



Optimización del coeficiente de variación del azúcar en función del tamaño de partícula de la semilla en un Ingenio del Valle del Cauca

Lenner Efrén España Narváez Diana Lizeth Sarria Jiménez

Corporación Universitaria Minuto de Dios. Ingeniería Agroindustrial

Guadalajara de Buga, Colombia

2022

Optimización del coeficiente de variación del azúcar en función del tamaño de partícula de la semilla en un Ingenio del Valle del Cauca

Lenner Efrén España Narváez Diana Lizeth Sarria Jiménez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Agroindustrial

Director (a):

Magister en Ingeniería Agroindustrial, Natalia Sofia Vargas Marín

Línea de Investigación: Procesos agroindustriales
GRUPO INVESTIGACIÓN GICIDET

Corporación Universitaria Minuto de Dios, Ingeniería Agroindustrial
Guadalajara de Buga, Colombia

2022

Dedicatoria.

Le dedicamos el resultado de este trabajo primeramente a Dios, a nuestras familias; a nuestros padres, quienes nos apoyaron y contribuyeron en los momentos difíciles, gracias por enseñarnos a afrontar esas dificultades sin perder nunca las ganas de seguir siempre adelante.

A nuestra coordinadora y mentora Natalia Sofia Vargas Marín, quien fue la persona que estuvo allí siempre orientándonos con su conocimiento y gran disciplina para formar profesionales íntegros y altamente capacitados.

Finalmente agradecemos también a todas las personas que contribuyeron directa e indirectamente en nuestro proceso de formación profesional.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

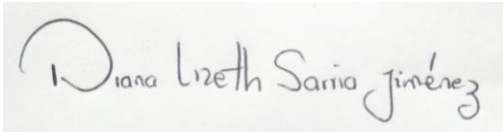
De acuerdo con la normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

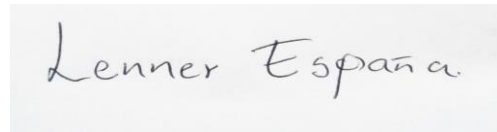
He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Nombres:



Diana Lizeth Sarria Jimenez



Lenner Efrén España Narvárez

Fecha: noviembre 10 de 2022

Agradecimientos

En primer lugar, agradecemos a la corporación universitaria Minuto de Dios, por darnos la oportunidad de superarnos integralmente como profesionales altamente calificados en Ingeniería Agroindustrial.

En segundo lugar, le agradecemos a nuestra tutora Natalia Sofia Vargas Marín, coordinadora de la facultad de ingenierías de la corporación universitaria Minuto de Dios, quien estuvo acompañándonos y orientándonos desde el principio de este maravilloso proyecto.

Por último, agradecemos también a todas aquellas personas que contribuyeron en todo este proceso como el señor Carlos Humberto Aguilar operario del laboratorio de cristalización, quien nos asesoró en manejo en planta aportando todo su conocimiento y experiencia.

Resumen

La industria azucarera representa un importante porcentaje del PIB industrial del Valle del Cauca, impactando los indicadores socioeconómicos de la región en forma significativa. Sin embargo, el azúcar es un producto altamente sujeto a la variación de los precios del mercado que requiere de un proceso productivo con muy elevada eficiencia para ser rentable en el contexto de los mercados globales.

Una de las etapas que presenta mayor dificultad en operación es la de cristalización que es un fenómeno de alta complejidad con importante influencia en parámetros de calidad del azúcar como el color y la uniformidad del tamaño de grano. Estudios previos y los informes de análisis de información histórica de operación de un ingenio de la región indican que entre las variables con mayor influencia en el coeficiente de variación del tamaño de partícula es el tamaño y uniformidad de la semilla alimentada al tacho, de manera que este trabajo busca encontrar las condiciones óptimas de estas variables en el que se encuentra un mínimo para el coeficiente de variación del tamaño de partícula del producto.

La metodología que se utilizará consiste en el planteamiento de un diseño de experimento con ayuda de software *estadístico Statgraphics Centurion XIII* y la ejecución de este, aplicando posteriormente la metodología de optimización seleccionada. El resultado esperado será la determinación del tamaño óptimo de semilla que genera el mínimo coeficiente de variación del tamaño del producto.

Palabras claves: optimización, coeficiente de variación, suspensión alcohólica, cristalización, apertura media, diseño de experimento.

Abstract

The sugar industry represents an important percentage of the industrial GDP of Valle del Cauca, impacting the Socioeconomic indicators of the region in a significant way. However, sugar is a product that is highly subject to market price fluctuations that require a highly efficient production process to be profitable in the context of global markets.

One of the most difficult stages in operation is crystallization, which is a highly complex phenomenon with significant influence on sugar quality parameters such as color and grain size uniformity. Previous studies and analysis reports of historical information on the operation of a mill in the region indicate that among the variables with the greatest influence on the coefficient of variation of particle size is the size and uniformity of the seed fed to the bin, so that This work seeks to find the optimal conditions of these variables in which a minimum is found for the coefficient of variation of the particle size of the product.

The methodology to be used consists of proposing an experiment design with the help of statgraphics Centurion XIII Statistical software and its execution, subsequently applying the selected optimization methodology. The expected result is the determination of the optimal seed size that generates the minimum coefficient of variation of the product size.

Keywords: optimization, coefficient of variation, alcoholic suspension, crystallization, average opening, design of experiment, sugar seed.

Tabla de contenido

	<u>Pág.</u>
Introducción	16
Objetivos.....	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
Justificación	19
Metodología	21
Estado del Arte	22
1. Capítulo 1	24
1.1 Diseño experimental	24
2. Capítulo 2.	28
2.1 Determinación del diseño planteado	28
3. Capítulo 3.	55
3.1 Optimización de la respuesta	55
4. Conclusiones.....	57
5. Recomendaciones	58
6. Bibliografía.....	59
7. Anexos	63
A. Anexo 1.	63
B. Anexo 2	63
C. Anexo 3	64
D. Anexo 4	64
E. Anexo 5	66
F. Anexo 6	66

G.	Anexo:	67
H.	Anexo 7	68
I.	Anexo 8	68
J.	Anexo 9	69
K.	Anexo 10	70
L.	Anexo 11	71
M.	Anexo 12	71
N.	Anexo 13	73
O.	Anexo 15	74

Tablas

Tabla 1. Variables del diseño experimental	22
Tabla 2. Ejecución de diseño experimental	26
Tabla 3. Ejecución 1. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.	28
Tabla 4. Ejecución 2. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.	29
Tabla 5. Ejecución 3. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	30
Tabla 6. Ejecución 4. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	31
Tabla 7. Ejecución 5. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.	32
Tabla 8. Ejecución 6. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	33
Tabla 9. Ejecución 7. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.	34
Tabla 10. Ejecución 8. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.	35
Tabla 11. Ejecución 9. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	36
Tabla 12. Ejecución 10. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.	37
Tabla 13. Ejecución 11. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	38

Tabla 14. Ejecución 12. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.	39
Tabla 15. Ejecución 13. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.	40
Tabla 16. Ejecución 14. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	41
Tabla 17. Ejecución 15. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	42
Tabla 18. Ejecución 16. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.	43
Tabla 19. Ejecución 17. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	44
Tabla 20. Ejecución 18. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.	45
Tabla 21. Ejecución 19. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.	46
Tabla 22. Ejecución 20. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	47
Tabla 23. Ejecución 21. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.	48
Tabla 24. Ejecución 22. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.	49
Tabla 25. Análisis de diseño experimental.....	50
Tabla 26. Análisis de Varianza para el Coeficiente de Variación (CV)	51

Tabla de figuras

Figura 1. Definir respuestas en el software <u>Statgraphics Centurion XIII</u>	22
Figura 2. Definición de factores	23
Figura 3. Selección de diseño	24
Figura 4. Selección de diseño de superficie de respuesta	24
Figura 5. Diseño de tres niveles	24
Figura 6. Gráfica ejecución 1. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación	28
Figura 7. Gráfica ejecución 2. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación	30
Figura 8. Gráfica ejecución 3. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación	31
Figura 9. Gráfica ejecución 4. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación	31
Figura 10. Gráfica ejecución 5. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	32
Figura 11. Gráfica ejecución 6. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	33
Figura 12. Gráfica ejecución 7. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	34
Figura 13. Gráfica ejecución 8. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	35
Figura 14. Gráfica ejecución 9. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	36
Figura 15. Gráfica ejecución 10. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	37

Figura 16. Gráfica ejecución 11. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	38
Figura 17. Gráfica ejecución 12. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	39
Figura 18. Gráfica ejecución 13. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	40
Figura 19. Gráfica ejecución 14. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	42
Figura 20. Gráfica ejecución 15. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	42
Figura 21. Gráfica ejecución 16. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	43
Figura 22. Gráfica ejecución 17. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	44
Figura 23. Gráfica ejecución 18. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	45
Figura 24. Gráfica ejecución 19. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	46
Figura 25. Gráfica ejecución 20. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	47
Figura 26. Gráfica ejecución 21. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	48
Figura 27. Gráfica ejecución 22. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.....	49
Figura 28. Gráfica de diagrama de Pareto Estandarizada para el CV.	52
Figura 29. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada.....	53

Figura 30. Superficie de respuesta estimada.....53

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Min (um)	Menor	min	Mínimum
Max (um)	Mayor	máx	Maximum
\bar{X}	Promedio	\bar{X}	Promedio
σ	Desviación Estándar	σ	
Cv	Coeficiente de variación	Cv	Medida de dispersión de datos

Abreviaturas

Abreviatura	Término
Cv	Coeficiente de variación
ICUMSA	International Commission for Uniform Methods for Sugar Analysis
Cenicristal	Software de medición de cristales de Cenicaña
Ro- Tap	Tamiz de movimientos circulares o rotatorios

Introducción

El azúcar es un producto altamente sujeto a la variación de los precios del mercado que requiere de un proceso productivo con muy elevada eficiencia para ser rentable y competitivo. Cerca del 80 % de la producción mundial de azúcar es producida por la caña; de los cuales alrededor del 70 % de esta producción fue aportada por los principales países productores como Brasil, EE. UU., México, entre otros (Núñez, J., Ruiz, M., Parra, J. y Ortiz, M., 2018).

Es necesario tener presente la apreciación de Héctor Fabio Murillo (2019) a partir de su estudio sobre la exportación del azúcar, quien se basa en estudios realizados por ASOCAÑA, entidad encargada de realizar análisis en el sector azucarero nacional e internacional, el cual afirma que “en Colombia se evidencia una alta productividad por hectárea cultivada, gracias a la capacidad instalada de los ingenios y las innovaciones tecnológicas de punta” (p. 11).

A nivel regional la agroindustria azucarera tiene un lugar importante en la economía y el desarrollo del Valle del Cauca, puesto que son aproximadamente 13 ingenios, lo cual representa el 80 % de la producción de azúcar del país con una disponibilidad de 243 mil hectáreas del valle geográfico del Río Cauca cultivadas con caña de azúcar, generando así la mayor empleabilidad con el 40,62 % del capital humano. Esto permite contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las personas por medio de la generación de empleos directos e indirectos. (Núñez et al., 2019).

Además de la producción de azúcar, en los ingenios se produce bioetanol y energía con el bagazo de la caña, con el fin de reducir el impacto social y ambiental.

Durante el año 2019, varios ingenios como Incauca S.A.S. e Ingenio Risaralda, empezaron la implementación de técnicas de optimización del coeficiente de variación en la suspensión alcohólica con la finalidad de mejorar la uniformidad en los cristales de azúcar, debido a que el azúcar es un producto de gran importancia e impacto social en la región del Valle del Cauca. Sin embargo, su costo depende en gran medida de los precios establecidos en los mercados internacionales, requiriéndose una elevada eficiencia en su proceso productivo para poder alcanzar niveles de rentabilidad.

Conseguir mejoras en los parámetros de calidad del proceso, así como el conocimiento de las condiciones de operación óptimas, es indispensable en las empresas azucareras de la región. Se afirma lo anterior considerando el impacto que tiene la uniformidad del tamaño del producto en la calidad del mismo y la importancia de alimentar una semilla

con bajo coeficiente de variación que evite el desaprovechamiento de los recursos y el reproceso en planta.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el tamaño de partícula de la semilla que minimice el coeficiente de variación del tamaño de partícula del producto final en un proceso industrial de fabricación de azúcar.

Objetivos específicos

Diseñar un experimento que permita evaluar el efecto del tamaño de la semilla en la uniformidad del tamaño del grano del producto.

Ejecutar el diseño planteado para evaluar la influencia del tamaño de semilla sobre el coeficiente de variación.

Aplicar una metodología de optimización para obtener el mínimo valor del coeficiente de variación del azúcar en función del tamaño de la semilla.

Justificación

Una de las razones que motivaron este proyecto corresponden a las exigencias del cliente en cuanto al tamaño promedio de grano del azúcar. A su vez, “las secadoras de azúcar también tienen un aporte significativo, ya que una distribución altamente fina de granos provoca que estos equipos se disparen y detengan el proceso” (Arizabaleta, 2014, p. 4). Entonces, la experiencia y las exigencias de dichos equipos nos llevan a pensar en la necesidad de los bajos niveles de coeficiente de variación de grano para lograr un tratamiento adecuado en la operación y producción del azúcar. Reafirma Arizabaleta (2014) que “lo anterior resume los parámetros de calidad del azúcar refinado en cuanto a granulometría para garantizar al cliente un azúcar en donde el tamaño de partícula sea el adecuado” (p. 7).

Sumado a lo anterior, se analizó que el proceso de semillado en muchas ocasiones no corresponde a un tratamiento idóneo, debido a que la mayoría de las veces depende de la experiencia del operador y no hay un proceso automatizado, por lo cual es posible pensar en errores humanos en cuestión de método, lo que conlleva a una baja producción de cristales. Por esta razón, se plantea un método que abarque las dimensiones teóricas y prácticas con el objetivo de incrementar la producción de cristales y optimizar la distribución de los granos.

De acuerdo al contexto anteriormente mencionado se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el tamaño de partícula de la suspensión que permite optimizar la uniformidad del azúcar en un proceso agroindustrial?

Proceso elaboración del azúcar y cristalización

El proceso de elaboración del azúcar inicia en el campo con el cultivo de la caña, la cosecha y el transporte hacia el ingenio. La caña ingresa al proceso de molienda para la extracción del jugo, el cual pasa a un proceso de calentamiento y clarificación para luego transportarse a los evaporadores, donde se extrae el agua, seguidamente se lleva a los cristalizadores donde se forman los granos de azúcar. Posteriormente se pasa a las centrífugas donde se extrae la miel, se lleva a las secadoras y finalmente se empaqueta el azúcar terminado. Nuestra investigación se centró en el proceso de cristalización, específicamente en la preparación de la semilla, debido a que es una de las etapas que presenta mayor dificultad en operación y con una importante influencia en parámetros de calidad del azúcar como el color y la

uniformidad del tamaño de grano.

Estudios previos y los informes de análisis de información histórica de operación de un ingenio de la región indican que entre las variables con mayor influencia en el coeficiente de variación del tamaño de partícula es el tamaño y uniformidad de la semilla alimentada al tacho.

La preparación de la semilla se realiza en el laboratorio de cristalización, donde se toma una muestra de azúcar terminada, la cual se lleva a una pila de tamices para separar los granos por tamaño a través del Ro-tap, equipo que realiza un movimiento que hace vibrar la pila de tamices para que los granos de azúcar sean retenidos en el tamiz que corresponde al tamaño del grano. Posteriormente, pesa una muestra de azúcar del tamizada y se ingresa al molino de bolas con alcohol anhidro durante un determinado tiempo para obtener la suspensión alcohólica (semilla), se toma una muestra para determinar por medio del software de Cenicristal el coeficiente de variación y luego alimentar los tachos de cristalización para que se desarrollen los cristales de azúcar.

