

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**

Tesis:

**“EFECTO DEL TIPO DE FLOCULANTE Y LA
TEMPERATURA DE CLARIFICACIÓN EN LA CALIDAD Y
RENDIMIENTO DE LA PANELA GRANULADA PRODUCIDA
POR LA MARCA GRODINA”**

**Tesis Para Optar al Título Profesional de:
Ing. Agroindustrial**

Autores:

**Bach. Gamel Benito Medina Alcalde
Bach. Edin Osmar Caruajulca Guevara**

Asesor:

Ph. D. Frank Fluker Velasquez Barreto

**Chota – Perú
2026**

Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
ASESOR DE INFORME DE TESIS

**Constancia de Originalidad y Uso de
Inteligencia Artificial**

CO-005-2026-FFVB-EPIA-FCA

El que suscribe, Asesor del Informe de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado **“EFECTO DEL TIPO DE FLOCULANTE Y LA TEMPERATURA DE CLARIFICACIÓN EN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA PANELA GRANULADA PRODUCIDA POR LA MARCA GRODINA”** perteneciente a los tesisistas Gamel Benito Medina Alcalde y Edin Osmar Caruajulca Guevara; presenta un **GRADO DE SIMILITUD de 18 % y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE 0 %**, en base al análisis realizado por el Software Antiplago Turnitin (07/07/2026) y este corresponde a una similitud menor al 20 %, por lo que se considera producción intelectual propia (Art. 27e del Reglamento de Grados y Títulos 2025 aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 770-2025-UNACH).

La presente se emite al interesado para los trámites que estime conveniente.

Chota, 07 de julio de 2026.



Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor de Informe de Tesis
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial
Facultad de Ciencias Agrarias

Frank Fluker Velásquez Barreto

Informe tesis Gamel y Edin



Tesis Gamel y Edin



Tesis Gamel y Edin



Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3607821830

Fecha de entrega

7 jul 2026, 5:26 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

7 jul 2026, 5:36 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

V2._-Gamel_B_Medina_Alcalde_Edin_O_Caruajulca_Guevera_1.docx

Tamaño del archivo

3.3 MB

85 páginas

19.381 palabras

112.273 caracteres



Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

► Bibliografía

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 7%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
39 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 7% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	2%
2	Internet	hdl.handle.net	1%
3	Internet	repositorio.utc.edu.ec	<1%
4	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
5	Internet	knepublishing.com	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
7	Internet	repositorio.espe.edu.ec	<1%
8	Internet	repositorio.uteq.edu.ec	<1%
9	Internet	www.researchgate.net	<1%
10	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
11	Internet	www.tdx.cat	<1%

Ph. D. Frank Ffuker Velásquez Barreto
Asesor

12	Internet	www.uticvirtual.edu.py	<1%
13	Internet	dgsa.uaeh.edu.mx:8080	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universitat Oberta de Catalunya	<1%
15	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
16	Internet	www.agronomia.unal.edu.co	<1%
17	Internet	pdfslide.tips	<1%
18	Internet	repositorioinstitucional.uabc.mx	<1%
19	Internet	repository.unad.edu.co	<1%
20	Internet	www.coursehero.com	<1%
21	Internet	www.revista.icidca.azcuba.cu	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica del Peru	<1%
23	Internet	www.iksadamerica.org	<1%
24	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%

Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

26	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
27	Internet	repositorio.ucss.edu.pe	<1%
28	Internet	docplayer.es	<1%
29	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
30	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
31	Internet	www.alanrevista.org	<1%
32	Trabajos del estudiante	Quality Leadership Universidad	<1%
33	Internet	escuelanutricion.fmed.uba.ar	<1%
34	Internet	helvia.uco.es	<1%
35	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
36	Internet	repositorio.unaj.edu.pe	<1%
37	Publicación	Cecibel Lisbeth Alava Pincay. "Utilización del subproducto de la horchata en la ela...	<1%
38	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec:8080	<1%
39	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%


 Ph. D. Frank Fuker Velásquez Barreto
 Asesor

40	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
41	Internet	repositorio.uea.edu.ec	<1%
42	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%
43	Publicación	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Bi...	<1%
44	Internet	1library.co	<1%
45	Trabajos del estudiante	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente	<1%
46	Internet	rraae.cedia.edu.ec	<1%
47	Internet	revistas.itm.edu.co	<1%
48	Trabajos del estudiante	Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO	<1%
49	Internet	qa1.scielo.br	<1%
50	Internet	amanglana.unag.edu.hn	<1%
51	Internet	sheedostudio.com	<1%
52	Internet	www.grafiati.com	<1%
53	Publicación	#N/A. "Actualización del PIGARS de la Provincia de Cutervo 2021-IGA0013577", O....	<1%

Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

54	Trabajos del estudiante	Uniminuto Virtual	<1%
55	Internet	docslib.org	<1%
56	Internet	repositorio.cidecuador.org	<1%
57	Publicación	C. Antonio-Estrada, L. A. Bello-Pérez, C. E. Martínez-Sánchez, J. L. Montañez-Soto e...	<1%
58	Publicación	Kanyaphat Meerod, Monthana Weerawatanakorn, Wanwisa Pansak. "Effect of Li...	<1%
59	Internet	es.slideshare.net	<1%
60	Internet	repositorio.uct.edu.pe	<1%
61	Internet	repositorio.upec.edu.ec	<1%
62	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
63	Internet	sniqba.com.mx	<1%
64	Trabajos del estudiante	utn	<1%
65	Internet	www.virtualpro.co	<1%
66	Internet	ilitia.cua.uam.mx:8080	<1%
67	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%

Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

68	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
69	Internet	repositorio.untrm.edu.pe	<1%
70	Internet	repository.udca.edu.co	<1%
71	Internet	www.scielo.org.mx	<1%
72	Publicación	Jorge García Ivars. "OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MEMBRANAS POLIMÉRI...	<1%
73	Trabajos del estudiante	Universidad Estatal Amazonica-	<1%
74	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
75	Internet	conadesuca.gob.mx	<1%
76	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
77	Internet	dspace.utb.edu.ec	<1%
78	Internet	eprints.ucm.es	<1%
79	Internet	prussia.online	<1%
80	Internet	qdoc.tips	<1%
81	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%


 Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Asesor

82	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
83	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
84	Internet	revistas.unicordoba.edu.co	<1%
85	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
86	Trabajos del estudiante	uazuay	<1%
87	Publicación	Daniel A. Jacobo-Velázquez, Gerardo Castellanos-Dohnal, Porfirio Caballero-Mata,...	<1%
88	Publicación	Gonzalez, Jesus Ivan da Silva. "Last Advances in Crystal Structure Solving from Po...	<1%
89	Publicación	Harrison de la Rosa Ramírez. "Desarrollo de formulaciones de ácido poliláctico (P...	<1%
90	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
91	Internet	de.slideshare.net	<1%
92	Internet	dicea.chapingo.mx	<1%
93	Internet	editorial.uniamazonia.edu.co	<1%
94	Internet	files01.core.ac.uk	<1%
95	Internet	inba.info	<1%


Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

96	Internet	prezi.com	<1%
97	Internet	repositorio.iica.int	<1%
98	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
99	Internet	repositorio.uileam.edu.ec	<1%
100	Internet	repositorio.unac.edu.pe	<1%
101	Internet	repositorio.upse.edu.ec	<1%
102	Internet	repositorioinstitucional.buap.mx	<1%
103	Internet	repositoriousco.co	<1%
104	Internet	revistas.unal.edu.co	<1%
105	Internet	revistas.unap.edu.pe	<1%
106	Internet	slidehtml5.com	<1%
107	Internet	worldwidescience.org	<1%
108	Internet	ww2.ufps.edu.co	<1%
109	Internet	www.ihobe.es	<1%


 Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
 Asesor

110	Internet	
www.rind-schwein.de		<1%
111	Internet	
www.veoliawatertechnologies.es		<1%
112	Publicación	
Zegarra Cordova, Rony Ivan. "Análisis de la Contribución de Procompite en la Mej...		<1%



Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
Reglamento de Grados y Títulos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 039-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.°246-2026-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Dr. Thony Arce Saavedra	Presidente
Dra. Doris Elena Delgado Tapia	Secretario
Mg. Martín Díaz Torres	Vocal

De la tesis titulada:

EFFECTO DEL TIPO DE FLOCULANTE Y LA TEMPERATURA DE CLARIFICACIÓN EN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LA PANELA GRANULADA PRODUCIDA POR LA MARCA GRODINA

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Gamel Benito Medina Alcalde	73420114
Edin Osmar Caruajulca Guevara	75052954

