zafra 2021 el Ingenio de Atencingo utilizó dos tipos de núcleos cristalinos siendo en su mayoría los del proveedor o línea de Química Lee y los de sitio elaborados por el propio Ingenio Azucarero.

Los tacheros de turno se encargaron de realizar el ensemillamiento de estos núcleos en el tacho 11, tal como se muestra en la Figura 21, donde la sobresaturación cumple un rol importante para que estos núcleos inicien a desarrollarse, para poder observar esto, el tachero experimentado saca una muestra, la observa mediante una lente contra luz como se aprecia en la Figura 22.



Figura 22. Tachero de turno observando la muestra de Masa Cocida de C. (Morales, 2022)

Posteriormente haciendo el uso del Análisis Digital y del programa EUROMEX MICROSCOPEN BV se pueden obtener imágenes claras sobre las semillas (núcleos cristalinos) presentes en la templa de 4 pies haciendo el uso del microscopio con el objetivo 10X como se muestra a continuación en la Figura 23.



Figura 23. Análisis Digital de los núcleos cristalinos. (Morales, 2022)

CAPÍTULO V. RESULTADOS.

Durante el periodo de Zafra correspondiente a noviembre 2021 a mayo 2022, se obtuvieron imágenes donde se observa el tamaño de los cristales en las distintas masas cocidas de A, B y C, las siguientes Figuras 24 y 25 se observa la presencia de los cristales presentes en la templa de C.

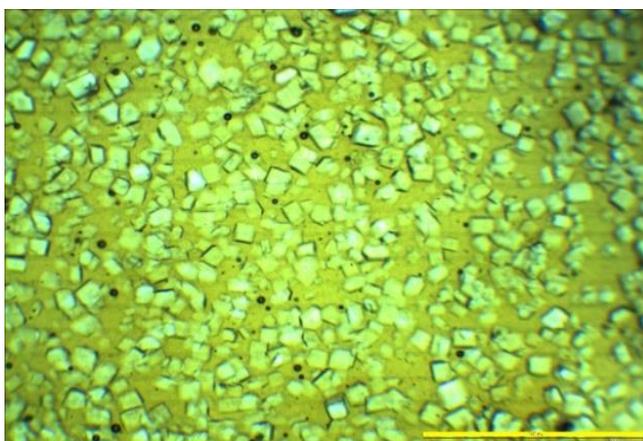


Figura 24. Semilla de núcleos cristalinos presentes en el Tacho 11. (IAA, 2021)

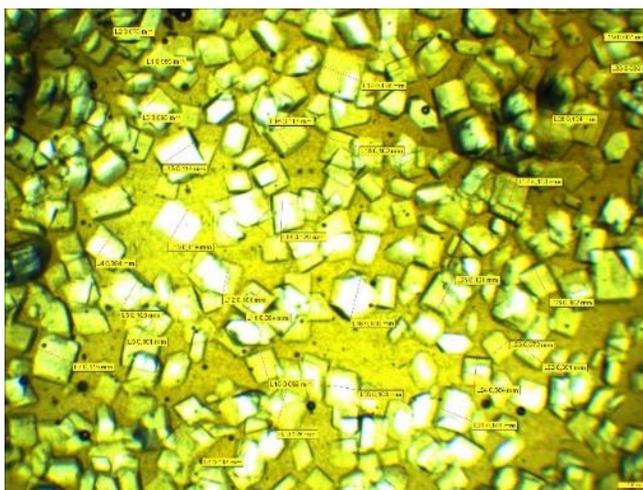


Figura 25. Semilla de núcleos cristalinos presentes en el Tacho 12. (IAA, 2021)

5.1. RENDIMIENTO DE CRISTALES EN LAS TEMPLAS DE C, B Y A.

En la siguiente Tabla 8 se aprecia el consumo de núcleos cristalinos de línea en la Zafra 2021 – 2022.

Consumo de Núcleos Cristalino de línea.			
En Zafra (15.11.21 – 30.04.22). (Kg)	Días	Con Alcohol Isopropílico	Sin Alcohol Isopropílico
1600	167	9.58	6.39

Tabla 8. Consumo de Núcleos Cristalinos de línea en la temporada de Zafra (noviembre 2021 - abril 2022). (IAA, 2021)

El consumo de núcleos cristalinos en este periodo de zafra fue de 1600 Kg de acuerdo con (IAA, 2021). A partir de estos datos se determina que el consumo real de los núcleos cristalinos sin el alcohol isopropílico fue de 1,067.13 Kg.

Tomando como referencia los primeros diez días de la presente zafra (noviembre. 2022 - mayo 2023) en la Tabla 9 podemos observar el consumo de los núcleos cristalinos de sitio.

Consumo de núcleos cristalinos de sitio.		
En Zafra (17 – 27) 2022 (Kg)	Días	Sin Alcohol Isopropílico.
95	10	9.5

Tabla 9. Consumo de núcleos cristalinos en los primeros 10 días de Zafra (2022 - 2023)

Para obtener los valores correspondientes a las templas de C, B y A se toma como referencia la Cruz o Diagrama de Cobence para determinar la Pureza de los Rendimientos en cada Templo.

Ecuación 1. Cruz de Cobence (Rein, 2012)

$$\%R. C. = \frac{Pza. Masa - Pza. Miel}{100 - Pza. Miel} \times 100$$

Donde:

- R.C= Rendimiento de Cristales
- Pza. Masa= Pureza de la Masa (C, B y A)
- Pza. Miel= Pureza de la Miel (C, B y A).

De acuerdo con la información obtenida de Industrial Azucarera Atencingo durante la zafra 21 -22 se emplearon dos tipos de núcleos cristalinos “línea y sitio”, estos fueron desarrollándose hasta formar las templas, aplicando la ecuación 1, los siguientes rendimientos de templas de C, B y A se muestran a continuación en la Tabla 10.