Estimación del beneficio económico del proyecto

Estimación del beneficio económico del proyecto		
Aspecto	Cantidad	Unidad
Producción de azúcar	35000	Quintales/día
Reproceso por cristalización	350	Quintales/día
Azúcar perdida por reproceso	35	Quintales/día
Precio del azúcar perdida	774,2	Dólares/día
Sobrecosto por reproceso	200,22	Dólares/día
Pérdidas totales por reproceso	974,42	Dólares/día
Costo del proyecto total	50000	Dólares total
Beneficio el proyecto	203,00	Dólares/día

Metodología

La investigación se desarrolla aprovechando el recurso humano disponible en la Corporación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO), el cual consiste en dos ingenieros asesores y dos profesionales en formación. Así como en el recurso humano del ingenio, que radica en la asesoría de un ingeniero de planta y horas de trabajo de los operarios de producción. Se utilizarán también las bases de datos disponibles en la biblioteca de la Corporación Universitaria Minuto de Dios y los recursos materiales y equipos de un ingenio azucarero del Valle del Cauca para llevar a cabo la investigación.

Este estudio se desarrolló en tres fases: una fase previa de revisión bibliográfica y teórica, esta primera fase consta de un diseño de experimento donde se analizaron variables estadísticas para determinar la influencia de los parámetros en una variable de respuesta; la segunda fase se realizó un diseño experimental de acuerdo a los protocolos de ejecución; en la tercera fase se aplica la metodología de optimización en el diseño experimental y finalmente se realiza un informe con los resultados obtenidos durante el proceso.



Fuente: Propia

Estado del Arte

El Ingenio Incauca S.A.S. realizó un análisis comparativo de la calidad del azúcar obtenido del sistema de tachos automáticos y manuales, en donde manifiesta que

dentro de las características de calidad relacionadas con el tamaño del grano de azúcar, se encuentra el coeficiente de variación que manifiesta la uniformidad en el tamaño de los granos y la dispersión de estos, respecto a la abertura media. Los valores bajos de este parámetro indican alta uniformidad del tamaño de grano de azúcar. (Arizabaleta, 2014, p. 7).

Luego, Francisco Arizabaleta sostiene que “las masas cocidas provenientes de los tachos son sometidas a centrifugación para hacer la separación entre el azúcar y la miel, por ello las secadoras y centrifugas exigen una distribución de tamaño que no supere cierta proporción de finos” (Arizabaleta, 2014, p. 7), así este proceso se efectúa con éxito. Se comprende, entonces, cómo las dimensiones del azúcar cobran una gran importancia en este procedimiento cuando son expuestos a dicha separación.

Partiendo de lo anterior, se evidencia cómo para Incauca S.A.S la prioridad es lograr que las medidas del azúcar cuando se ha convertido en grano sean las óptimas, sumado al hecho de tener un coeficiente de variación que refleje la uniformidad en los granos de azúcar de las templeas que provienen de los tachos de refinería. Sigue mencionando Arizabaleta que

Además de las exigencias del cliente en cuanto al tamaño promedio de grano del azúcar, las secadoras de azúcar también tienen un aporte significativo, ya que una distribución altamente fina de granos provoca que estos equipos se disparen y detengan el proceso. Estos equipos exigen niveles bajos de coeficiente de variación de grano para operar de manera correcta. Lo anterior resume los parámetros de calidad del azúcar refinado en cuanto a granulometría para garantizar al cliente un azúcar en donde el tamaño de partícula sea el adecuado. (Arizabaleta, 2014, p. 7).

De forma similar, en Guatemala también se pensó y se estudió esta situación cuando Luis José González Piedrasanta (2013) manifestó que

se ha observado que no existe un método exacto que diga en qué momento realizarlo, la mayoría de las veces depende de la experiencia del operador, el decide empíricamente cual es el punto idóneo, en lo cual influye mucho el factor humano, por lo que infiere en una reducción de producción de cristales y un aumento de mieles, lo cual genera una reducción en la eficiencia de la producción de cristales. Por este motivo se desarrolla un método teórico - empírico para aumentar la producción de cristales y mejorar la granulometría. (pp. 27-28).

Es menester resaltar cómo en diversos lugares ha habido personas que han observado y se han preocupado por desarrollar de forma eficaz método que busquen el desarrollo más completo y completo del azúcar y derivados. Por ello, desde Perú se han propuesto

técnicas de imágenes para medir la granulometría del azúcar y con ello ver la cantidad de cristales producidos, reduciendo un menor tiempo en la toma de la muestra y con esto actuar en un tiempo más corto para corregir los errores de producción de cristales irregulares, comparado con la técnica actual utilizada. (Gómez, 2020, p. 8).

En el Ingenio Risaralda S.A se determinó las condiciones óptimas para la producción de azúcar turbinado en los parámetros color y en el tamaño de grano, debido a que los sistemas de gestión de calidad y las políticas de la empresa es necesario obtener las condiciones de operación idóneas para el color y tamaño de grano de azúcar turbinado según especificaciones, controlando las variables que puedan afectar dicha propiedad (Páez, 2013, p. 19).

1. Capítulo 1

1.1 Diseño experimental

Objetivo 1. Se elabora un diseño de experimento iniciando por la definición de las variables de entrada, los parámetros y la respuesta. Con base en la información determinada se recomendó un diseño específico de experimento, apoyado en la versión libre del software estadístico *Statgraphics Centurion XII*.

Se tomó como referencia la metodología estandarizada para la determinación de las mediciones planteadas en el experimento de la norma International: *Commission for Uniform Methods for Sugar Analysis (ICUMSA)* del método GS2/9-37 (20 organización normativa global para el control de la calidad del azúcar).

Se realizó el diseño experimental en el software estadístico *Statgraphics Centurion XII*, con una superficie de respuesta, 2 factores con 3 niveles, aleatorio, 2 réplicas en el punto central, 1 bloque con repetición del bloque, dando como resultado las siguientes variables:

Tabla 1. Variables del diseño experimental.

Nombre	Unidades	Tipo de variable	Bajo	Alto	Número de Repeticiones
Tamaño suspensión	Micrómetros	Controlable	500	700	22
Tiempo de molienda	Minutos	Controlable	90	150	22

A continuación, se presenta el diseño experimental en el software *Statgraphics*

Figura 1. Definir respuestas en el software *Statgraphics*

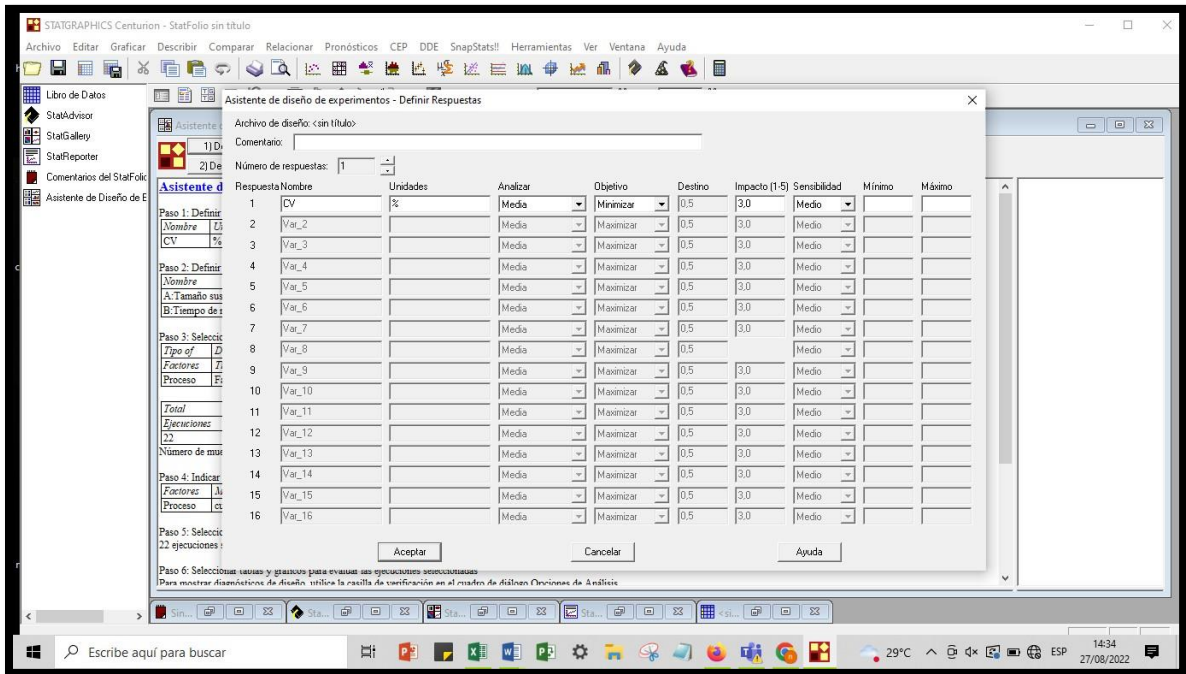


Figura 2. Definición de factores

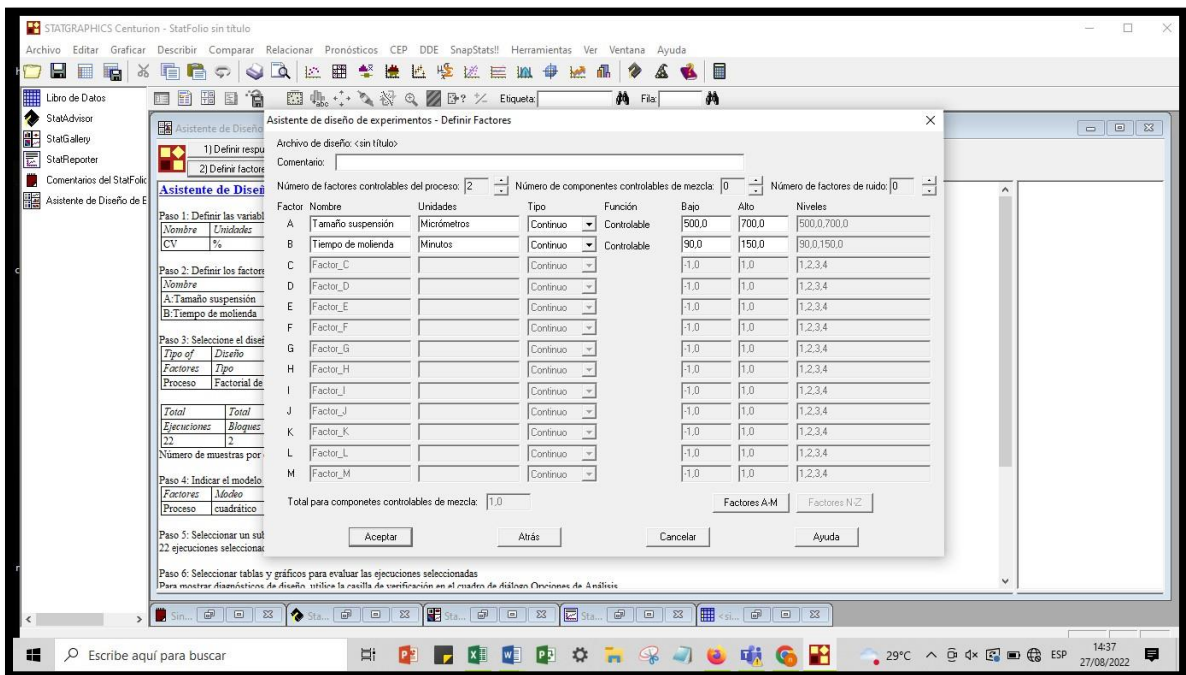


Figura 3. Selección de diseño

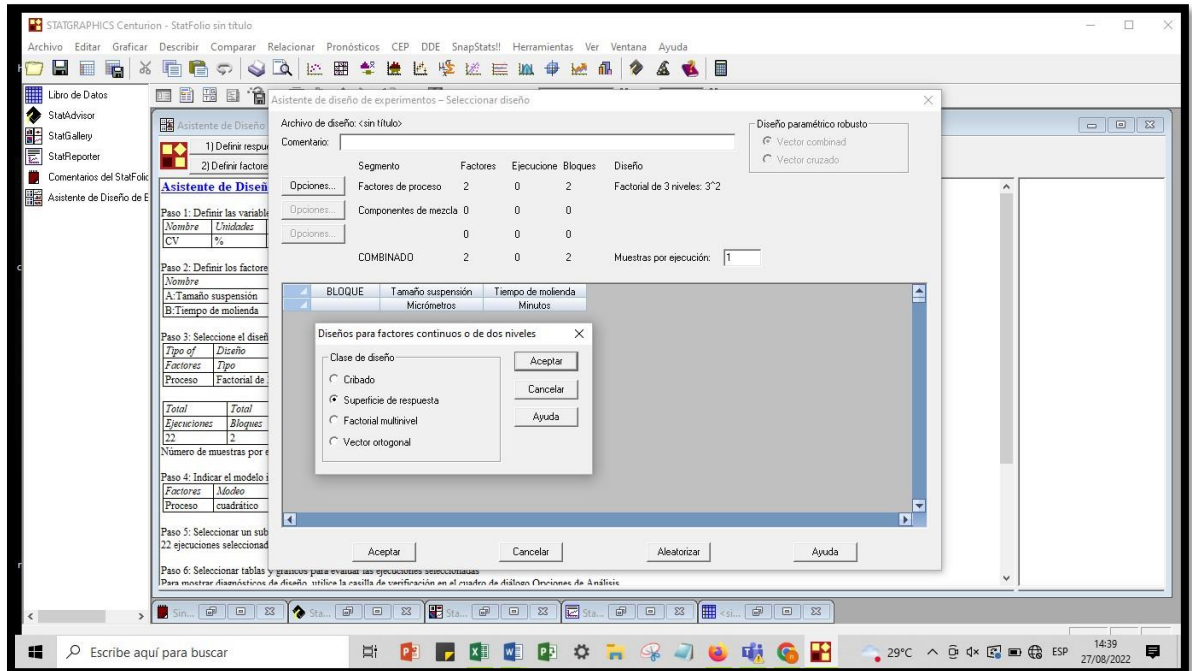


Figura 4. Selección de diseño de superficie de respuesta

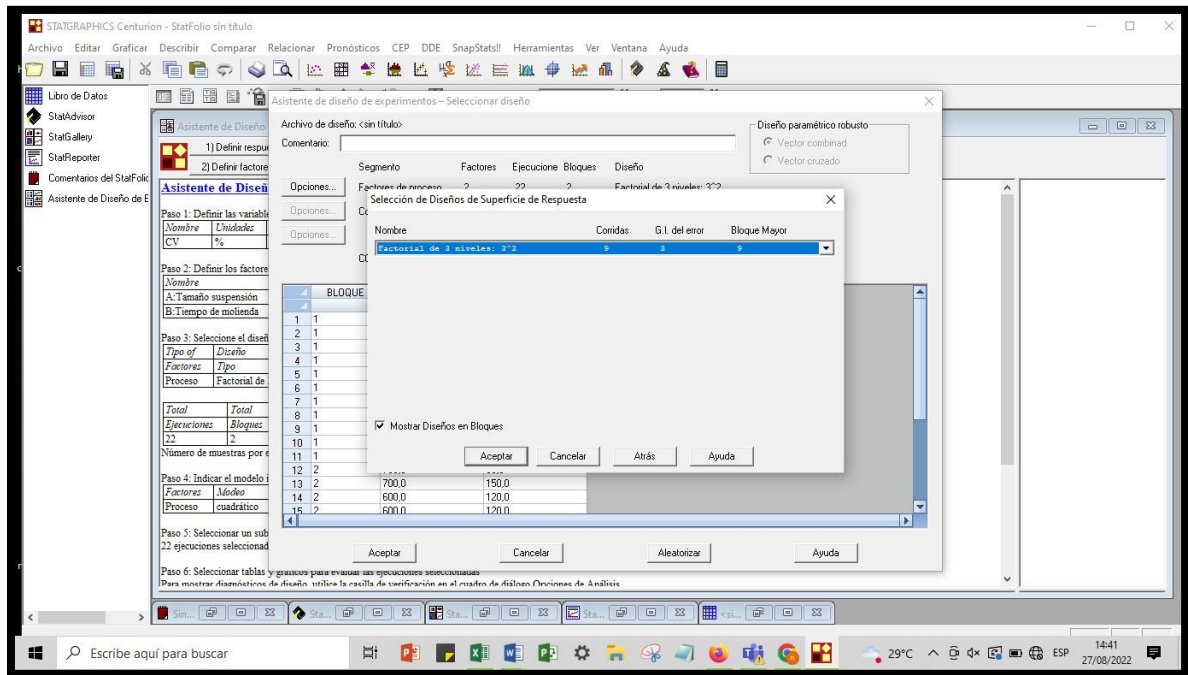


Figura 5. Diseño de tres niveles

The screenshot shows the STATGRAPHICS Centurion software interface. The main window is titled "Asistente de diseño de experimentos - Seleccionar diseño". It displays a table of design points and a dialog box for selecting a design type.