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

☒	Unanimidad	☐	Mayoría
-------------------------------------	------------	--------------------------	---------

☒	Aprobar	☐	Desaprobar
-------------------------------------	---------	--------------------------	------------

Otorgando la calificación de:

15	Aprobado
☐	Excelente
☒	Bueno
☐	Regular

☐	Desaprobado
--------------------------	-------------

Colpa Huacaris 01 de julio del 2026

Dr. Thony Arce Saavedra
Presidente

Dra. Doris Elena Delgado Tapia
Secretario

Mg. Martín Díaz Torres
Vocal

Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto
Asesor

DEDICATORIA

Gamel Benito Medina Alcalde

Dedico este presente trabajo a mis padres y hermanos, por su apoyo permanente, confianza y motivación durante mi formación personal y profesional. Asimismo, a quienes contribuyeron con sus conocimientos y orientación académica al desarrollo de esta investigación, lo cual contribuye un aporte a mi formación como futuro Ingeniero Agroindustrial.

Edin Osmar Caruajulca Guevara

Dedico este presente trabajo a mis padres y familiares, por su respaldo constante, comprensión y estímulo durante mi etapa universitaria. De igual manera, a las personas que aportaron con sus enseñanzas y asesoramiento en la ejecución de esta investigación.

Orientada a la obtención del título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro especial agradecimiento a nuestra alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por habernos brindado la formación académica y profesional necesaria para el desarrollo de nuestra carrera. Asimismo, agradecemos a Dios, por concedernos la vida, la fortaleza y la valiosa oportunidad de completar esta etapa clave de nuestra formación profesional. A nuestros padres y hermanos, por su apoyo, confianza y motivación constante a lo largo de este camino académico. Asimismo, expresamos nuestro reconocimiento a nuestro asesor Ph. Dr. Frank Fluker Velasquez Barreto, por su guía y aportes importantes al desarrollo de esta investigación. De manera especial, agradecemos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por compartir sus conocimientos y contribuir de manera significativa en nuestra formación profesional.

Índice de Contenidos

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Justificación	3
1.3. Formulación del Problema.....	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Bases Teóricas.....	12
2.2.1. <i>Caña azúcar</i>	12
2.2.2. <i>Panela granulada</i>	12
2.2.3. <i>Etapas del Proceso de elaboración de panela granulada</i>	13
2.2.4. <i>Importancia de la clarificación</i>	13
2.2.5. <i>Uso de Floculantes en la etapa de clarificación del jugo de caña</i>	14
2.2.6. <i>Efecto de los floculantes en la calidad del producto final</i>	15
2.2.7. <i>Temperatura de clarificación</i>	16
2.2.8. <i>Parámetros de calidad en la panela granulada</i>	17
2.3. Definiciones Conceptuales	19
2.3.1. <i>Floculante</i>	19
2.3.2. <i>Extracción de floculantes</i>	20
2.3.3. <i>Temperatura de clarificación</i>	22
2.3.4. <i>Parámetros de color (L^*, a^*, b^*)</i>	23
2.3.5. <i>Índice de Blancura</i>	23
2.3.6. <i>Sólidos Insolubles</i>	24
2.3.7. <i>Rendimiento</i>	24

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	26
3.1. Tipo, Diseño, Nivel y Enfoque de Investigación.....	26
3.2. Ubicación, Población, Muestra, Muestreo y Unidad de Análisis	26
3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	27
3.4. Hipótesis	28
3.4.1. <i>Hipótesis nula (H_0)</i>	29
3.4.2. <i>Hipótesis alternativa (H_1)</i>	29
3.5. Operacionalización de Variables.....	29
3.6. Procedimientos de Recolección de Datos.....	31
3.6.1. <i>Proceso de obtención de panela granulada.</i>	31
3.6.2. <i>Análisis de la calidad de la panela granulada.</i>	34
3.6.3. <i>Rendimiento de la panela granulada</i>	34
3.7. Procedimientos de Análisis de Datos.....	35
3.8. Material y Equipos (Descripción del uso)	36
3.9. Aspectos Éticos.....	36
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	37
4.1. Descripción de Resultados.....	37
4.1.1. <i>Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en los parámetros de color (l^*, a^*, b^*) de la panela granulada.</i>	37
4.1.2. <i>Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en el índice de blancura de la panela granulada.</i>	40
4.1.3. <i>Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en la presencia de sólidos insolubles (%) de la panela granulada.</i>	42
4.1.4. <i>Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en el porcentaje de rendimiento.</i>	43
4.2. Contrastación de Hipótesis	44
4.3. Discusión	45
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1. Conclusiones.....	48