Promedio Semanal de Rendimientos de Cristales durante Zafra (2021 – 2022)						
SEMANAS	TEMPLA C (R.S.)	R.E.	TEMPLA B (R.S.)	R.E.	TEMPLA A (R.S.)	R.E.
1	61.108	41	47.171	53	47.823	50

2	43.457	41	50.967	53	55.405	50
3	45.114	41	50.403	53	52.927	50
4	39.303	41	48.554	53	53.422	50
5	42.192	41	50.677	53	53.202	50
6	40.853	41	51.326	53	52.91	50
7	40.093	41	52.903	53	53.41	50
8	40.169	41	50.963	53	54.021	50
9	43.259	41	51.157	53	52.219	50
10	38.81	41	50.235	53	52.471	50
11	41	41	53	53	50	50
12	38.801	41	51.832	53	52.6	50
13	39.887	41	50.947	53	53.165	50
14	42.114	41	51.943	53	53.414	50
15	40.94	41	52.31	53	53.642	50
16	43.976	41	54.364	53	50.385	50
17	41.2	41	51.675	53	52.676	50
18	41.619	41	51.467	53	53.627	50
19	40.217	41	50.72	53	53.068	50
20	41.083	41	51.22	53	56.655	50
21	38.917	41	46.451	53	53.705	50
22	39.756	41	49	53	52.85	50
23	37.969	41	48.109	53	54.525	50
24	40.18	41	48.379	53	54.296	50
25	39.139	41	48.709	53	54.977	50
26	38.867	41	51.385	53	52.978	50
27	37.856	41	48.637	53	53.84	50

Tabla 10. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templos de C, B y A. en la Zafra 2021 - 2022. (IAA, 2021)

Los datos mostrados en la tabla 10 son el promedio semanal de los rendimientos de cristales en las plantas C, B y A, cada tacho posee un rendimiento estándar, para los tachos de C el rendimiento estándar es de 41%, para B el 53% y finalmente para A el 50%.

5.1.1. TEMPLAS DE C.

Los datos presentes en la Tabla 11 corresponden a los rendimientos de cristales en las plantas de C, la Tabla 12 la diferencia de los promedios de los rendimientos de cristales empleando los dos tipos de núcleos cristalinos (sitio y línea) y finalmente en la Tabla 13 se muestra la tendencia lineal que posee el comportamiento del gráfico.

Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Plantas de C.					
SEMANAS	TEMPLA C (R.S.)	RENDIMIENTO ESTÁNDAR	TENDENCIA LINEAL	T.L. +3D.E.	T.L.-3D.E.
1	61.108	41	45.02	50.59	39.45
2	43.457	41	44.74	50.32	39.17
3	45.114	41	44.46	50.04	38.89
4	39.303	41	44.19	49.76	38.61
5	42.192	41	43.91	49.48	38.33
6	40.853	41	43.63	49.20	38.06
7	40.093	41	43.35	48.92	37.78
8	40.169	41	43.07	48.65	37.50
9	43.259	41	42.79	48.37	37.22
10	38.81	41	42.52	48.09	36.94
11	41	41	42.24	47.81	36.66
12	38.801	41	41.96	47.53	36.39

13	39.887	41	41.68	47.25	36.11
14	42.114	41	41.40	46.98	35.83
15	40.94	41	41.12	46.70	35.55
16	43.976	41	40.85	46.42	35.27
17	41.2	41	40.57	46.14	34.99
18	41.619	41	40.29	45.86	34.72
19	40.217	41	40.01	45.58	34.44
20	41.083	41	39.73	45.31	34.16
21	38.917	41	39.45	45.03	33.88
22	39.756	41	39.18	44.75	33.60
23	37.969	41	38.90	44.47	33.32
24	40.18	41	38.62	44.19	33.05
25	39.139	41	38.34	43.91	32.77
26	38.867	41	38.06	43.64	32.49
27	37.856	41	37.78	43.36	32.21

Tabla 11. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templas de C. (IAA, 2021)

Rendimiento de Cristales en Templas de C (%).	
Rendimiento Estándar	41
Promedio del Rendimiento	41.40
Núcleos Cristalinos de línea	41.75
Núcleos Cristalinos de sitio	38.62

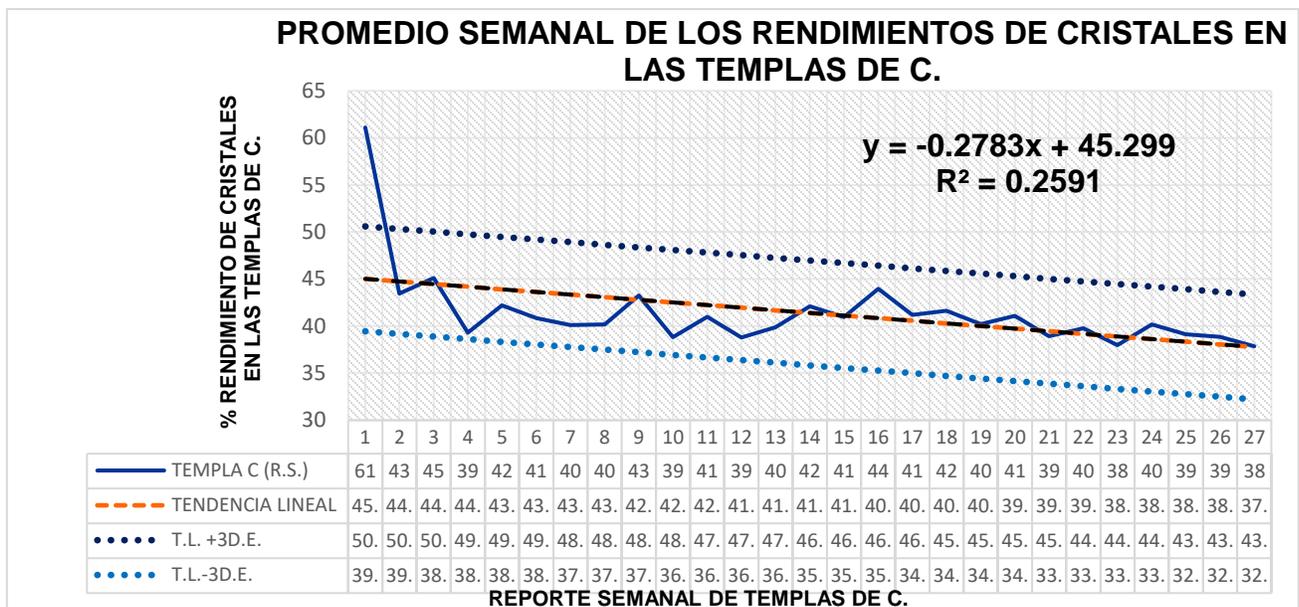
Tabla 12. Promedio de los Rendimientos de Cristales en las Templas de C empleando los núcleos cristalinos de sitio y línea.