Table 1: Design Points

BLOQUE	Tamaño	Mic
1	1	700.0
2	1	700.0
3	1	600.0
4	1	600.0
5	1	600.0
6	1	600.0
7	1	500.0
8	1	600.0
9	1	700.0
10	1	500.0
11	1	500.0
12	2	700.0
13	2	700.0
14	2	600.0
15	2	600.0

Table 2: Summary Statistics

Factor	Medio
Ejecuciones	22
Bloques	2

Table 3: Design Options

Factor	Medio
Factor <td>2</td>	2
Ejecuciones <td>22</td>	22
Bloques <td>2</td>	2

Table 4: Design Options (COMBINADO)

Factor	Medio
Factor <td>2</td>	2
Ejecuciones <td>22</td>	22
Bloques <td>2</td>	2

Table 5: Design Options (Opciones de Diseño de Tres Niveles)

Factor	Medio
Factor <td>2</td>	2
Ejecuciones <td>22</td>	22
Bloques <td>2</td>	2

Table 6: Design Options (Opciones de Diseño de Tres Niveles - Detalles)

Factor	Medio
Factor <td>2</td>	2
Ejecuciones <td>22</td>	22
Bloques <td>2</td>	2

Table 7: Design Options (Opciones de Diseño de Tres Niveles - Detalles)

Factor	Medio
Factor <td>2</td>	2
Ejecuciones <td>22</td>	22
Bloques <td>2</td>	2

2. Capítulo 2.

2.1 Determinación del diseño planteado

Objetivo 2. Este consiste en determinar la distribución granulométrica mediante el tamizado del azúcar a través de una pila de tamices que retienen los cristales de azúcar de acuerdo con su tamaño. Luego se procede a pesar cada tamiz con el fin de determinar la distribución del tamaño de partícula y posteriormente se calcula la aperturamedia y el coeficiente de variación. Con base en esta metodología, se realiza una adaptación que consiste en el acoplamiento o uso de software *Eos Utility* y *Cenicristal*.

Inicialmente se pesan 800 g de azúcar convencional dividida en dos secciones de tamices de la siguiente manera: 25, 35, fondo, 25, 35, 35 y fondo, posteriormente se ingresa al *Ro-tap*, realizando agitación durante 5 minutos. Posteriormente se procede a pesar la azúcar obtenida en el tamiz #35. Este proceso se realiza varias veces hasta obtener una cantidad considerable de azúcar, después se pesan 800 g del azúcar previamente tamizado dividido en dos fracciones de tamices de la siguiente manera; 25, 35, fondo, 25, 35, 30 y fondo, se ingresa al *Ro-tap* agitando durante 3 minutos. Luego se separa el azúcar del tamiz #30 y aparte la del tamiz #35, seguidamente se pesa de esa azúcar doblemente tamizada el azúcar del tamiz #30 hasta obtener 370 g, la cual se procede a ingresar al molino de bolas, que contiene aproximadamente 1950 balines de acero inoxidable, adicionando 1000 ml de alcohol y se inicia el proceso de molienda durante el tiempo establecido en el diseño experimental. Pasado el tiempo se enjuaga con 1000 ml de alcohol, se pasa por el tamiz de 100 micras y se envasa en un recipiente de 5 litros, obteniendo 2000 ml de suspensión alcohólica, la cual debe estar dentro de los rangos de cristalización entre 8 y 10 micras.

Para verificar que la suspensión se encuentre dentro de los estándares establecidos se procede a tomar la muestra de la siguiente forma: se toma una alícuota de la suspensión alcohólica y se lleva al portaobjetos del microscopio y se gradúa el lente a 10x, se toman 12 fotos de la muestra por medio del software *Eos Utility* y se pasan a otro software llamado *Cenicristal*, el cual se encuentra en la web. Consecuencia de lo anterior, se suben las imágenes y se ajusta el tipo de lente que se usó en las fotos de la muestra y se ejecuta el software para el procesamiento de los datos. El software realiza el conteo de los granos y arroja el promedio del tamaño de las partículas. Seguidamente se ingresa al cuadro de estadística y se encuentra la medida de las partículas y la desviación estándar para obtener el coeficiente de variación al dividir la desviación estándar entre la medida del grano. Finalmente, se analizan los resultados determinando si se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

A partir de la ejecución del diseño experimental para la recolección y procesamiento de datos, se realiza un análisis de la respuesta de las variables propuestas en este trabajo, con el propósito de evaluar el efecto del tamaño de la semilla en la uniformidad del tamaño de grano del producto.

Tabla 2. Ejecución de diseño experimental.

Ejecución	Tamaño suspensión	Tiempo de molienda	CV	Tamaño promedio de partícula
	Micrómetros	Minutos	%	Micrómetros
1	710	90	62,142	9,266
2	710	150	54,172	8,440
3	600	120	52,419	8,108
4	600	120	53,271	8,759
5	600	90	58,314	9,775
6	600	120	52,996	7,867
7	500	90	55,289	8,349
8	600	150	55,472	8,265
9	710	120	59,401	9,557
10	500	150	56,403	8,420
11	500	120	53,600	8,195
12	710	90	55,736	8,475
13	710	150	55,955	9,472
14	600	120	54,861	8,019
15	600	120	55,634	8,518
16	600	90	57,965	8,907

17	600	120	53,941	8,255
18	500	90	56,612	8,585
19	600	150	56,569	8,820
20	710	120	59,059	8,848
21	500	150	54,956	9,111
22	500	120	54,271	8,885

De acuerdo con la Tabla 2 se analiza que el tamaño promedio de partícula mínimo es de 7,867 obtenido en el tamiz de 600 micrómetros durante un tiempo de molienda de 120 minutos y el tamaño máximo es de 9,775 en el tamiz de 600 con un tiempo de molienda de 90 minutos.

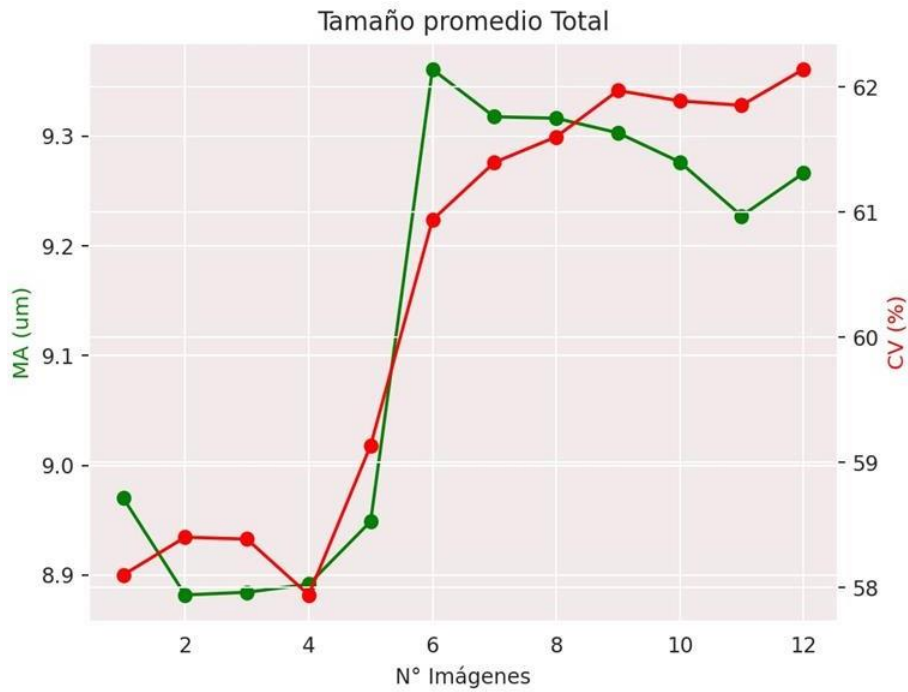
A continuación, se presenta el análisis de cada una de las ejecuciones del diseño experimental de la tabla 3 a la 24 y las figuras de la 6 a la 27, relacionando el tamaño promedio total, con sus respectivas medidas mínimas (Min), máximas (Max), promedio, desviación estándar en micrómetros y el Coeficiente de variación (CV), todas con su respectiva figura de resultados, en la cual se evidencia en la parte derecha el porcentaje de coeficiente de variación (color rojo), de acuerdo al número de imagen fotográfica de la suspensión alcohólica y en la parte izquierda, de color verde la apertura media (MA) relacionada con el número de imagen fotográfica la cual se encuentra en la parte inferior de cada figura.

Tabla 3. Ejecución 1. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín (um)	2,921
Máx (um)	65,469
Promedio (um)	9,266
Desviación Estándar (um)	5,758

CV (%)	62,142
--------	--------

Figura 6. Gráfica ejecución 1. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.



■ (CV) Porcentaje de coeficiente de variación

■ (MA) Apertura media en micrómetros

Tabla 4. Ejecución 2. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.

Tamaño promedio total	
Medidas	Tamaño
Mín (um)	2,920
Máx (um)	83,656
Promedio (um)	8,440
Desviación Estándar (um)	4,572
CV (%)	54,173

Figura 7. Gráfica ejecución 2. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

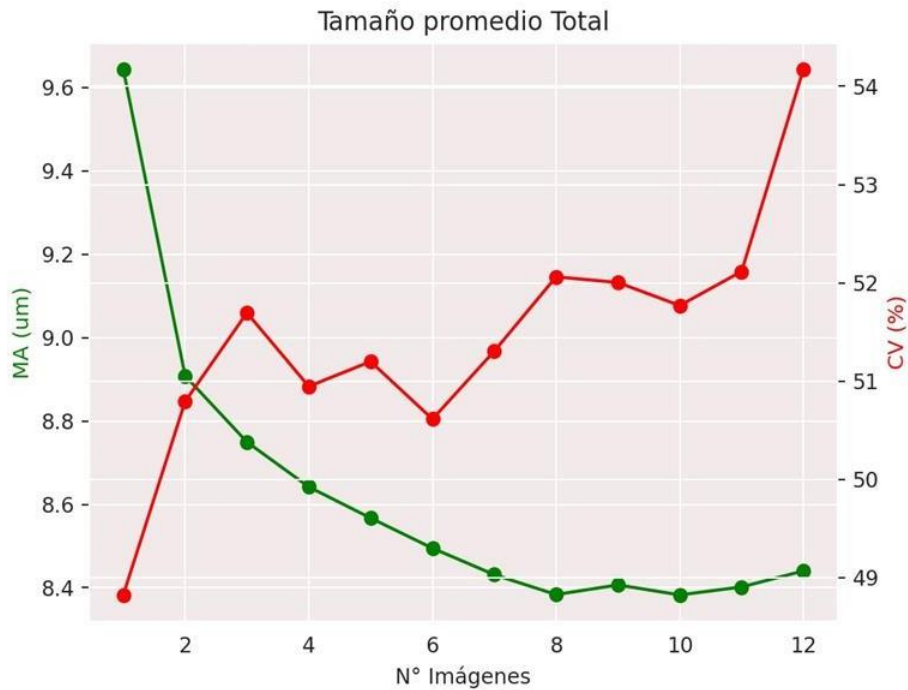


Tabla 5. Ejecución 3. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (µm)	2,995
Máx. (µm)	47,102
Promedio (µm)	8,108
Desviación Estándar (µm)	4,250
CV (%)	52,420

Figura 8. Gráfica ejecución 3. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

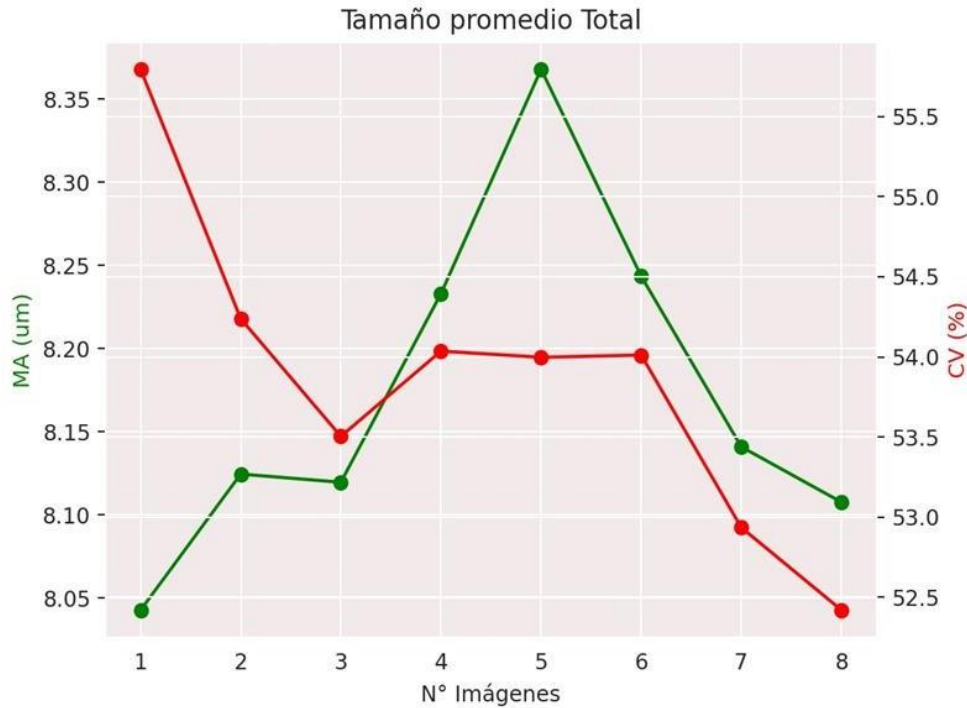


Tabla 6. Ejecución 4. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	44,300
Promedio (μm)	8,759
Desviación Estándar (μm)	4,666
CV (%)	53,271

Figura 9. Gráfica ejecución 4. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