5.2.	Recomendaciones	49
	REFERENCIAS.....	50
	ANEXOS	67

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	28
Tabla 2. <i>Cuadro de Operacionalización de variables</i>	30
Tabla 3. <i>Distribución de tratamientos del estudio</i>	33
Tabla 4. <i>Equipos, materiales y/o insumos requeridos para la elaboración de panela granulada</i>	36
Tabla 5. <i>Parámetros de luminosidad (L^*) de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.</i>	38
Tabla 6. <i>Parámetros del componente rojo (a^*) de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.</i>	39
Tabla 7. <i>Parámetros del componente amarillo (b^*) de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.</i>	40
Tabla 8. <i>Índice de blancura de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.</i>	41
Tabla 9. <i>Porcentaje de sólidos insolubles de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.</i>	43
Tabla 10. <i>Porcentaje de rendimiento de panela granulada con diferentes floculantes y temperaturas de clarificación.</i>	44
Tabla 11. <i>Cuadro de Matriz de consistencia</i>	67

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Diagrama del espacio de color $L^*a^*b^*$</i>	23
Figura 2. <i>Diagrama de flujo de elaboración de panela granulada.</i>	32

Índice de Abreviaturas

Saccharum officinarum: Nombre científico de la caña de azúcar

°C : Grados Celsius

°Brix : Grados Brix (contenidos de sólidos solubles)

L* : Parámetro de luminosidad del sistema CIELab

a* : Componente rojo-vede de sistema CIELab

b* : Componente amarillo-azul del sistema CIELab

% : Porcentaje

ANOVA : Análisis de varianza

p : Nivel de significancia estadística

NCS : Azúcar no centrifugada (panela)

Resumen y Palabras Clave

La panela granulada es un producto obtenido mediante la concentración del jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), cuya calidad depende, en gran medida, de la eficiencia del proceso de clarificación, etapa en la que se remueven impurezas presentes en el jugo. Sin embargo, en diversas plantas paneleras esta operación aún se realiza de manera empírica, generando variaciones en el color, contenido de sólidos insolubles y rendimiento final. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en la calidad y rendimiento de la panela granulada producida por la empresa Grodina. Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×3 , considerando tres floculantes: extracto acuoso de ajo, mucílago de cacao y mucílago de balso al 2 %, y tres temperaturas de clarificación: 60 °C, 70 °C y 80 °C. Se obtuvieron 9 tratamientos más un tratamiento control, con tres repeticiones cada uno. Los resultados mostraron que los dos factores (tipo de floculante y la temperatura clarificación) afectaron significativamente ($p < 0,05$) en los parámetros de color L^* , a^* , b^* , índice de blancura, sólidos insolubles y rendimiento de la panela granulada, donde el tratamiento de mucílago de balso a 80 °C presentó mayor luminosidad ($L^* = 71,47$), mayor índice de blancura (62,33) y menor contenido de sólidos insolubles (0,09 %), con un ligera reducción del rendimiento (14,41 %) en comparación con los otros tratamientos y el control. Se concluye que dicho tratamiento mejora la calidad de la panela granulada, aunque reduce ligeramente el rendimiento, manteniéndolo dentro de un nivel aceptable para el proceso productivo.

Palabras Clave: Panela granulada; clarificación; floculantes naturales; índice de blancura; sólidos insolubles; rendimiento.

Abstract and Keywords

Granulated panela is a product obtained by concentrating sugarcane (**Saccharum officinarum**) juice; its quality depends largely on the efficiency of the clarification process, the stage during which impurities present in the juice are removed. However, in many panela processing plants, this operation is still carried out empirically, leading to variations in color, insoluble solids content, and final yield. This study aimed to evaluate the effect of the type of flocculant and the clarification temperature on the quality and yield of granulated panela produced by the company Grodina. A completely randomized design with a 3×3 factorial arrangement was applied, considering three flocculants—aqueous garlic extract, cocoa mucilage, and 2% balsa mucilage—and three clarification temperatures: 60°C, 70°C, and 80°C. Nine treatments plus a control treatment were obtained, with three replicates for each. The results showed that both factors (flocculant type and clarification temperature) significantly affected ($p < 0.05$) the parameters of color (L^* , a^* , b^*), whiteness index, insoluble solids, and yield of the granulated panela. The balsa mucilage treatment at 80°C exhibited the highest lightness ($L^* = 71.47$), the highest whiteness index (62.33), and the lowest insoluble solids content (0.09%), albeit with a slight reduction in yield (14.41%) compared to the other treatments and the control. It is concluded that this treatment improves the quality of the granulated panela; although it slightly reduces yield, the yield remains within an acceptable level for the production process..