En la Tabla 12 el rendimiento de cristales empleando los núcleos cristalinos de línea es de 41.75% cumpliendo satisfactoriamente con el rendimiento estándar de 41%

habiendo una diferencia del 0.35%, el uso de núcleos cristalinos de sitio es de 38.62% estando por debajo del rendimiento estándar con una diferencia del 2.78% en la Tabla 11 en las semanas 25 – 27 se observa que el rendimiento de cristales fue disminuyendo y esto se refleja en el Gráfico 1.

Línea de Tendencia en Templas de C.	
Desviación Estándar	1.86
3 Desviación Estándar	5.57
Promedio + 3 D.E.	46.98
Promedio + D.E.	43.26
Promedio -3 D.E.	35.83

Tabla 13. Línea de Tendencia en Templas de C.



Gráfica 1. Comportamiento del Rendimiento de Cristales en las Templas de C.

La Gráfica 1 muestra una variación en los resultados obtenidos rendimientos de cristales que se obtuvieron en las 27 semanas que duró la zafra. En la primera semana

el rendimiento de cristales de la templa fue elevado siendo de 61.108% fue superior al rendimiento estándar de 41%, en total 10 semanas fueron las que obtuvieron un rendimiento superior al estándar, la semana 11 tuvo un rendimiento exacto al rendimiento estándar y 16 semanas obtuvieron un rendimiento menor al rendimiento estándar y esto se puede observar en la Tabla 11, la tendencia lineal comprueba lo mencionado anteriormente. La aplicación de las tres desviaciones estándar en el presente gráfico determina el control que se tuvo en la elaboración de las templas en los Tachos de C siendo este poco estable.

5.1.2. TEMPLAS DE B.

Los datos presentes en la Tabla 14 corresponden a los rendimientos de cristales en las templas de B, la Tabla 15 la diferencia de los promedios de los rendimientos de cristales empleando los dos tipos de núcleos cristalinos (sitio y línea) y finalmente en la Tabla 16 se muestra la tendencia lineal que posee el comportamiento del gráfico.

Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templas de B.					
SEMANAS	TEMPLA B (R.S.)	RENDIMIENTO ESTÁNDAR	TENDENCIA LINEAL	T.L. +3D.E.	T.L.-3D.E.
1	47.171	53	51.14	56.73	45.56
2	50.967	53	51.10	56.68	45.52
3	50.403	53	51.05	56.63	45.47
4	48.554	53	51.00	56.59	45.42
5	50.677	53	50.96	56.54	45.38
6	51.326	53	50.91	56.49	45.33
7	52.903	53	50.86	56.45	45.28
8	50.963	53	50.82	56.40	45.24
9	51.157	53	50.77	56.35	45.19

10	50.235	53	50.72	56.30	45.14
11	53	53	50.68	56.26	45.10
12	51.832	53	50.63	56.21	45.05
13	50.947	53	50.58	56.16	45.00
14	51.943	53	50.54	56.12	44.96
15	52.31	53	50.49	56.07	44.91
16	54.364	53	50.44	56.02	44.86
17	51.675	53	50.40	55.98	44.82
18	51.467	53	50.35	55.93	44.77
19	50.72	53	50.30	55.88	44.72
20	51.22	53	50.26	55.84	44.68
21	46.451	53	50.21	55.79	44.63
22	49	53	50.16	55.74	44.58
23	48.109	53	50.12	55.70	44.54
24	48.379	53	50.07	55.65	44.49
25	48.709	53	50.02	55.60	44.44
26	51.385	53	49.98	55.56	44.40
27	48.637	53	49.93	55.51	44.35

Tabla 14. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templos de B.
(IAA, 2021)