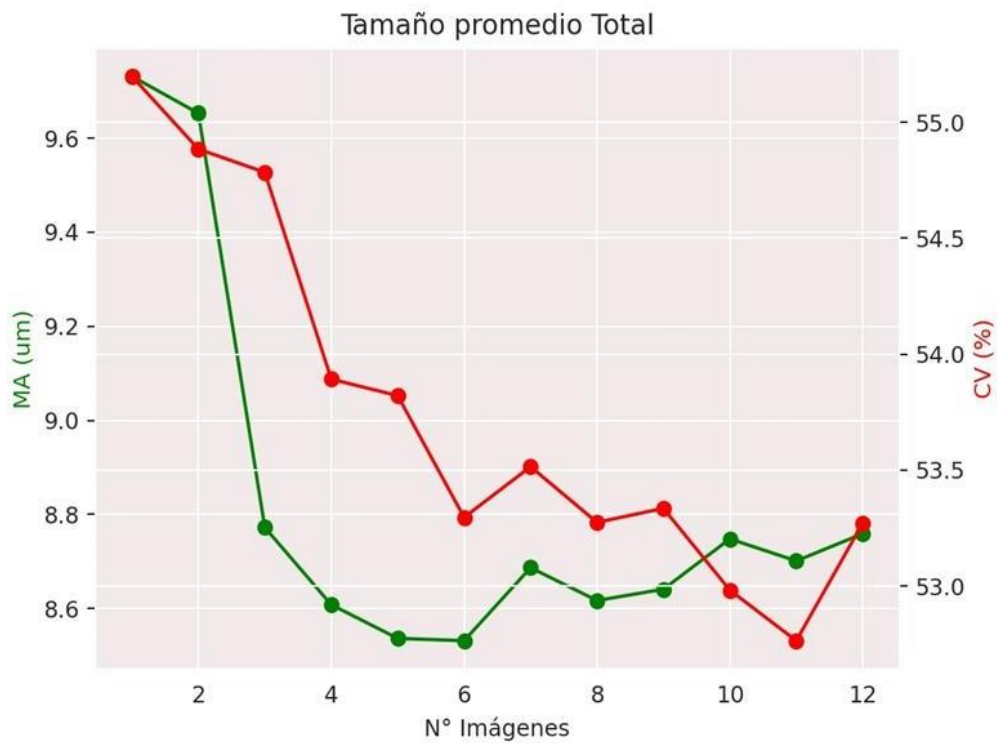


Tabla 7. Ejecución 5. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,995
Máx. (μm)	57,177
Promedio (μm)	9,775
Desviación Estándar (μm)	5,700
CV (%)	58,315

Figura 10. Gráfica ejecución 5. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

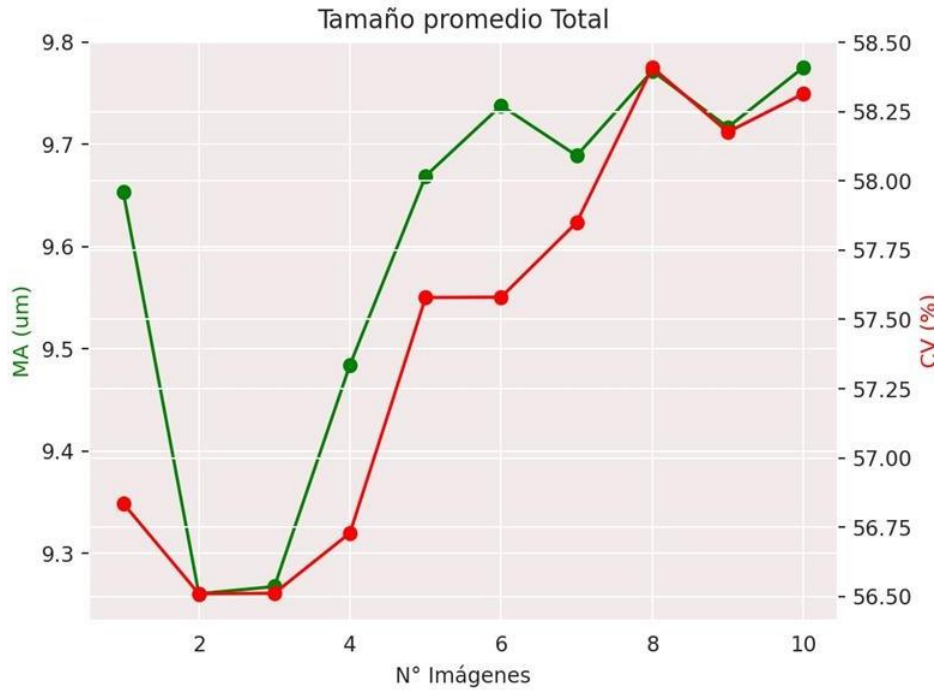


Tabla 8. Ejecución 6. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Min. (µm)	2,995
Max. (µm)	43,058
Promedio (µm)	7,867
Desviación Estándar (µm)	4,169
CV (%)	52,997

Figura 11. Gráfica ejecución 6. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

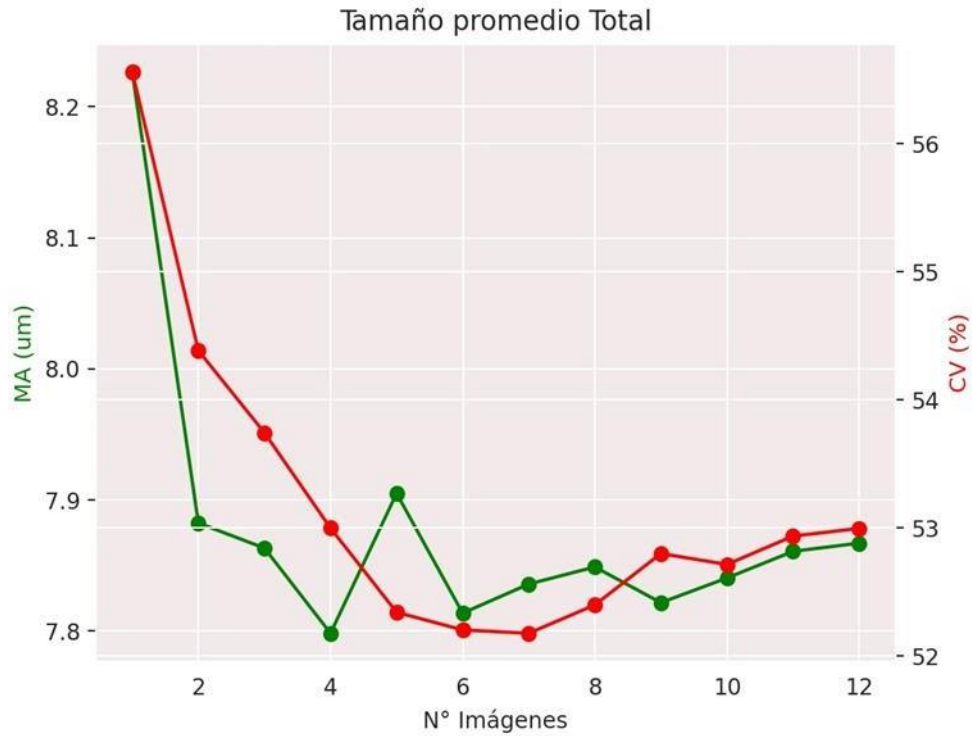


Tabla 9. Ejecución 7. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (µm)	2,921
Máx. (µm)	45,857
Promedio (µm)	8,349
Desviación Estándar (µm)	4,616
CV (%)	55,289

Figura 12. Gráfica ejecución 7. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

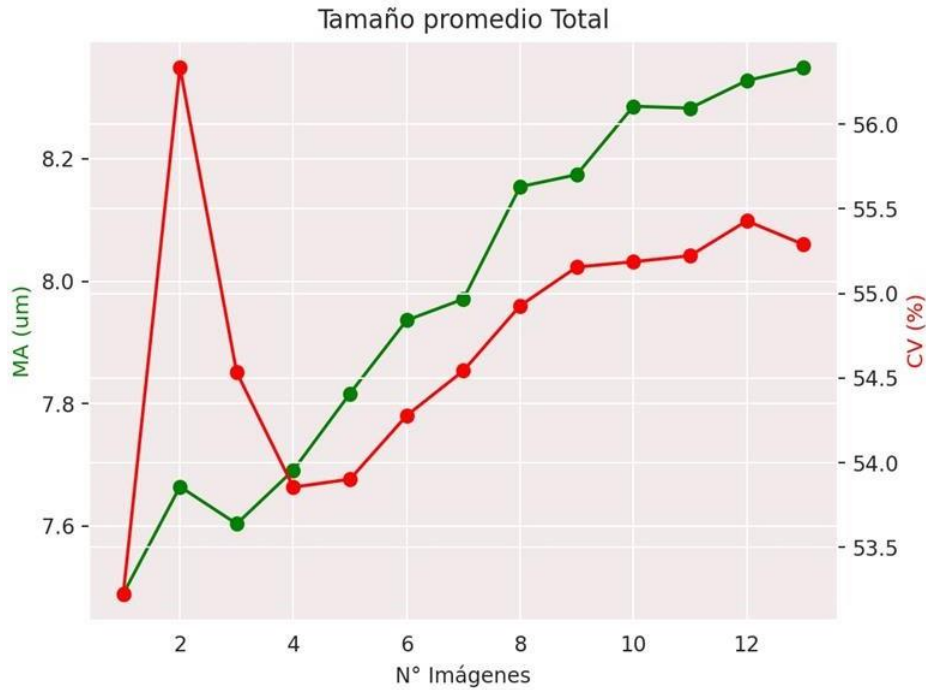


Tabla 10. Ejecución 8. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	47,197
Promedio (μm)	8,265
Desviación Estándar (μm)	4,585
CV (%)	55,472

Figura 13. Gráfica ejecución 8. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

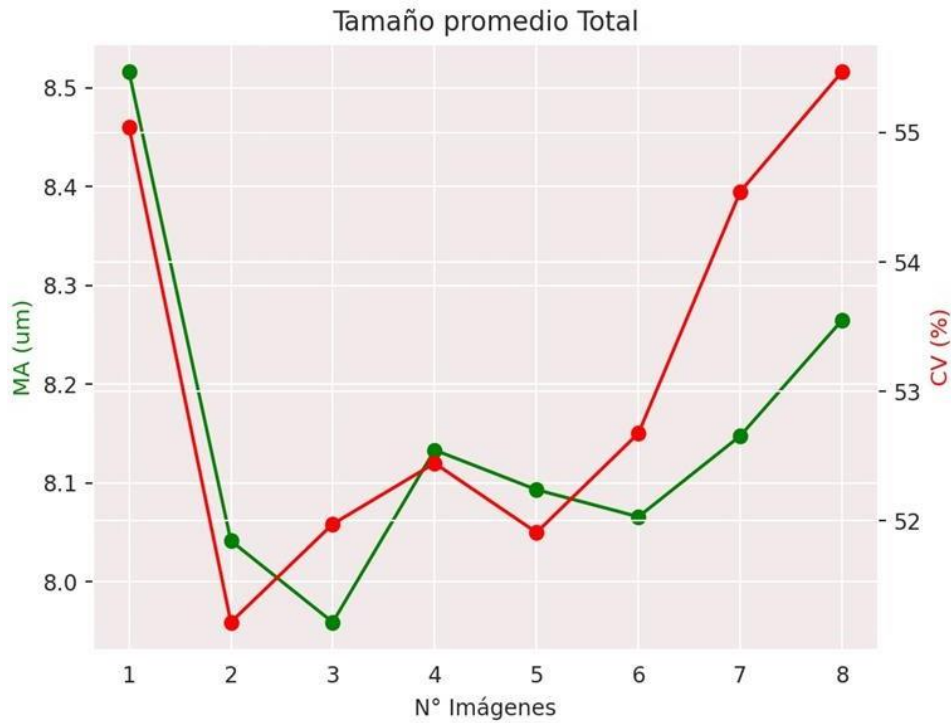


Tabla 11. Ejecución 9. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,995
Máx. (μm)	167,842
Promedio (μm)	9,557
Desviación Estándar (μm)	5,677
CV (%)	59,401

Figura 14. Gráfica ejecución 9. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

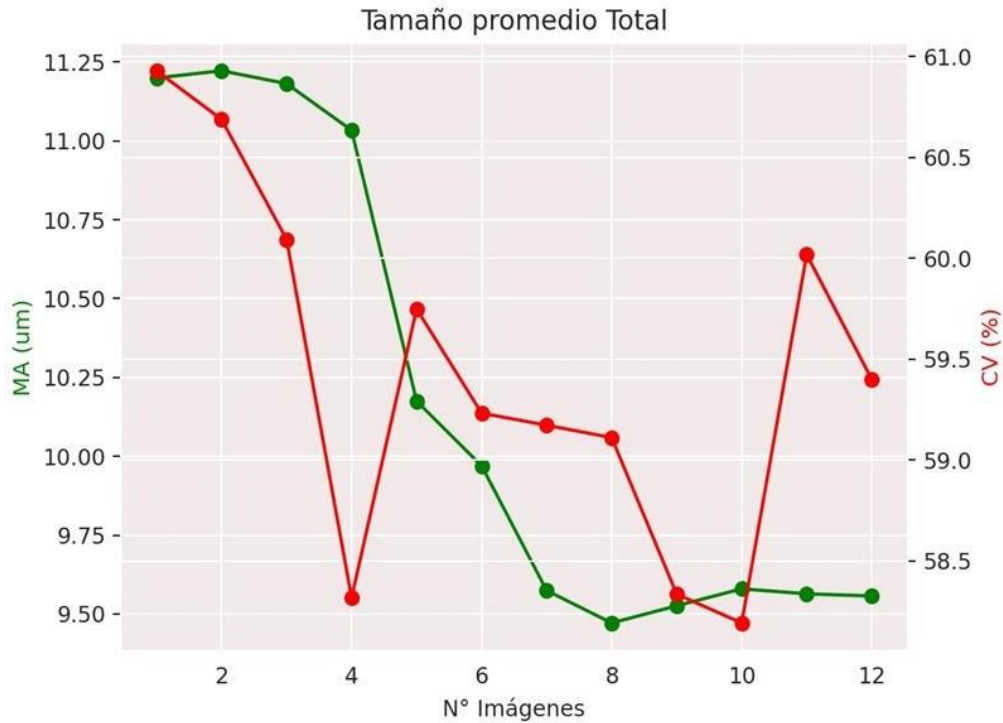


Tabla 12. Ejecución 10. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,995
Máx. (μm)	50,923
Promedio (μm)	8,420
Desviación Estándar (μm)	4,749
CV (%)	56,403

Figura 15. Gráfica ejecución 10. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