Keywords: Granulated panela; clarification; natural flocculants; whiteness index; insoluble solids; yield.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La producción de panela, también conocida como azúcar no centrifugada, se obtiene a partir de la concentración de jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) (Alarcón et al., 2021), es un proceso agroindustrial de gran relevancia en países tropicales y subtropicales, especialmente en América Latina y Asia (Contreras et al., 2024; Agronet, 2021). Este producto es valorado por su naturalidad (Rayappa, 2023) y por ser una alternativa más saludable frente a los azúcares refinados; ya que es antidiabético, anticariogénico (ayuda a prevenir la formación de caries dentales), antioxidante y tiene actividad de eliminación de radicales debido a la presencia de vitaminas, minerales, ácidos fenólicos y componentes flavonoides (Ebadi & Azlan, 2020). Sin embargo, a nivel global, este agronegocio afronta desafíos concernientes con la estandarización de procesos, la calidad del producto y la competitividad en mercados internacionales (Aguilar, 2024). La falta de tecnologías avanzadas y de estudios científicos que optimicen las etapas clave del proceso (Vera et al., 2019), como la clarificación del jugo de caña, limitando la capacidad de productores para cumplir con los parámetros de calidad exigidos (Venkatesh et al., 2023). Esto repercute en la comercialización del producto a nivel internacional (Aguilar & Olvera, 2021), donde compite con otros edulcorantes provenientes de mejores procesos y estandarizados (Cohen et al., 2024).

En América Latina, la panela es un producto tradicional con un fuerte arraigo cultural y económico, especialmente en países como Colombia, Perú, Ecuador y México (Lazaro et al., 2021); no obstante, la producción panelera en la región enfrenta problemas comunes, como la baja inversión de capital y tecnología (Rodríguez et al., 2022), y deficiencia en los procesos afectando la calidad del producto (Menjura et al., 2024). La etapa de clarificación, en particular, es una de las más críticas, ya que influye directamente en las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas de la panela (Jerez, 2024); pues, dado a una escasez de

estudios que evalúen el efecto de variables como el tipo de floculante y la temperatura durante la clarificación ha impedido la optimización de esta etapa (Velásquez et al., 2019), lo que se traduce en productos con características inestables y, en ciertos casos, con contenidos de impurezas que no se ajustan a los estándares de calidad (de Mello et al., 2022).

En Perú, la cadena productiva de caña de azúcar constituye una actividad económica relevante, Cajamarca es una de las regiones donde se desarrolla la rentabilidad de la cadena de valor (Monzón, 2024) para la generación de productos como la panela (Rojas, 2019); pero, el sector panelero peruano enfrenta limitaciones relacionados con la falta de control de calidad y la escasa investigación aplicada que permita mejorar la eficiencia ambiental y económica, así como la competitividad del producto (Zegarra, 2025). En el ámbito del distrito de San Luis de Lucma, perteneciente a la provincia de Cutervo de la región Cajamarca, se ha observado que la producción de panela granulada es una actividad económica clave para las comunidades locales, no obstante, la planta de procesamiento de la zona enfrenta problemas específicos que afectan la calidad (parámetros de color y sólidos insolubles) y rendimiento del producto; como es la falta de estandarización en la etapa de clarificación del jugo de caña.