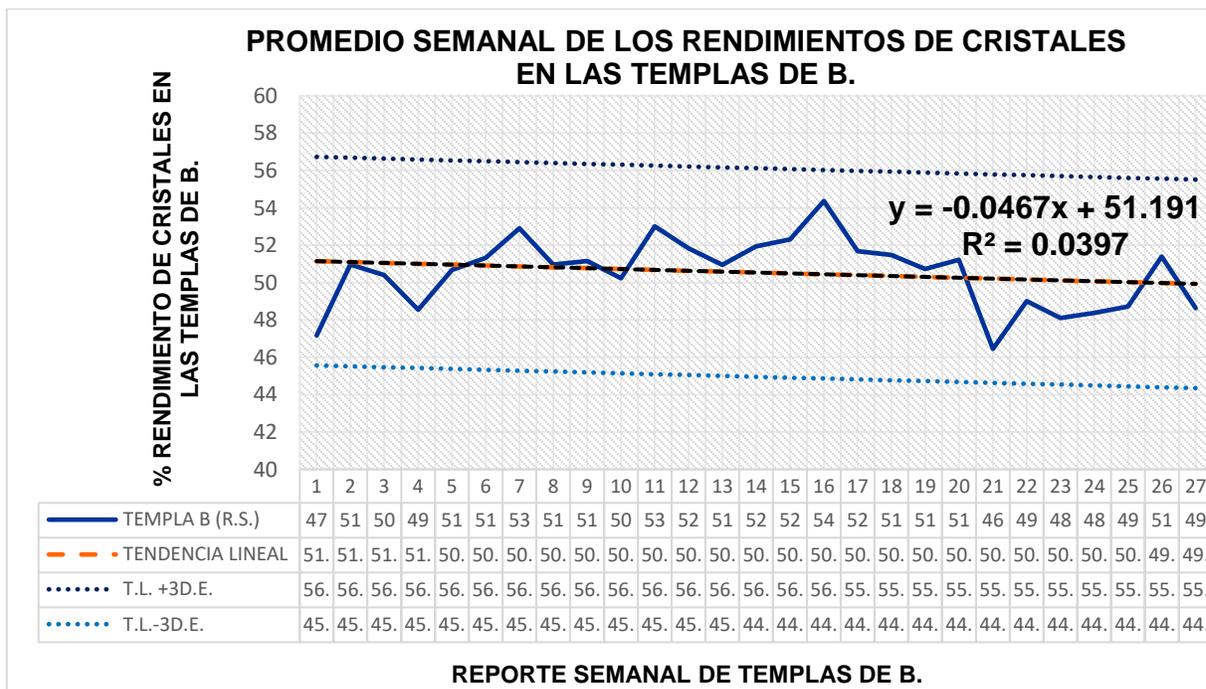
Rendimiento de Cristales en Templos de B (%).	
Rendimiento Estándar	53
Promedio del Rendimiento	50.54
Núcleos Cristalinos de línea	50.66
Núcleos Cristalinos de sitio	49.58

Tabla 15. Promedio de los Rendimientos de Cristales en las Templos de B
empleando los núcleos cristalinos de sitio y línea.

En la Tabla 15 el rendimiento de cristales en las plantas de B fue considerablemente bajo para el rendimiento estándar de 53%, en las primeras 24 semanas se emplearon núcleos cristalinos de líneas, el promedio del rendimiento de las plantas de B es de 50.66% siendo un valor cercano en comparación con el rendimiento de las últimas 3 semanas donde utilizaron los núcleos cristalinos de sitio dando como resultado el 49.58% teniendo una diferencia de 3.42% con el rendimiento estándar, en la Tabla 14 en las semanas 25 – 27 se observa que el rendimiento de cristales en las plantas de B fue bajo y esto se refleja en el Gráfico 2.

Línea de Tendencia en Plantas de B	
Desviación Estándar (D.E.)	1.86
3 Desviación Estándar	5.58
PROMEDIO + 3D.E.	56.12
PROMEDIO + D.E.	52.40
PROMEDIO -3D.E.	44.96

Tabla 16. Línea de Tendencia en Plantas de B.



Gráfica 2. Comportamiento del Rendimiento de Cristales en las Plantas de B.

El rendimiento estándar nos indica el porcentaje de cristales deseados en los Tachos de B, en la Gráfica 2 como se puede analizar, presenta una mayor variación en los resultados obtenidos, donde el rendimiento de las plantas de B fue bajo en comparación al estándar y esto se observa en la Tabla 15 teniendo una media de 50.54%, dando como resultado una diferencia del 2.46%.

Durante las 27 semanas que duró la zafra únicamente 2 semanas fueron las que estuvieron dentro de los estándares esperados, la semana 11 tuvo un rendimiento exacto al rendimiento estándar siendo de 53%, la semana 16 fue la tuvo un rendimiento superior siendo de 54.364%, lo mencionado anteriormente se puede observar en la Tabla 14, la tendencia lineal comprueba lo mencionado anteriormente. La aplicación de las tres desviaciones estándar en el presente gráfico se puede determinar el control que se tuvo en la elaboración de las plantas de B, al haber una gran variabilidad de los datos nos indica que el proceso presentó inestabilidad con las entradas que alimentan a los Tachos de B.

5.1.3. TEMPLAS DE A.

Los datos presentados a continuación en la Tabla 17 corresponden a los rendimientos de cristales en las plantas de B, la Tabla 18 la diferencia de los promedios de los rendimientos de cristales empleando los dos tipos de núcleos cristalinos (sitio y línea) y finalmente en la Tabla 19 se muestra la tendencia lineal que posee el comportamiento del gráfico.

Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Plantas de A.					
SEMANAS	TEMPLA A (R.S.)	RENDIMIENTO ESTÁNDAR.	TENDENCIA LINEAL	T.L. +3D.E.	T.L.- 3D.E.
1	47.823	50	52.07	57.14	47.00
2	55.405	50	52.15	57.21	47.08

3	52.927	50	52.22	57.29	47.15
4	53.422	50	52.30	57.36	47.23
5	53.202	50	52.37	57.44	47.30
6	52.91	50	52.45	57.51	47.38
7	53.41	50	52.52	57.59	47.45
8	54.021	50	52.60	57.66	47.53
9	52.219	50	52.67	57.74	47.60
10	52.471	50	52.75	57.81	47.68
11	50	50	52.82	57.89	47.75
12	52.6	50	52.89	57.96	47.83
13	53.165	50	52.97	58.04	47.90
14	53.414	50	53.04	58.11	47.98
15	53.642	50	53.12	58.19	48.05
16	50.385	50	53.19	58.26	48.13
17	52.676	50	53.27	58.34	48.20
18	53.627	50	53.34	58.41	48.28
19	53.068	50	53.42	58.49	48.35
20	56.655	50	53.49	58.56	48.43
21	53.705	50	53.57	58.64	48.50
22	52.85	50	53.64	58.71	48.58
23	54.525	50	53.72	58.78	48.65
24	54.296	50	53.79	58.86	48.73
25	54.977	50	53.87	58.93	48.80
26	52.978	50	53.94	59.01	48.88
27	53.84	50	54.02	59.08	48.95