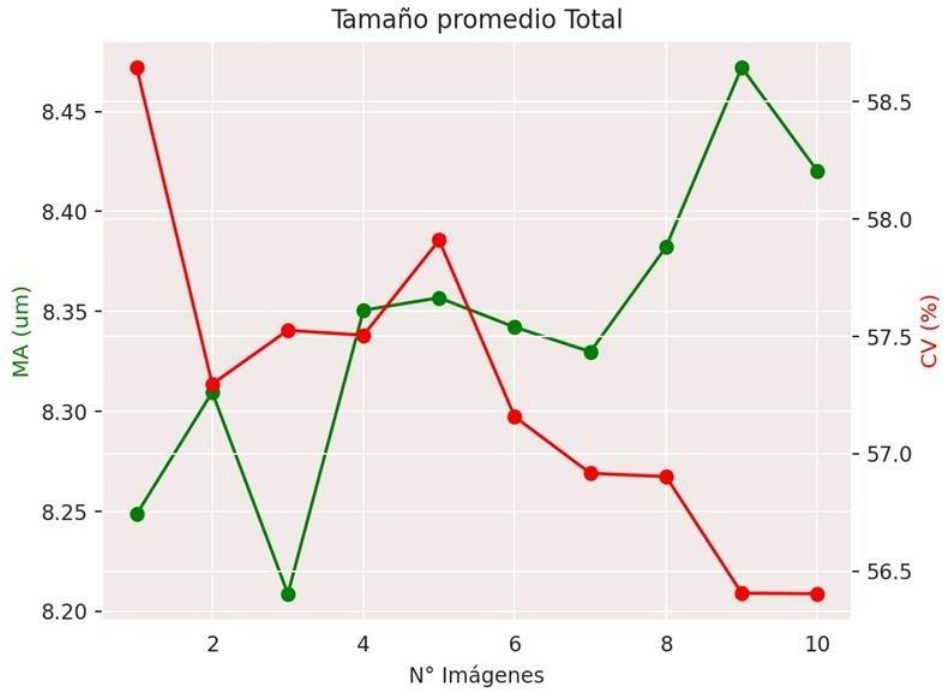


Tabla 13. Ejecución 11. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	41,626
Promedio (μm)	8,195
Desviación Estándar (μm)	4,392
CV (%)	53,600

Figura 16. Gráfica ejecución 11. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

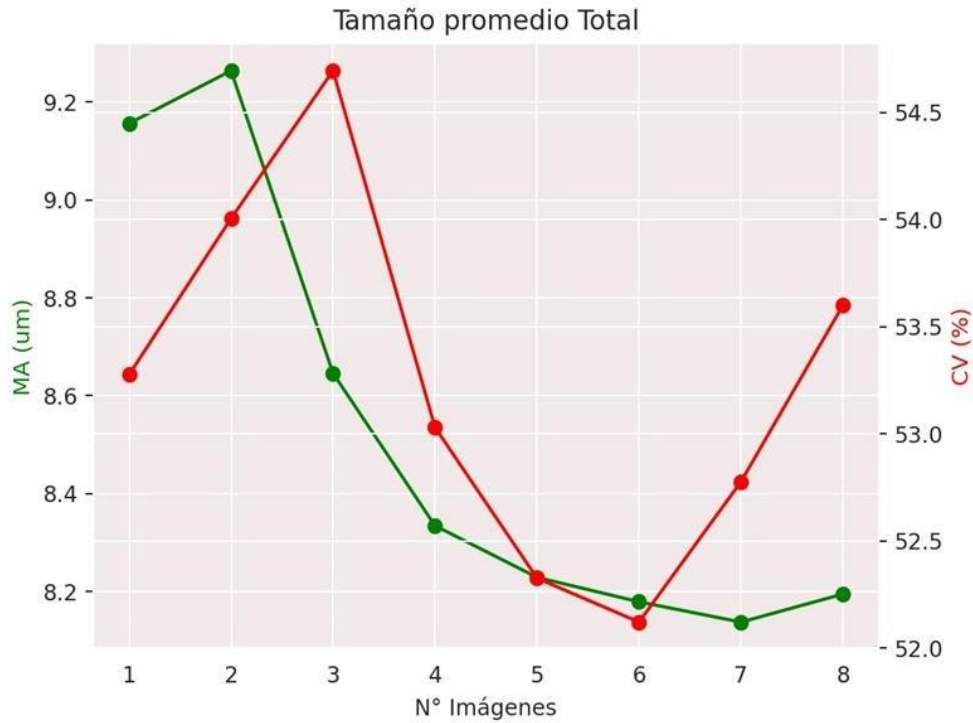


Tabla 14. Ejecución 12. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,995
Máx. (μm)	86,091
Promedio (μm)	8,475
Desviación Estándar (μm)	4,723
CV (%)	55,736

Figura 17. Gráfica ejecución 12. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

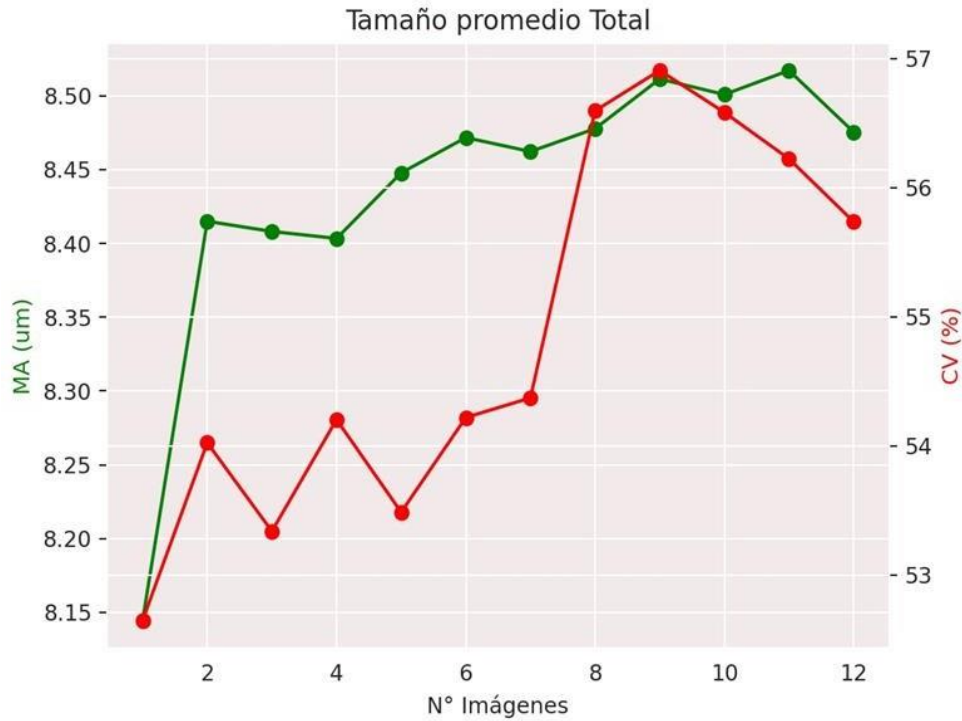


Tabla 15. Ejecución 13. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	77,776
Promedio (μm)	9,472
Desviación Estándar (μm)	5,300
CV (%)	55,955

Figura 18. Grafica ejecución 13. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

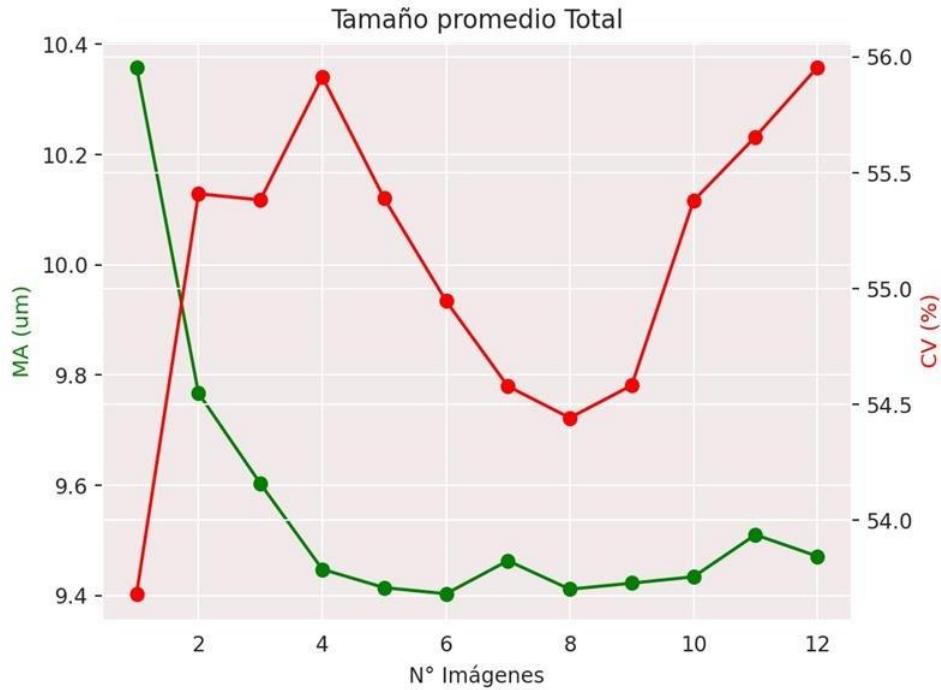


Tabla 16. Ejecución 14. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	60,198
Promedio (μm)	8,019
Desviación Estándar (μm)	4,400
CV (%)	54,861

Figura 19. Gráfica ejecución 14. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

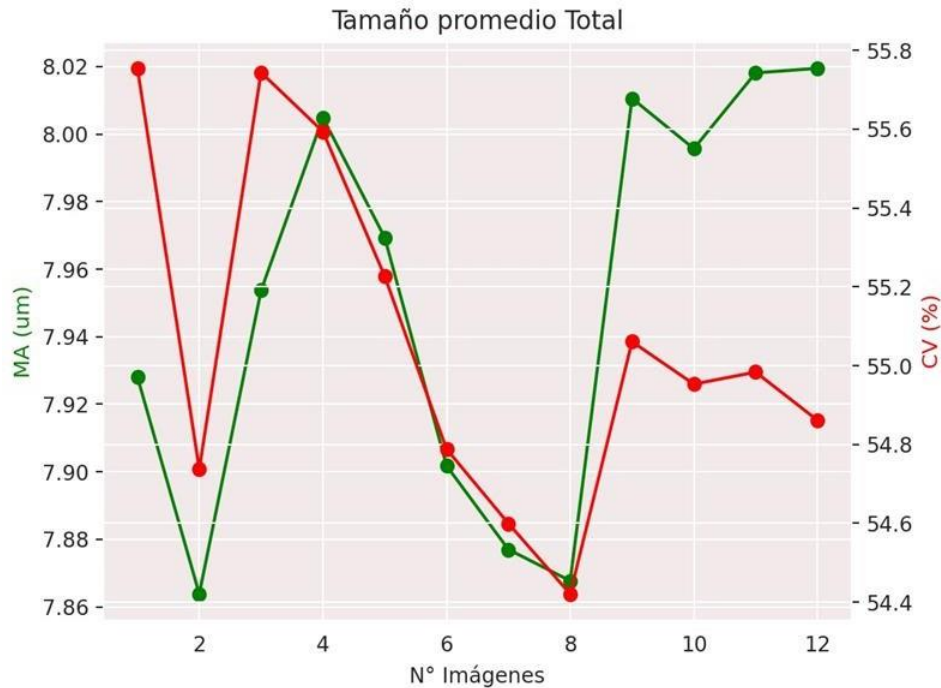


Tabla 17. Ejecución 15. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (µm)	2,995
Máx. (µm)	46,716
Promedio (µm)	8,518
Desviación Estándar (µm)	4,739
CV (%)	55,634

Figura 20. Gráfica ejecución 15. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

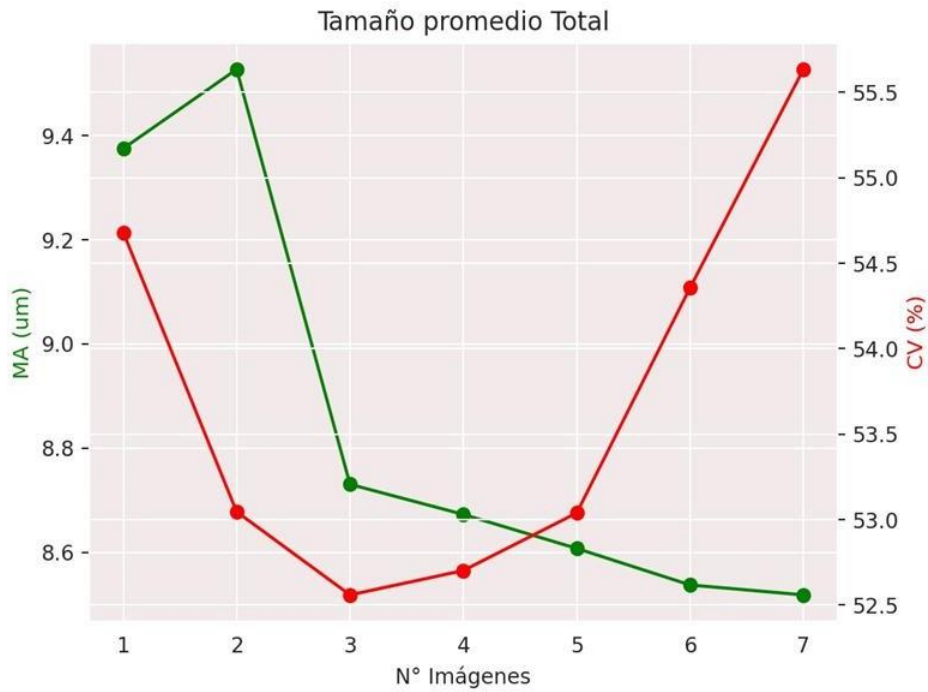


Tabla 18. Ejecución 16. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	64,342
Promedio (μm)	8,907
Desviación Estándar (μm)	5,163
CV (%)	57,965

Figura 21. Gráfica ejecución 16. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

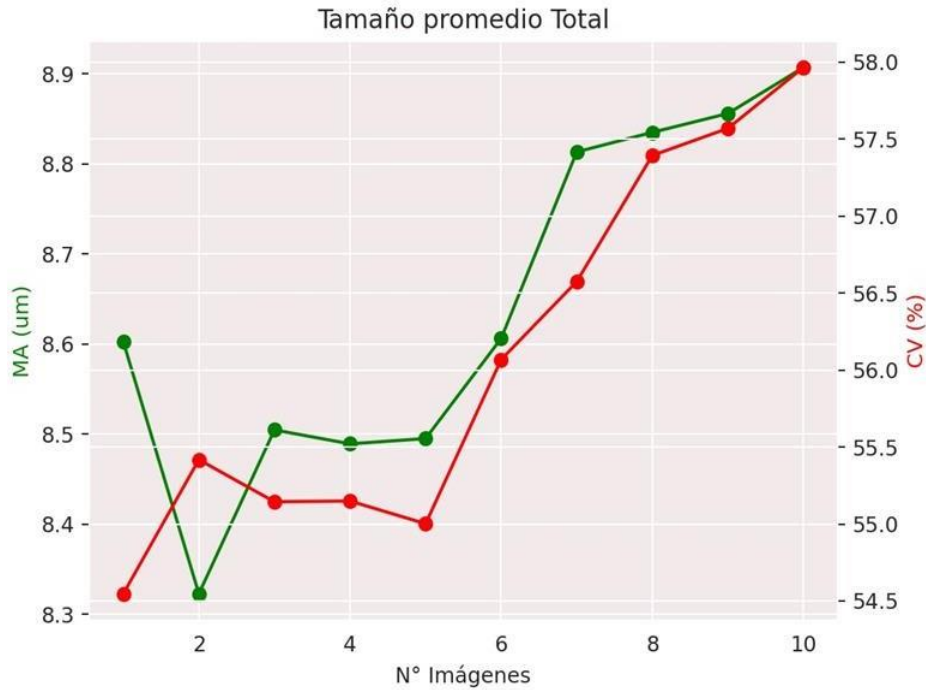


Tabla 19. Ejecución 17. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,995
Máx. (μm)	45,237
Promedio (μm)	8,255
Desviación Estándar (μm)	4,453
CV (%)	53,941

Figura 22. Gráfica ejecución 17. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

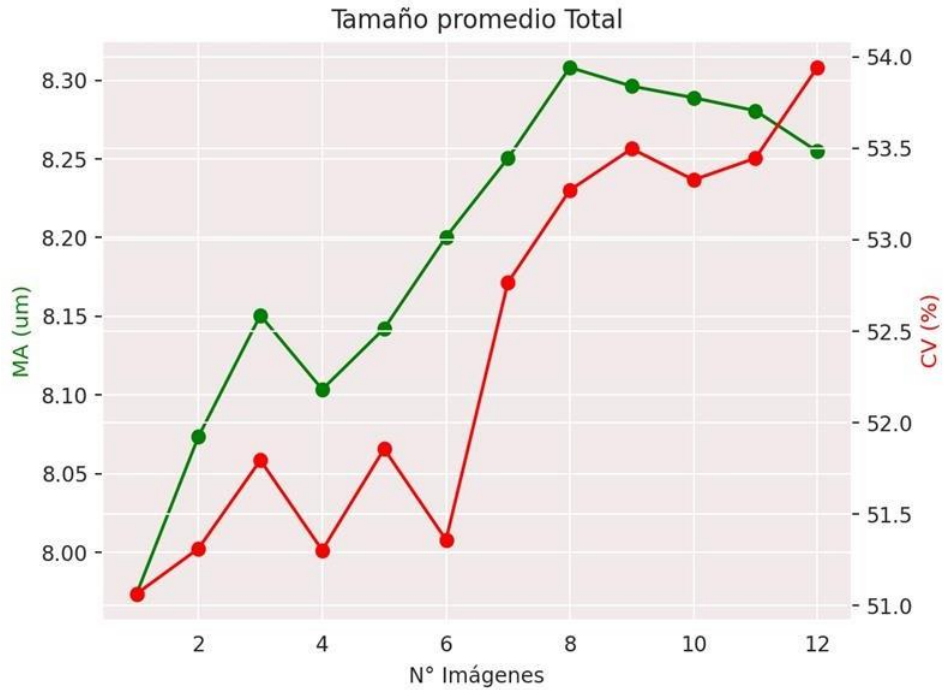


Tabla 20. Ejecución 18. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 90 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	69,140
Promedio (μm)	8,585
Desviación Estándar (μm)	4,860
CV (%)	56,612

Figura 23. Gráfica ejecución 18. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

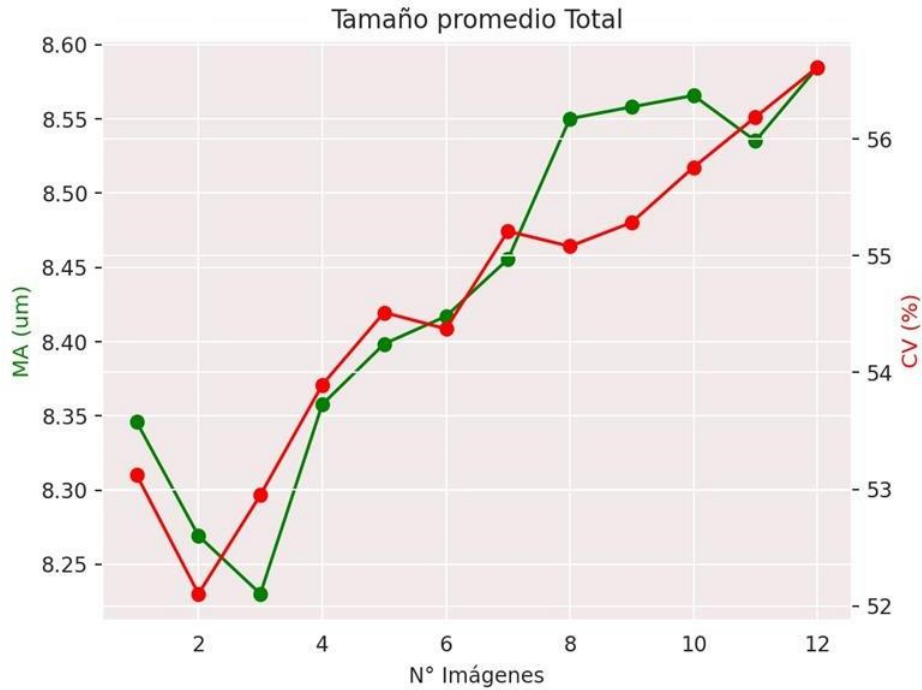


Tabla 21. Ejecución 19. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 600 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (µm)	2,995
Máx. (µm)	42,480
Promedio (µm)	8,820
Desviación Estándar (µm)	4,989
CV (%)	56,569

Figura 24. Gráfica ejecución 19. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

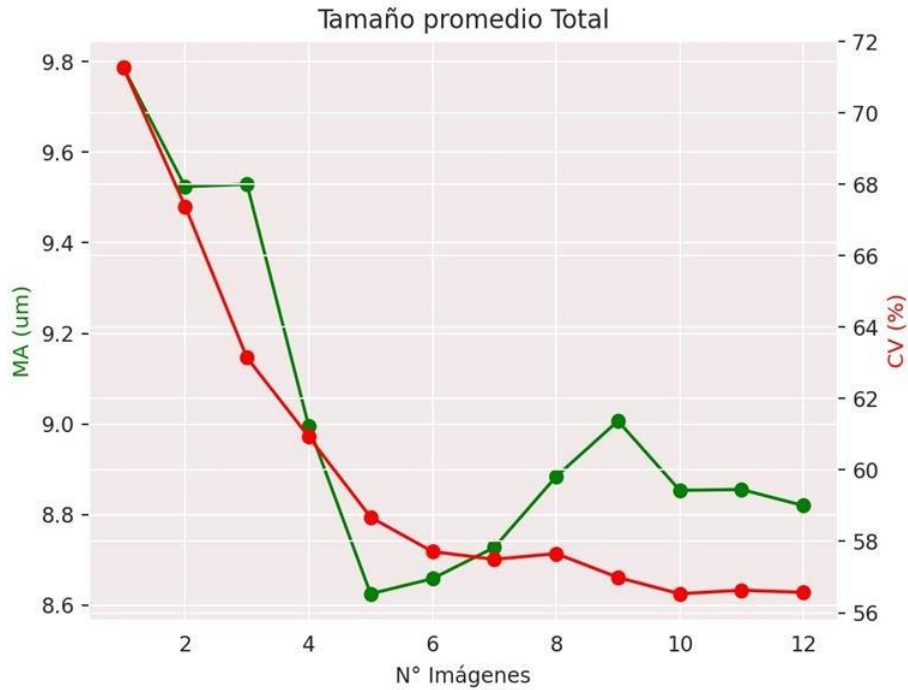


Tabla 22. Ejecución 20. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 710 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,995
Máx. (μm)	110,381
Promedio (μm)	8,848
Desviación Estándar (μm)	5,225
CV (%)	59,059

Figura 25. Gráfica ejecución 20. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

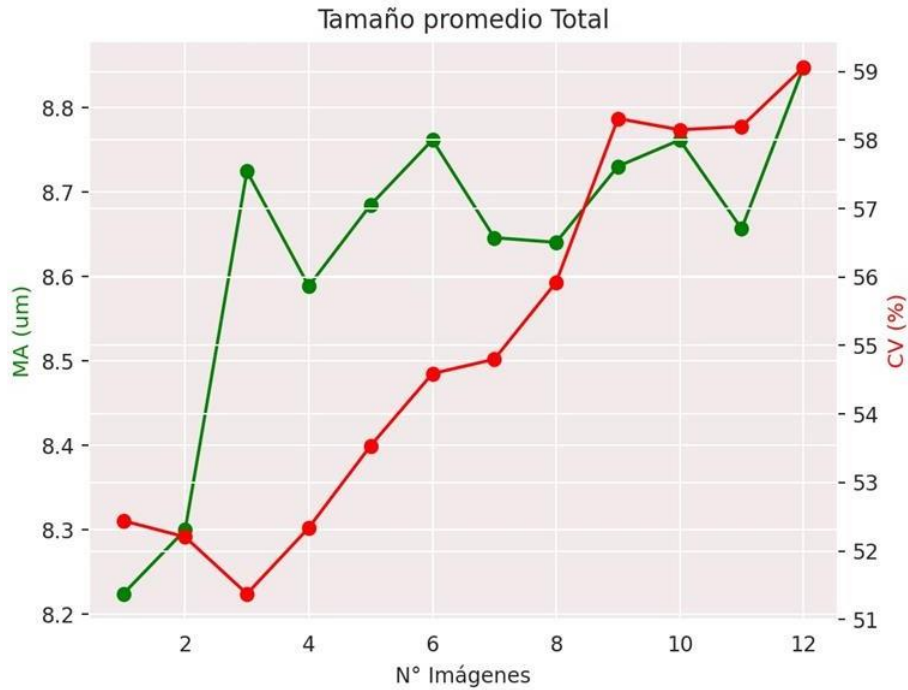


Tabla 23. Ejecución 21. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 150 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Min (μm)	2,921
Max (μm)	53,004
Promedio (μm)	9,111
Desviación Estándar (μm)	5,007
CV (%)	54,957

Figura 26. Gráfica ejecución 21. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.

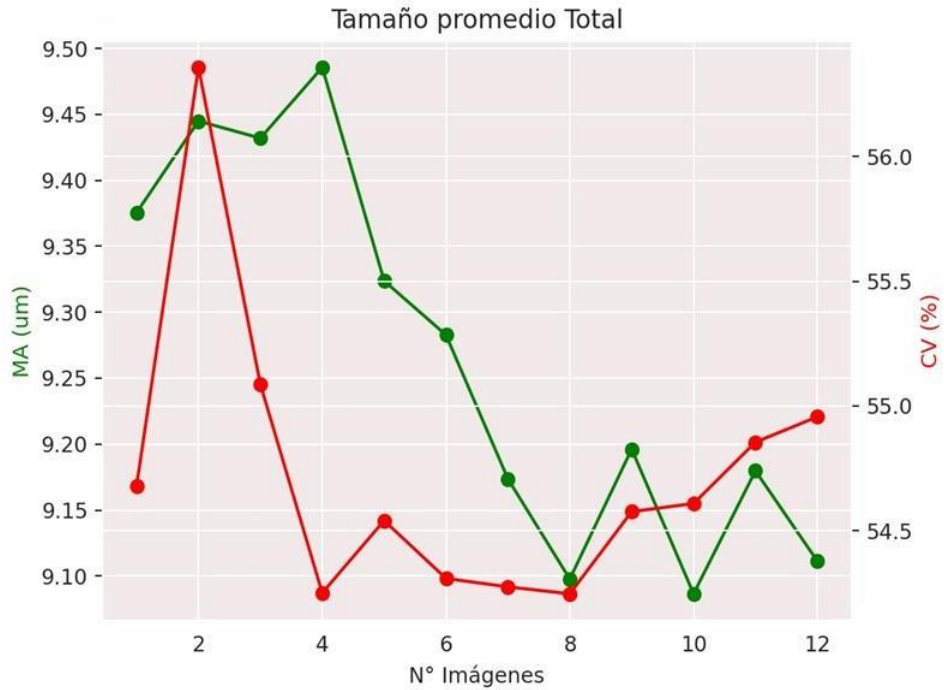
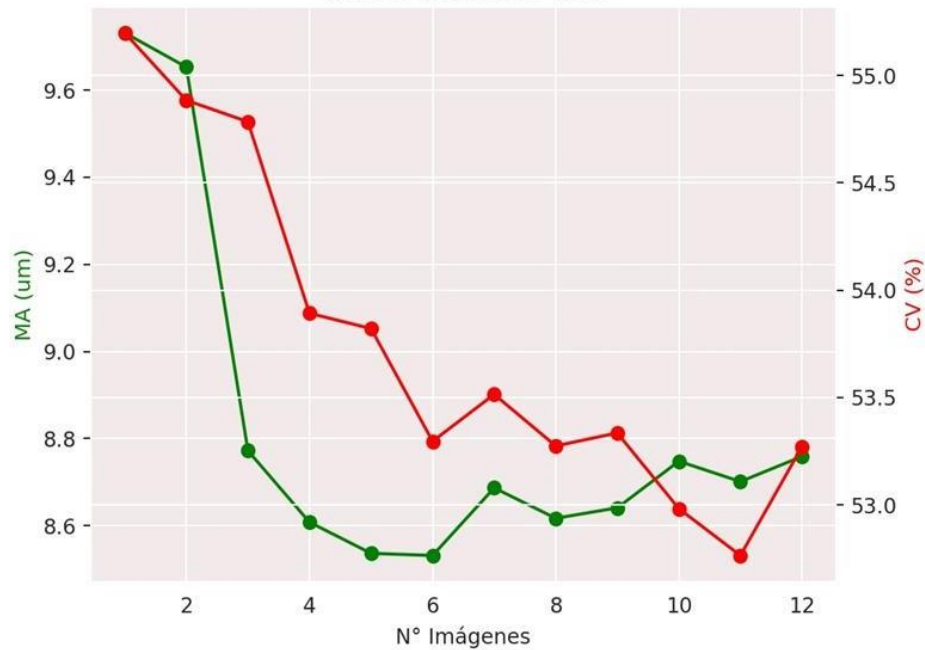


Tabla 24. Ejecución 22. Tamaño promedio total, suspensión alcohólica tamiz de 500 micrómetros, con un tiempo de molienda de 120 minutos.

Tamaño promedio Total	
Medidas	Tamaño
Mín. (μm)	2,921
Máx. (μm)	44,300
Promedio (μm)	8,885
Desviación Estándar (μm)	4,666
CV (%)	54,271

Figura 27. Gráfica ejecución 22. Del tamaño promedio total, relacionado con la apertura media, el número de imágenes y el coeficiente de variación.



Después de realizar la ejecución del diseño experimental en software Statgraphics se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 25. Análisis de diseño experimental.