Tabla 17. Promedio Semanal del Rendimiento de Cristales en las Templos de A.
(IAA, 2021)

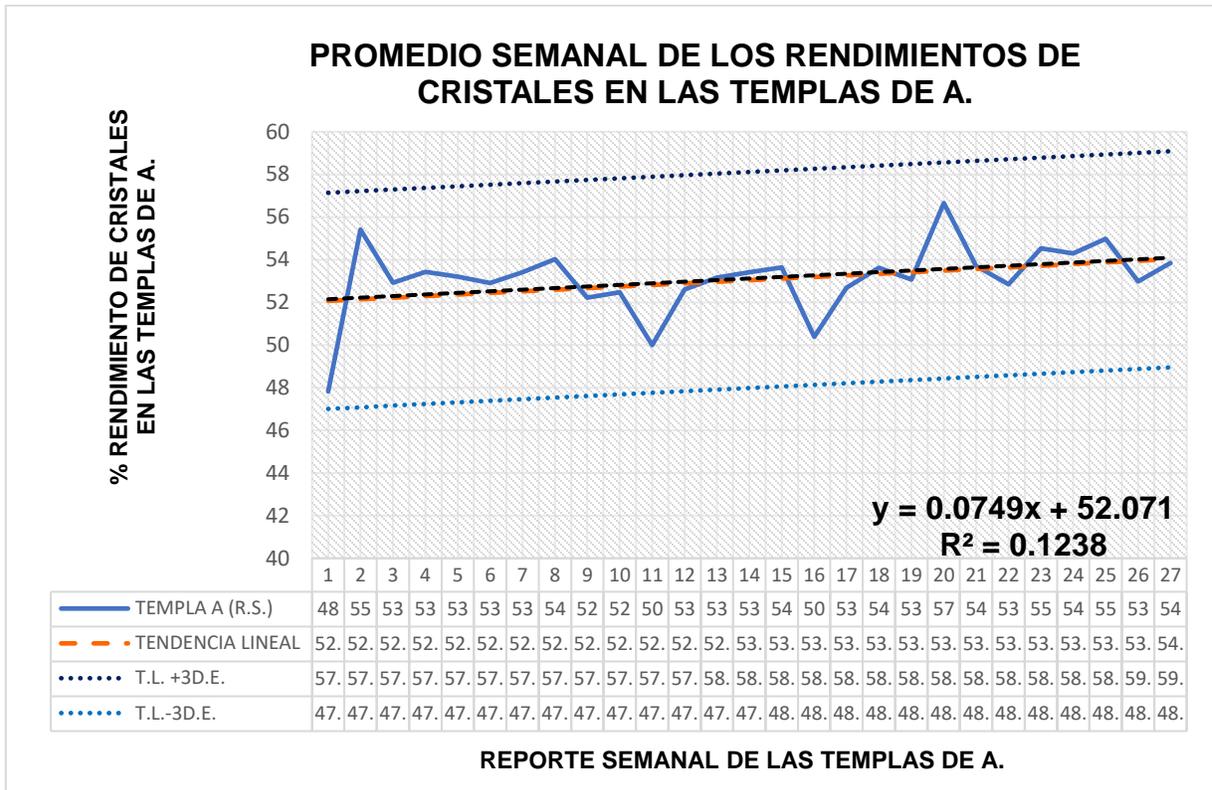
Rendimiento de Cristales en Templas de C (%).	
Rendimiento Estándar	50
Promedio del Rendimiento	53.12
Núcleos Cristalinos de línea	53.02
Núcleos Cristalinos de sitio	53.92

Tabla 18. Promedio de los Rendimientos de Cristales en las Templas de A empleando los núcleos cristalinos de sitio y línea.

En la Tabla 18 el rendimiento de cristales en las templas de A fue óptimo, debido a que rendimiento estándar de 50%, en las primeras 24 semanas se emplearon núcleos cristalinos de líneas, el promedio del rendimiento de estos es de 53.02% siendo un valor mayor en comparación con el rendimiento estándar, por otra parte, en las últimas 3 semanas donde utilizaron los núcleos cristalinos de sitio fueron de igual forma óptimos siendo de 53.94%. En la tabla 17 observamos que 25 datos se encuentran por encima del rendimiento estándar generando así una línea de tendencia ascendente y esto se puede comprobar en la Gráfica 3.

Línea de Tendencia en Templas de A.	
Desviación Estándar (D.E.)	1.69
3 Desviación Estándar	5.07
PROMEDIO + 3D.E.	58.19
PROMEDIO + D.E.	54.81
PROMEDIO -3D.E.	48.05

Tabla 19. Línea de Tendencia en Templas de A.