Efectos estimados para CV			
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	54,570	0,714	
A:Tamaño suspensión	2,556	1,137	1,000
B:Tiempo de molienda	-2,089	1,137	1,000
AA	1,878	1,749	1,077
AB	-1,802	1,392	1,000
BB	2,873	1,749	1,077
bloque	-0,048	0,840	1,000

En la Tabla 25 se muestra las estimaciones de cada uno de los efectos y las interacciones, el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Así mismo, se puede observar que el factor de inflación de varianza (V.I.F) más grande es igual a 1,077 Para obtener un diseño perfectamente ortogonal, todos

los factores son igual a 1, y los factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria en los efectos.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Tamaño suspensión	19,594	1,000	19,594	5,050	0,040
B:Tiempo de molienda	13,086	1,000	13,086	3,380	0,086
AA	4,468	1,000	4,468	1,150	0,300
AB	6,496	1,000	6,496	1,680	0,215
BB	10,453	1,000	10,453	2,700	0,121
bloques	0,011	1,000	0,012	0,000	0,956
Error total	58,153	15,000	3,877		
Total(corr)	117,329	21,000			

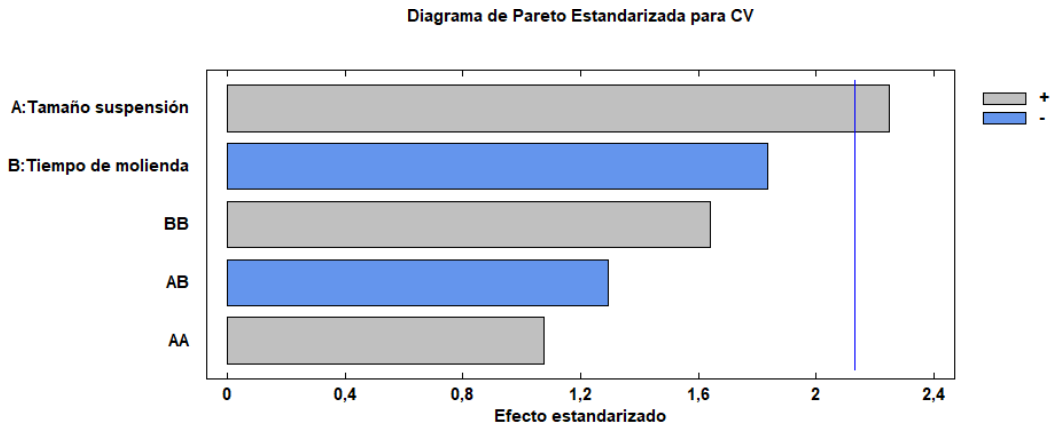
Tabla 26. Análisis de Varianza para el Coeficiente de Variación (CV)

Coeficiente de determinación (R^2)	50,44%
(R^2) (Ajustada por el g.l)	30,62%
Error estándar del est	1,69
Error absoluto medio	1,3

La Tabla 26 muestra el análisis de varianza del coeficiente de variación en piezas separadas para cada uno de los efectos, por lo cual se prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error valor experimental. En este caso, los efectos 1 tienen un P menor que 0,05, lo cual indica que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo ajustado de la varianza del CV es de 50,4363 %. El estadístico R-Cuadrado ajustado es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, como lo es el valor de 30,6108%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es de 1,96897; el error medio absoluto (MAE) es de 1,29387 el cual es el valor promedio de los resultados. El estadístico de Durbin — Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo, puesto que el valor P es mayor que el 5,0%, lo que permite pensar que no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia de 5,0%.

Figura 28. Diagrama de Pareto Estandarizada para el CV.



La figura 28 muestra el efecto estandarizado de cada uno de los factores, el tamaño de la suspensión y el tiempo de la molienda, en el cual se evidencia que el factor de influencia estadísticamente significativo es el tamaño de la suspensión que tiene un efecto sobre el coeficiente de variación en el tamaño de la partícula

$$CV = 86,2421 - 0,0638693 * Ts - 0,237611 * Tm + 0,0000939105 * Ts^2 - 0,000300375 * Ts * Tm + 0,00159595 * Tm^2$$

CV: Coeficiente de variación en%

Ts: Tamaño de la suspensión en micrómetros.

Tm: Tiempo de molienda en minutos.

3. Capítulo 3.

3.1 Optimización de la respuesta

La meta de la optimización es minimizar el coeficiente de variación (CV), por lo cual se obtuvo del software estadístico *Statgraphics Centurion XII*, un tamaño de suspensión óptimo de 540,00 micras y un tiempo de molienda de 125,00 minutos.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Tamaño suspensión (μm)	500,00	700,00	540,00
Tiempo de molienda (minutos)	90,00	150,00	125,00

Figura 29. Grafica de contornos de la superficie de respuesta estimada.

En esta grafica se observa el punto mínimo y máximo de tiempo de molienda y tamaño de la suspensión para obtener el porcentaje del coeficiente de variación óptimo.

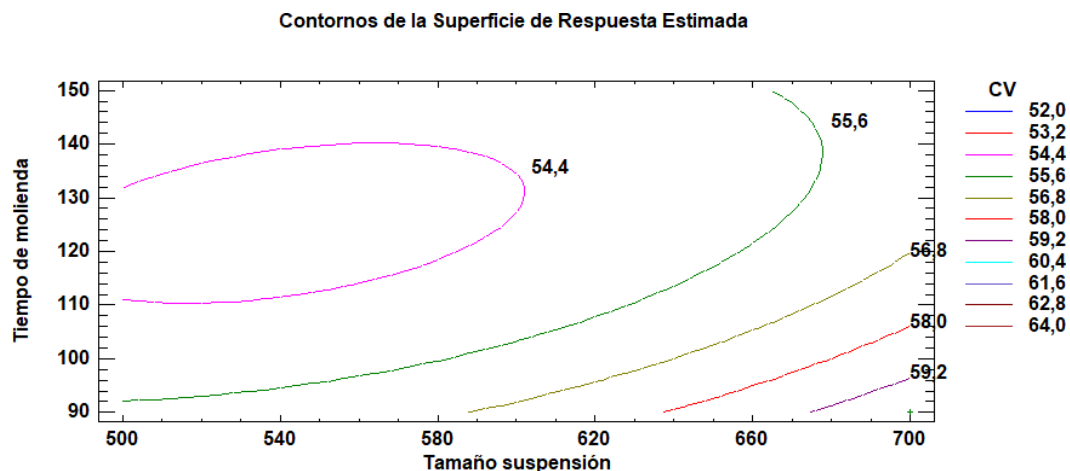
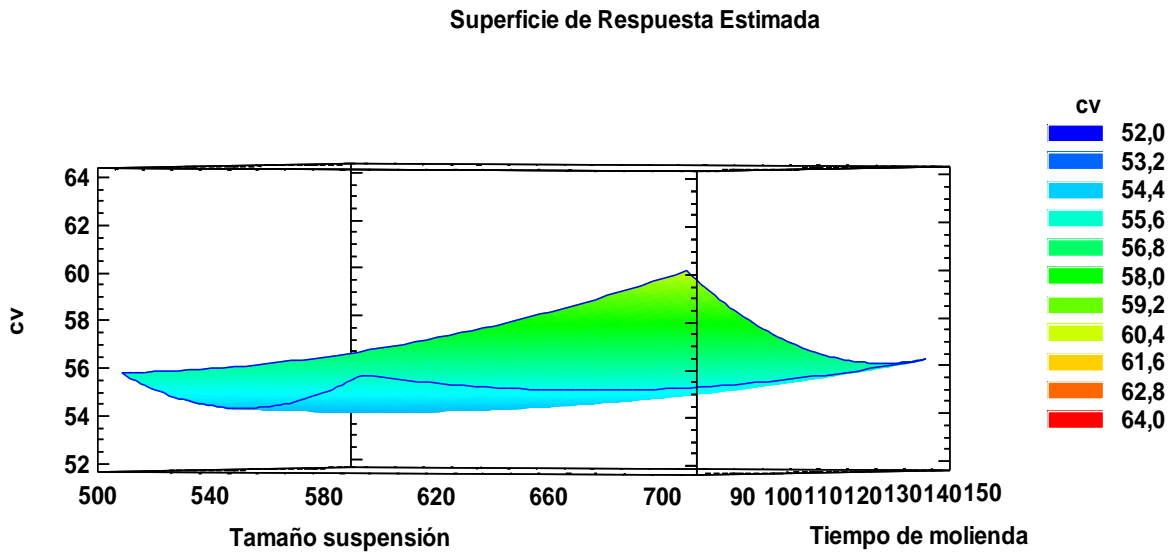


Figura 30. Superficie de respuesta estimada.

En esta grafica se observa que el coeficiente de variación de 52,0 al 55,6 por ciento que se encuentran en la zona azul de la superficie de respuesta, representan los valores óptimos

para obtener una cristalización uniforme de los granos de azúcar.



Fuente: Statgraphics Centurion XII

4. Conclusiones.

El factor de influencia estadísticamente significativo es el tamaño de la suspensión, el cual tiene un efecto sobre el coeficiente de variación en el tamaño de la partícula.

El diseño experimental dio como resultado el modelado de respuesta a partir de la ecuación de segundo grado, que modela el efecto de las dos variables: el tiempo de molienda y el tamaño de la suspensión.

Al realizar una doble tamizada se minimiza el coeficiente de variación, dado que este procedimiento garantiza que el tamaño de la partícula inicial sea más homogéneo, lo cual influye en el resultado final del análisis en la suspensión alcohólica.

De acuerdo al análisis de los resultados el coeficiente de variación óptimo de la suspensión alcohólica es de 54%, el cual se obtiene por medio de un tamaño de partícula inicial de 540,0 (μm) y un tiempo de molienda de 120 minutos.

5. Recomendaciones

Se recomienda realizar un plan operacional estandarizado (POE'S) para la preparación de la semilla y capacitar al personal operativo sobre las variables de influencia en el proceso.

Verificar el estado de los tamices mediante controles periódicos para garantizar que se encuentren en excelentes condiciones.

Realizar un mantenimiento preventivo de los molinos para garantizar una molienda eficiente.

Se recomienda seleccionar un azúcar inicial de mejor calidad para asegurar un tamaño y coeficiente de variación adecuado para el proceso.

Realizar un registro de control en la preparación de la semilla para verificar la trazabilidad en el proceso.

Usar utensilios del laboratorio adecuados para el proceso como beaker, micro pipeta, bureta, recipientes con sello hermético para el almacenamiento de la suspensión alcohólica con su debido rotulado.

Se recomienda realizar un análisis completo de otras variables del proceso como los parámetros de operación de los tachos, centrifugas y secadoras las cuales pueden influir significativamente en la variable de respuesta.

6. Bibliografía

Institución	Disciplina de Aplicación	Vínculos y ejemplos
Universidad de San Buenaventura.	Ingeniería Agroindustrial.	Arizabaleta, J. (2014). <i>Análisis comparativo de la calidad de la azúcar obtenida del sistema de tachos automáticos y manuales en el Ingenio Incauca SA</i> . Recuperado de: https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/c8124110-7298-4345-94b3-ede5b3422205 .
ASOCAÑA	Ingeniería Agroindustrial.	Asocaña. (2021-2022). Informe anual. Cali, Colombia: Asocaña, sector Agroindustrial de la caña. Recuperado de: http://www.asocana.org/documentos/672022-B663EF18-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5.pdf
Investigación	Bioenergía.	Astray, G., Gullón, B., Labidi, J., y Gullón, P. (2016). <i>Comparison between developed models using response surface methodology (RSM) and artificial neural networks (ANNs) with the purpose to optimize oligosaccharide mixtures production from sugar beet pulp</i> . <i>Industrial Crops and Products</i> , 92, 290-299. Doi. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/263614180_Comparative_Assessment_of_the_Artificial_Neural_Network_and_Response_Surf

		ace_Modelling_Eficiencias_for_Biohydrogen_Production_on_Sugar_Cane_Molasses.
ICUMSA	Control de calidad del azúcar.	Bartens, A. (2016). <i>Libro de métodos ICUMSA 2015: Suplementos 2007, 2009, 2011,2013. GS2 Distribución del tamaño de partículas de azúcar blanco mediante tamizado</i> (Vol. GS2). Disponible en: https://www.bartens.com/books/icumsa_mb_span_supl_2015_order.pdf .
Universidad de Oriente	Ingeniería Química	Fernández, P. (2011). <i>Modelos para el cálculo del tamaño de cristales de azúcar comercial en tachos</i> . Recuperado de: https://docplayer.es/79434251-Modelos-para-el-calculo-del-tamano-de-cristales-de-azucar-comercial-en-tachos-parte-2.html
University of Gezira	Ingeniería Química	Dafaalla, H. (2010). <i>Impact of Clarification on Raw Sugar Quality in Cane Sugar Factories. Sudan</i> . Recuperado de http://repo.uofg.edu.sd/bitstream/handle/123456789/995/Hend%20Dafaalla%20Mohammed%20Dafaalla.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Universidad Privada del Norte	Facultad de Ingeniería	Gómez, H. (2020). <i>Mejora del método de trabajo del área de refinería de una empresa agroindustrial: una revisión de la literatura científica</i> . Recuperado de: http://hdl.handle.net/11537/23815
Universidad Antonio Nariño	Ingeniería Agroindustrial.	Góngora, W. (2022). <i>Incidencia del comportamiento del comercio internacional del sector azucarero en la ocupación de Colombia y el Valle del Cauca</i> . Recuperado de:

		http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5936 .
Universidad Nacional del Santa.	Ingeniería Agroindustrial.	Gonzales, P. y Melgarejo, J. (2021). <i>Implementación de un sistema de tratamiento de 700 gpm de efluentes, para optimizar el consumo de agua en condensadores barométricos</i> . Recuperado de: http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3943 .
Organización Internacional del Azúcar	Ingeniería Agroindustrial.	International Sugar Organization. (s. f.). Recuperado el 5 de noviembre de 2022, de https://www.isosugar.org/sugarsector/sugar .
Universidad del Valle	Trabajo de grado para título de Economista.	Murillo, H. (2019). <i>La importación de azúcar en Colombia y su incidencia en la estructura azucarera colombiana 2013-2018</i> . Recuperado de:
FEDEDESARROLLO	Ingeniería Agroindustrial de la caña.	Núñez, J., et al. (2018). <i>Estudio sobre el impacto socioeconómico del sector agroindustrial de la caña de azúcar en Colombia</i> . Recuperado de: https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/3758 .
Peter Rein	Libro	Rein, P. (2012). <i>Ingeniería de la Caña de Azúcar</i> . Berlín, Alemania: Elbe Druckerei Wittenberg.
Soares, C., & Mendeiros, F	Libro	Soares, C. y Mendeiros, F. (2015). <i>SUGARCANE</i> . Recuperado de https://www-sciencedirect-

		com.ezproxy.uniminuto.edu/science/article/pii/B9780128022399000141?via%3Dihub
Universidad Tecnológica de Pereira	Química Industrial	Valencia, P. C. A. (2013). <i>Determinación de las condiciones óptimas para la producción de azúcar turbinado en los parámetros color y tamaño de grano en la empresa Ingenio Risaralda S.A.</i> Recuperado de: https://repositorio.utp.edu.co/items/89b043ec-d516-4940-b8c6-1eefb6f48141

7. Anexos

A. Anexo 1.



Fuente: Propia. Muestra de azúcar

B. Anexo 2



Fuente: Propia. Pila de tamices.

C. Anexo 3



Fuente: Propia. Pila de tamices en el RO-TAP

D. Anexo 4



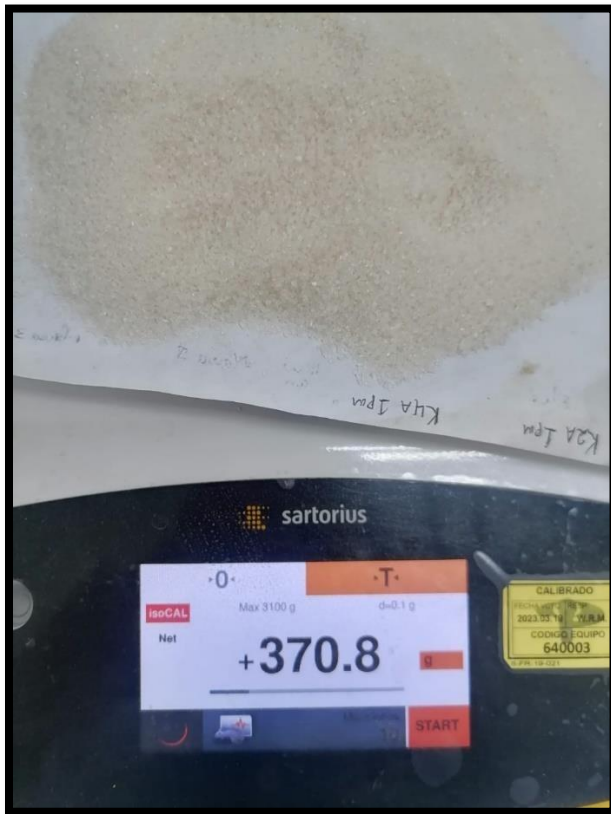
Fuente: Propia. Tamices 710 (um)



500 (um)



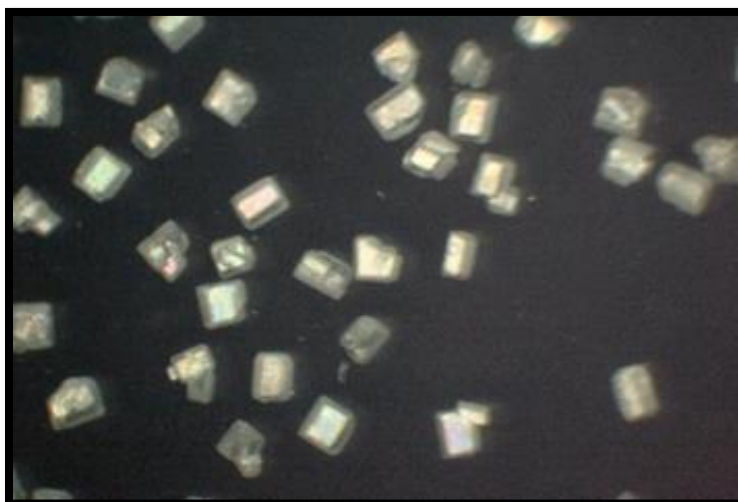
E. Anexo 5



Fuente: Propia. Pesado de azúcar tamizada doble

F. Anexo 6

Fotografía azúcar tamizada doble por medio de microscopio

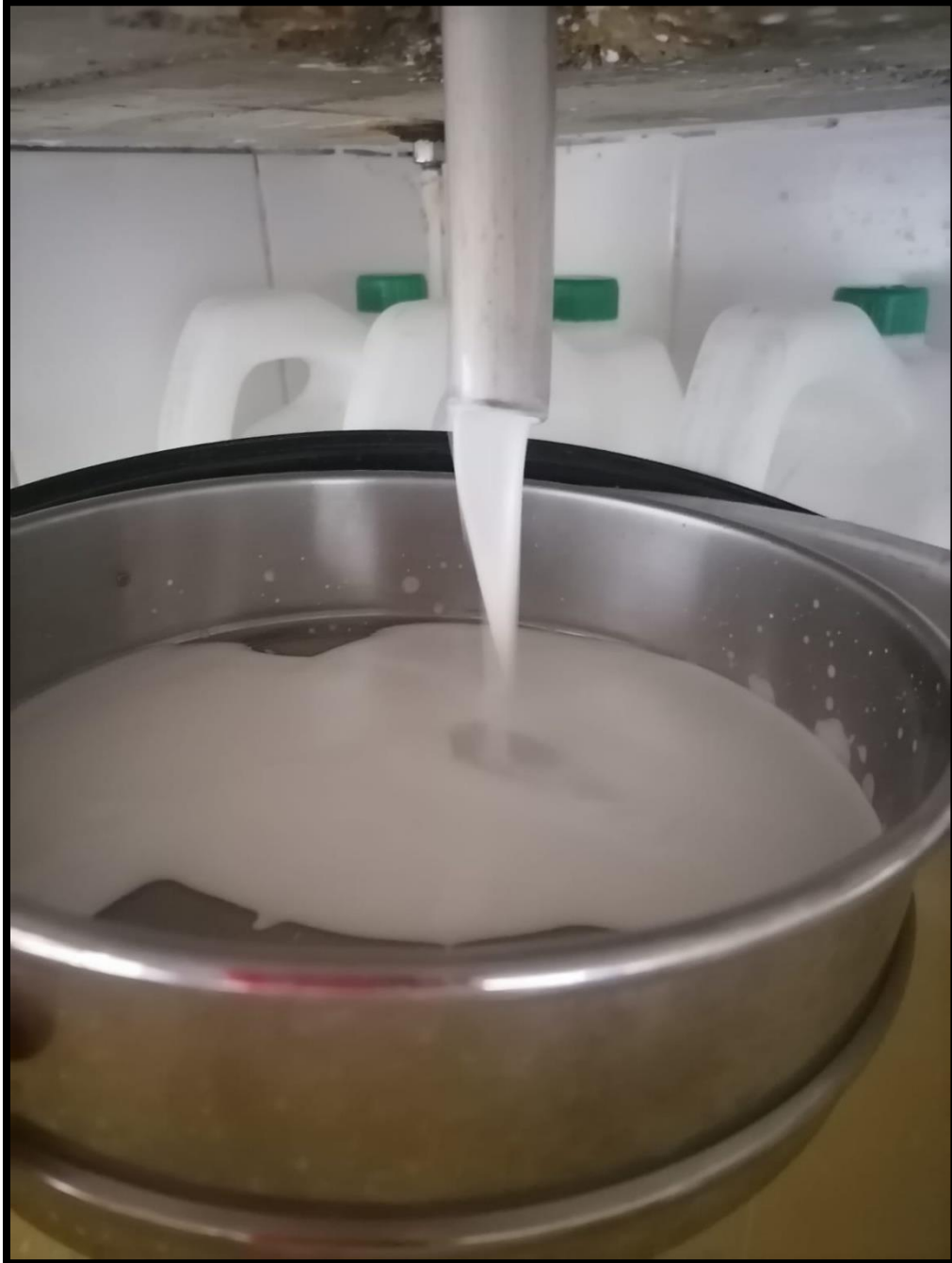


G. Anexo: Molienda



H. Anexo 7

Suspensión tamizada en tamiz 100 (um)



I. Anexo 8

Transvasar suspensión



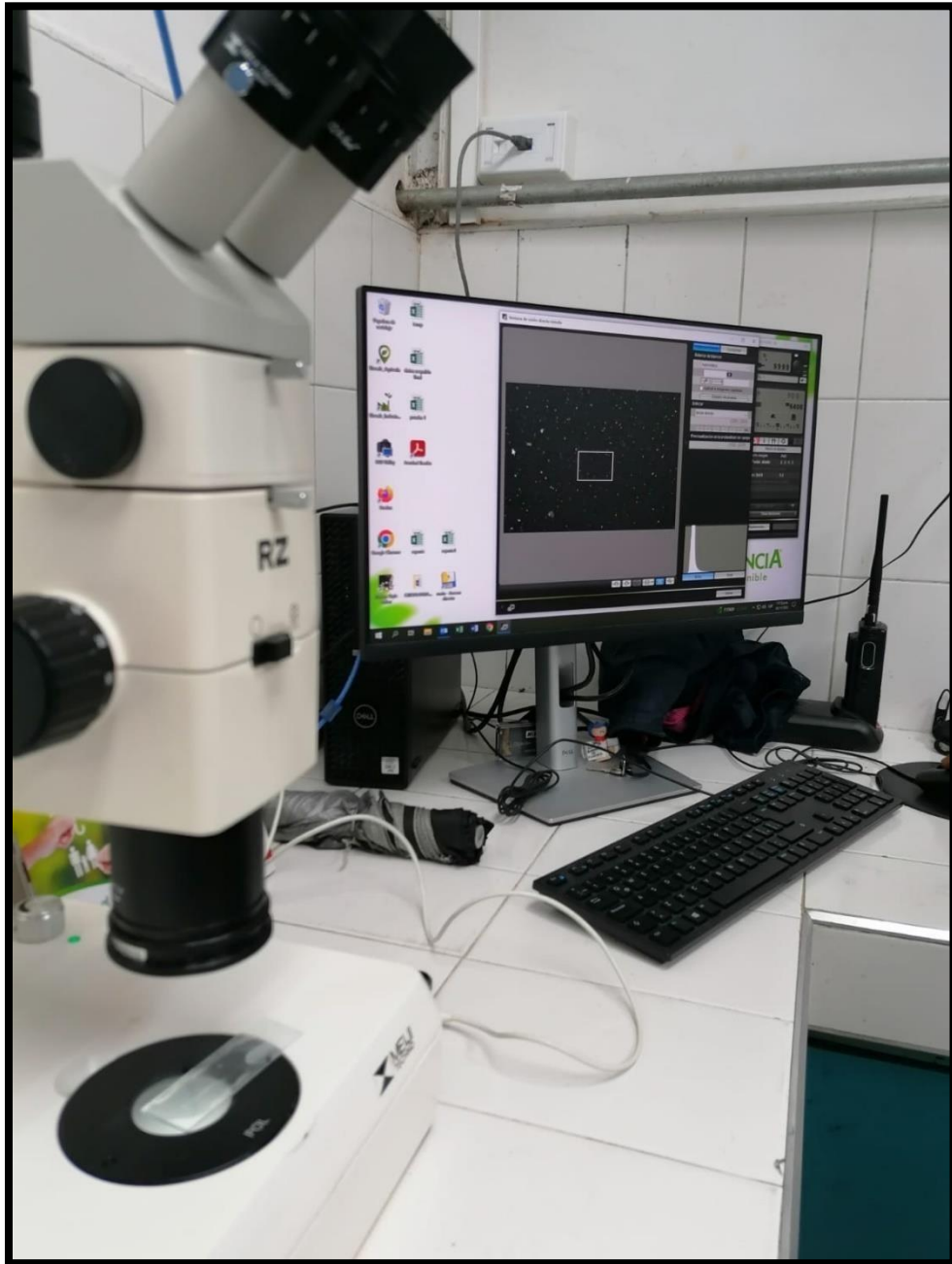
J. Anexo 9

Toma de muestra en portaobjetos



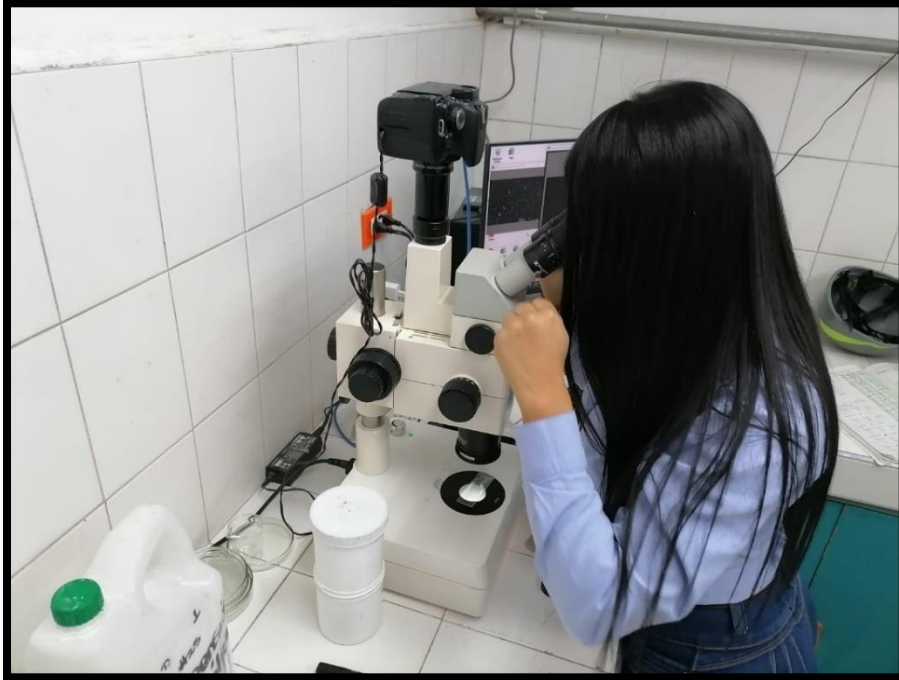
K.Anexo 10

Microscopio



L.Anexo 11

Análisis de muestra



Fuente: Propia

M. Anexo 12

Toma fotográfica de suspensión






N. Anexo 13

Fotográfica de suspensión



O. Anexo 15

 FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD ALCOHOL ANHÍDRO <small>Versión: 01</small>	
SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	
Identificador SGA del producto	ALCOHOL ANHÍDRO
Otros medios de identificación	Alcohol Anhidro
Datos sobre el proveedor	INGENIO PROVIDENCIA S.A. Km 12 Via El Cerrito – Palmira, Valle del Cauca Tel: 438-4910 www.ingprovidencia.com
Número del teléfono para Emergencias	Cisproquim – Línea nacional 018000916612- Bogotá (3) 7884367
SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO O PELIGROS	
Elementos de las etiquetas del SGA, incluidos los consejos de prudencia	 Palabras de advertencia: LÍQUIDOS INFLAMABLE Diamante NFPA  Riesgo a la salud: Nivel 2 (Peligroso) Inflamabilidad: Nivel 3 (Debajo de 37°C) Reactividad: Nivel 0 (Estable) Riesgo específico: Ninguno.
Otros peligros que no conducen a una clasificación	Ninguna.
SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES	
Mezclas	Ingredientes peligrosos de acuerdo con el SGA: Identidad química de la sustancia: Alcohol anhidro Nombre común, sinónimos de la sustancia: Alcohol anhidro Fórmula química Alcohol Etílico: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ Número CAS Etanol: 64-17-5 Concentración Etanol: >99,5 % (v/v) Número CAS Agua: 7732-18-8 Concentración Agua: <0,5 % (v/v)
SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS	
Descripción de los primeros auxilios necesarios	Inhalación: Remover la persona del lugar de exposición hacia un área ventilada. Si la persona no está respirando aplicar respiración artificial con asistencia mecánica. Nunca hacer resucitación boca a boca. Si respira con dificultad, personas entrenadas deben suministrar oxígeno. Trasladar a la persona a la enfermería o a un centro médico cercano. Ingestión: No inducir al vomito. Si la persona está consciente y alerta suministrar abundante agua. No suministrar líquidos a una persona inconsciente. Proveer atención médica inmediata. Contacto con la piel: Remover inmediatamente la ropa y zapatos contaminados y bañar a la persona por al menos 15 minutos. En caso de irritación consultar al médico. Contacto con los ojos: Lavarse abundantemente los ojos con agua por al menos 15 minutos (remover lentes de contacto si se puede hacer sin lastimar a la persona). Consultar a un médico inmediatamente.
Síntomas/ efectos más importantes, agudos o retardados	Ojos: Causa irritación ocular severa. Posible sensibilidad dolorosa a la luz. Puede causar conjuntivitis química y daño a la córnea. Piel: Causa irritación moderada a la piel. El contacto repetido o prolongado puede causar dermatitis debido a desgaste de la piel. Ingestión: Puede causar irritación intestinal con náuseas, vómito y diarrea; toxicidad sintética con acidosis, depresión del sistema nervioso central caracterizado por exaltación seguido de dolor de cabeza, mareos, desmayos y náuseas. Estados avanzados pueden causar un colapso, inconsciencia, coma y posible muerte debido a insuficiencia respiratoria. Inhalación: Inhalación de altas concentraciones puede causar efectos en el sistema nervioso central caracterizados por náuseas, dolor de cabeza, mareos, inconsciencia y coma; El tracto respiratorio se puede irritar. Crónico: Dermatitis. Exposición prolongada puede causar daños al hígado, riñones y corazón.
Indicación de la necesidad de recibir atención médica inmediata y, en su caso, de tratamiento especial	No disponible.
SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS	
Medios de extinción apropiados	Extintores: Dióxido de carbono, polvo químico seco y espuma de alcohol.
Peligros específicos del producto químico	Fuego: Tanto el producto líquido como sus vapores son extremadamente inflamables. Los vapores puede viajar grandes distancias a fuentes de ignición y regresar incendiados. Mezclas de vapor y aire en límites inflamables, son explosivos. Explosión: El calor desde el fuego puede causar una sobrepresión y los contenedores pueden explotar.

Ficha técnica alcohol Anhidro