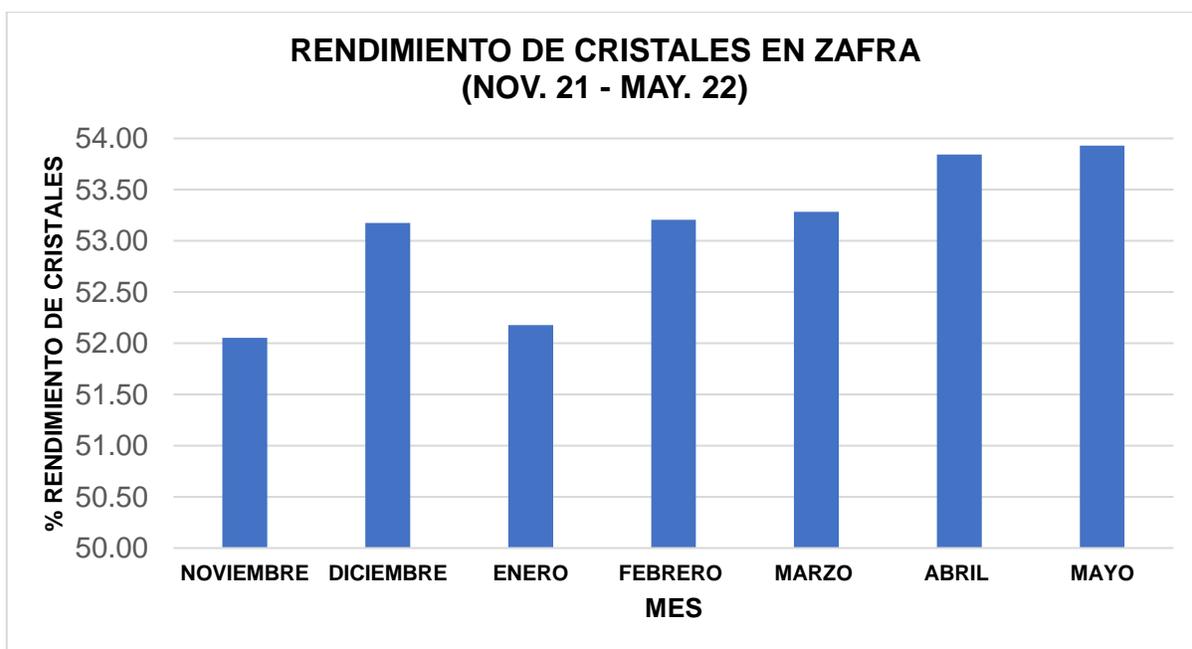


Gráfica 3. Comportamiento del Rendimiento de Cristales en las Templos de A.

El rendimiento de cristales obtenido en las templos de A es aceptable, de acuerdo con la Tabla 18 observamos que el promedio final es de 53.12% estando 3.12% arriba del rendimiento estándar. En la Gráfica 3 se aprecia una variación en los rendimientos de cristales a lo largo de las 27 semanas que duro la Zafra, observando el gráfico, en la semana 20 se obtuvo un rendimiento del 56.655% teniendo un crecimiento considerable, la tendencia lineal nos indica que los datos obtenidos en 10 semanas son los que se acercan más al comportamiento deseado y para ello fue necesario emplear la desviación estándar para así corroborar que en la semanas 1, 2, 11, 16 y 20 no hubo un control en el proceso de elaboración de las templos de primera indicando así que el proceso presentó inestabilidad con las entradas que alimentan a los Tachos de A.

RENDIMIENTOS DE NUCLEOS CRISTALINOS POR MES.							
Núcleo Cristalino	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Línea	52.05	53.17	52.18	53.21	53.28	53.84	53.93
Sitio	53.93	53.93	53.93	53.93	53.93	53.93	
Diferencia	1.87833333	0.7558	1.75225	0.72475	0.6478	0.086	0

Tabla 20. Comparación del Rendimiento de Núcleos Cristalinos empleados por mes durante la Zafra.



Gráfica 4. Rendimiento de Núcleos Cristalinos empleados por mes durante la Zafra.

Los tachos cumplen un papel importante en el proceso de elaboración de azúcar estándar en el Ingenio de Atencingo, estos equipos son operados por los tacheros de turno junto a sus auxiliares, son las personas encargadas de monitorear constantemente los parámetros correspondientes en cada tacho.

En el periodo de Zafra anterior (noviembre 2021 – mayo 2022) los tacheros utilizaron dos tipos de semillas o núcleos cristalinos (sitio y línea), dando inicio con el

ensemillamiento en los Tachos de C (11 y 12), el Tacho 11 se opera de forma automatizada, los parámetros son controlados por el Tachero y supervisados por el personal del área de Elaboración, cuando el tacho alcanza las condiciones idónea como la temperatura en 63°, Psi en 18 in Hg y grados brix de la miel B así como en la Meladura, es cuando se lleva a cabo el ensemillamiento, el proceso de cocción de las masas cocidas de C también conocidas como “templás” de C dura alrededor de 3 – 4 horas.

La templa de C donde se lleva a cabo el ensemillamiento es conocida como templa de tercera y es seccionada en partes, el proceso de esta templa se muestra en la Figura 21, cuando las templás de 1 pie se desarrollan, el tachero descarga la templa al porta templás y después continua su proceso pasando a las centrifugas de C y mediante la fuerza centrífuga que se lleva a cabo en el interior del equipo se obtiene la separación de la miel C (melaza) y semilla de C, posteriormente ambos productos se recirculan, la miel es depositada a los tanques de miel final, la semilla de C es destinado al Semillero de C donde los Tachos de B ocuparan esta semilla para continuar el proceso mostrado en la Figura 12.

Los tacheros se encargan de llevar a cabo el buen ensemillamiento donde depende el rendimiento que se obtiene en dichas templás.

El rendimiento de cristales estándar para las templás de C es de 41% generando así 69% de miel, en las templás de B el rendimiento de cristales es de 53% y 47% de miel y finalmente en las templás de A el rendimiento es del 50% y 50% de miel.

De acuerdo con los valores obtenidos de los rendimientos de cristales en el periodo de zafra 21 - 22 y mostrado en la Tabla 10, en las templás de C únicamente en 10 semanas fueron las que cumplieron con el rendimiento estándar requerido estando por arriba del 41%, cabe mencionar que en las primeras 24 semanas se emplearon los núcleos cristalinos de línea y en las últimas 3 se emplearon núcleos cristalinos de sitio, en la Tabla 11 se observan los distintos promedios, las templás de C que fueron ensemilladas con los núcleos cristalinos de línea, logrando un rendimiento favorable

del 41.75%, el ensemillamiento con núcleos cristalinos de sitio generó un promedio de 38.65% estando por debajo del rendimiento estándar.

En la tabla 11 encontramos 16 valores que están por debajo el promedio estándar y la variación de los datos es notorio y esto se aprecia en la Gráfica 1 teniendo una tendencia descendente, esto se corrobora al obtener la línea de tendencia, el propósito es mostrar que la dispersión de los datos se debió un bajo control operacional en el proceso de desarrollo de las plantas, diversos factores fueron los que afectaron el proceso en esta tabulación observamos que de la semana 8 a la semana 12 el rendimiento de cristales estuvo cercano al estándar y esto se observa en el gráfico 1.

En la tabla 14 se encuentran recopilados los datos de los rendimientos que se obtuvieron en las plantas de B, únicamente 2 semanas (No. 11 y 16) fueron las que obtuvieron un rendimiento aceptable, estuvo por debajo del estándar. El promedio del rendimiento de cristales de las plantas de B donde se utilizaron núcleos cristalinos de línea dio un rendimiento del 50.66 y el promedio del rendimiento de las plantas que emplearon núcleos cristalinos de sitio fue de 49.58% ambos con presentaron un rendimiento bajo en comparación con el estándar que es de 53%.

En la Gráfica 2, se observa el comportamiento de los rendimientos de cristales a lo largo de las 27 semanas que duró la zafra, presentando un comportamiento similar al Gráfico 1, de igual forma se obtuvo la tendencia lineal haciendo uso de la desviación estándar con el fin de analizar la variabilidad presente en el gráfico, siguiendo la línea de tendencia la cual es descendente observamos que los valores de las semanas 1, 4, 21, 22, 23 y 25 tuvieron un rendimiento menor al 50% afectando así la línea de tendencia del gráfico

En la Tabla 17 se muestran los promedios semanales de los rendimientos de cristales en las Plantas de A, analizando esta tabla observamos que 25 datos superan el rendimiento estándar del 50%, siendo la semana 20 la que destacó con un 56.65%, el

promedio mostrado en las plantas se encuentra en la Tabla 18 y a su vez se obtienen por separado los promedios de los rendimientos por cada tipo de núcleo cristalino empleado en esta zafra.

La Gráfica 3 tiene una tendencia ascendente logrando obtener una mejora en el proceso, sin embargo, también indica que no hubo un control durante el proceso a pesar de obtener resultados positivos. En la línea de tendencia apreciamos que alrededor de 11 datos de los 27 se encuentran más cercanos a la línea de tendencia indicando así un control de operación.

Finalmente, en la tabla 20 se observa el promedio de los rendimientos de cristales por cada mes, siendo mayo el que mayor rendimiento obtuvo indicando que el uso de núcleos cristalinos de sitio generó más azúcar que el resto de los meses y el Gráfico 4 muestra su comportamiento

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIÓN.

El ensemillamiento en los tachos de C es un proceso importante ya que en estos se empezará a desarrollar el núcleo cristalino que fue sembrado, las templas de tercera alimentan las templas de segunda y estas a su vez a las templas de primera evocando así en los cristales de azúcar conocidos.

Para que el proceso cumpla con los estándares establecidos a inicios de zafra los operadores o tacheros deben de respetar los parámetros correspondientes en los tachos de C, B y A. ya que impactará significativamente en los rendimientos de las templas.

Los datos proporcionados por Industrial Azucarera Atencingo muestran una notoria variación semanalmente en cada una de las templas de C, B y A.

El uso de núcleos cristalinos de sitio si generó impacto en los rendimientos de cristales de azúcar. En las primeras 24 semanas se estuvieron empleando núcleos cristalinos de línea (noviembre – abril) y en el mes de mayo se utilizaron los núcleos cristalinos de sitio, observando la tabla 20 el mes de mayo fue el que mayor rendimiento de cristales en comparación con noviembre logrando obtener una diferencia del 1.8% y enero con 1.75%, finalmente el mes de abril con un 53.84% fue el que estuvo más cerca del rendimiento obtenido en mayo con un 53.93%.

6.2. RECOMENDACIONES.

- ✓ Llevar un registro de la medición del tamaño de los granos de azúcar de C utilizando el microscopio y el programa EUROMEX MICROSCOPEN BV.
- ✓ Emplear los dos tipos de núcleos cristalinos en la siguiente temporada de zafra (empleando en las primeras 14 semanas el núcleo cristalino de sitio y en las últimas 13 semanas el núcleo cristalino de línea) para así determinar cuál proporciona un mejor rendimiento en la temporada de Zafra.

BIBLIOGRAFÍA.

1. AGROKREBS. 2021. "Morfología de la caña".
<https://agrokrebs.mx/?s=ca%C3%B1a+de+azucar>
Fecha de consulta: 11.08.2022
2. Bautista, E., and et. al. 2011. "Desarrollo de métodos eficaces para la obtención de semillas para la cristalización de masas B de blanco y masa A de blanco. Edit. Guatemala. Pags: 1-147
3. Badui, D., S. 2006. "Química de los Alimentos". Edit. Pearson Educación. 4ta. Ed. Pags: 48:52
4. Bernal, R. A. 2020. "Técnicas de Cristalización".
<https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259.3/63/21.3%20-%20T%E9cnicas%20de%20Cristalizaci%F3n%20y%20Sublimaci%F3n.pdf;jsessionid=E5F1BEF26F9099565A953407BCDE2915?sequence=11>
Fecha de consulta: 06.06.2023
5. Bolaños, R. E. 2000. "Control y optimización de las condiciones de operación de cristalizadores batch por enfriamiento". Obtenido de Tesis Tesis para la obtención del título de Doctor en Ciencias en Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya Guanajuato, México.
6. DOF (Diario Oficial de la Federación). 2004. "NMX-F-084-SCFI-2004".
https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C10_NMX-F-084-SCFI-2004_R0_4MAR2004.pdf
Fecha de consulta: 26.08.2022

7. FIRA (Fideicomisos Institucionales en Relación con la Agricultura). 2019. "Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. AZÚCAR 2019".
<https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=83322>
Fecha de consulta: 25.05.2023
8. García, P., N. 2015. "Caña de azúcar: Generalidades y factores agrometeorológicos".
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/34813/secme-19851.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=%2D%20Los%20factores%20externos%20son%20la,esqueje%20y%20su%20estado%20nutricional>.
Fecha de consulta: 25.08.2022
9. GOB (Gobierno de México). 2018. "La caña de azúcar y su importancia para la industria azucarera". <https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/la-cana-de-azucar-y-su-importancia-para-la-industria-azucarera?idiom=es>
Fecha de consulta: 11.08.2022
10. González, S., J., M., 2017. "Optimización de Cristalizado en Elaboración de Azúcar Refinada". <http://reini.utcv.edu.mx/bitstream/123456789/342/1/006079-Optimizaci%C3%B3n%20de%20Cristalizado%20en%20Elaboraci%C3%B3n%20de%20Az%C3%BAcar%20Refinada.pdf>
Fecha de consulta: 17.09.2022
11. Honig, P. 1982. "Principios de Tecnología Azucarera. Edit. México Continental. 1ª Ed. Pags: 229:48
12. IAA (Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.). 2022. "Proceso de Elaboración de Azúcar Estándar en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.". Obtenido de Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.

13. IAA (Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.). 2022. "Proceso de Cristalización en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.". Obtenido de Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.
14. IAA (Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.). 2022. "Proceso de Elaboración de Ensemillamiento de los Núcleos en los Tachos No. 11 y 12 en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.". Obtenido de Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.
15. IAA (Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.). 2021. "Tamaño de núcleos cristalinos presentes en el inicio de zafra correspondientes a 2021". Obtenido de área de Elaboración en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.
16. IAA (Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.). 2022. "Uso de la merma obtenida durante la Zafra en Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.". Obtenido de Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.
17. López, B. 2014. "Análisis de agotamiento de miel final en ingenios de Guatemala: Métodos para hacer semilla, análisis cristalográfico y variables de agotamiento. Edit. Guatemala. Pags: 22:28
18. López, B. 2017. "ANÁLISIS DE AGOTAMIENTO DE MIEL FINAL EN INGENIOS DE GUATEMALA: MÉTODOS PARA HACER SEMILLA, ANÁLISIS CRISTALOGRAFICO Y VARIABLES DE AGOTAMIENTO".
<https://cengicana.org/files/20150828053618871.pdf>
Fecha de consulta: 21.08.2022
19. Morales, M. H., O. 2022. "Figura 8. Laboratorio de Fábrica". Obtenido de: Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.

20. Morales, M., H., O. 2022. "Figura 14. "Tachos empleados en el Proceso de Cristalización en el área de Elaboración". Obtenido de: Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.
21. Morales, M., H., O. 2022. Figura 16. "Centrifugas de C". Obtenido de: Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.
22. Morales, M., H., O. 2022. Figuras 22:5 "Proceso de Tamizado e". Obtenido de: Industrial Azucarera Atencingo S.A. de C.V.
23. Mulet, H., M., and et. al. 2016. "Automatización del tacho cristizador de azúcar crudo del central Julio Antonio Mella".
<https://www.redalyc.org/journal/4455/445546335008/html/>
Fecha de consulta: 29.10.2022
24. Ninela, M., Rajoo, N. 2006. Practical steps taken at Tongaat-Hulett sugar factories to achieve low target differences. Sudáfrica. pp 448:53
25. Ovando, C. 2008. "Evaluación del tamaño de los cristales de azúcar en la suspensión alcohólica (semilla) utilizada en el proceso de cristalización".
cengicana.org/files/20150902101621277.pdf
Fecha de consulta: 15.09.2022
26. Perry, R., H., Green, D. 2008. "Manual del Ingeniero Químico". Edit. McGraw-Hill. 8va. Ed. Pags: 1960:67
27. Ramos, R., A., A. 2009. "Procesos de Elaboración del Azúcar y Etanol de la Caña". Edit. Valle Colombia. Vol. 400. Pags:121, 150:62, 180:5.
28. Rein, P., W. 2012. "INGIENIERÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR". Edit. Verlag Dr. Albert Bartens Kt. 2da. Ed. Pags: 409:20, 556.

29. Rosales, F. and et. al. 2017. "GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA PREPARACIÓN DE SEMILLA PARA CRISTALIZACIÓN EN LA INDUSTRIA AZUCARERA". cengicana.org/files/20170927174149261.pdf

Fecha de consulta: 11.09.2022

30. Rosales, F., Vega, R. 2017. "Análisis comparativo del proceso de preparación y maduración de semilla para cristalización de azúcar". https://www.researchgate.net/publication/320307640_ANALISIS_COMPARATIVO_DEL_PROCESO_DE_PREPARACION_Y_MADURACION_DE_SEMILLA_PARA_CRISTALIZACION_DE_AZUCAR

Fecha de consulta: 03.06.2023

31. SADR (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2020. "Caña de azúcar, una dulce producción". <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cana-de-azucar-una-dulce-produccion-237168>

Fecha de consulta: 11.08.2022

32. SADR (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019. "La producción de azúcar comienza en el ingenio". <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-produccion-de-azucar-comienza-en-el-ingenio?idiom=es#:~:text=El%20proceso%20para%20obtener%20az%C3%BAcar,%20cristalizaci%C3%B3n%20evaporado%20y%20secado.>

Fecha de consulta: 12.08.2022

33. SADR (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. "Caña de azúcar un cultivo de importancia para México". <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cana-de-azucar-un-cultivo-de-importancia-para-mexico?idiom=es>

Fecha de consulta: 28.05.2023

34. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. "FICHA TÉCNICA DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR Saccharum officinarum L.)". https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tecnica_Ca_a_de_Azucar.pdf

Fecha de consulta: 12.08.2022

35. Van der Poel, P., Schiweck, H., Schwartz, T. 1998. "Sugar Technology Beet and Cane Sugar Manufacture. Edit. Bartens. Pags: 649-702.

36. YARA. 2019. "Principios agronómicos en caña de azúcar". <https://www.yara.com.co/nutricion-vegetal/cana-de-azucar/principios-agronomicos-en-cana-de-azucar/>.

Fecha de consulta: 11.08.2022