La etapa de clarificación del jugo de caña en muchas plantas, incluida la procesadora de panela granulada en tal distrito, se realiza de manera empírica, esta práctica no considera el impacto de variables clave como el tipo de floculante y la temperatura de clarificación en la calidad final del producto (Marasinghege, 2023). La temperatura, en particular, es un factor fundamental ya que afecta directamente la viscosidad del jugo, la cinética de las reacciones y la eficiencia de la floculación; pues, una temperatura inadecuada puede impedir la formación de copos robustos, dejando impurezas en el jugo (Salehi, 2020). Por ende, la ausencia de un proceso de clarificación optimizado tiene varias consecuencias negativas como la obtención de un producto con variaciones en su calidad y rendimiento, lo que reduce su aceptación entre los consumidores y limita su acceso a mercados más exigentes; además, la falta de eficiencia en el

proceso aumenta el consumo de insumos y energía, elevando los costos de obtención y reduciendo la rentabilidad de los productores locales (Jaramillo & Sánchez, 2022 ; Jiménez & Jara, 2024). Finalmente, la incapacidad para eliminar eficazmente las impurezas o sólidos insolubles puede comprometer la inocuidad del producto (Palma & Rivera, 2022), lo que presenta un riesgo para la salud de los consumidores y perjudica la percepción del producto (Meijer et al., 2021).

En este contexto, fue urgente realizar una investigación que evalúe el efecto del tipo de floculante y la temperatura durante la clarificación del jugo de caña, con el fin de optimizar el proceso de producción de panela granulada, donde este estudio permitió conocer cómo mejora la calidad (Parámetros de color y sólidos insolubles) del producto y su efecto en el rendimiento, lo que beneficiaría tanto a los productores locales de panela granulada como a los consumidores. Además, contribuir al fortalecimiento de la actividad agroindustrial en la región, promoviendo su sostenibilidad y competitividad en el mercado.

1.2. Justificación

Esta investigación se justifica en sus 4 dimensiones: teórica, práctica, económica y ambiental.

En el ámbito teórico, este estudio busca llenar un vacío de conocimiento científico aplicado al proceso de clarificación del jugo de caña para panela granulada, el cual a menudo se realiza de manera empírica. La investigación se propone sistematizar y cuantificar el efecto sinérgico de dos variables críticas, el tipo de floculante y la temperatura, en parámetros de calidad como el color, la turbidez, el contenido de cenizas y el rendimiento del producto final. Al fundamentar científicamente esta interacción, el trabajo enriquece el marco teórico de la agroindustria panelera y proporciona un modelo replicable para la optimización de procesos.

En su vertiente práctica, la investigación responde a una necesidad concreta de la planta procesadora de la marca Grodina, ubicada en San Luis de Lucma, Cutervo, Cajamarca, una

región de gran importancia agroindustrial cañera. El estudio contribuirá directamente a optimizar su proceso de clarificación mediante la determinación de la combinación óptima de floculante y temperatura, obteniendo beneficios como una mayor eficiencia en la remoción de impurezas, la obtención de un producto con mejor color y textura, la estandarización de la calidad y la maximización del rendimiento productivo. El resultado final será una panela granulada competitiva que satisface la creciente demanda de consumidores que buscan productos naturales con valor agregado y calidad garantizada.

Desde el aspecto económico, el estudio probablemente tiene un impacto directo en la rentabilidad, donde una clarificación más eficiente podría reducir el desperdicio de materia prima y disminuir el consumo de energía e insumos. Al obtener un producto de mayor calidad y con mejores características organolépticas como un color más claro, menor turbidez, y físico-químicas, menor contenido de cenizas, se puede acceder a mercados más exigentes y rentables, generando mayores ingresos para los productores. Este fortalecimiento de la cadena de valor de la panela beneficia directamente a los agricultores y trabajadores de la planta, creando mejores oportunidades económicas y promoviendo el desarrollo local.

Por último, la justificación ambiental, se justifica porque la investigación promueve la evaluación y el uso de floculantes naturales, como las celulosas o mucílagos de plantas, en lugar de compuestos sintéticos, reduciendo así la dependencia de productos químicos agresivos. Una clarificación eficaz minimiza la generación de residuos y lodos, contribuyendo a una producción más limpia. Al incrementar la eficiencia del proceso, se optimiza el uso de recursos como el agua y la energía, lo que disminuye la huella ambiental de la producción. Esto no solo se alinea con las tendencias globales de consumo responsable y cuidado del medio ambiente, sino que también agrega un valor ecológico distintivo al producto final, fortaleciendo su posicionamiento en el mercado.

1.3. Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en la calidad y rendimiento de la panela granulada producida por la marca Grodina?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en parámetros de color (L^* , a^* , b^*), índice de blancura, sólidos insolubles y rendimiento de la panela granulada de la marca Grodina.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto del tipo de floculante (2%) y la temperatura de clarificación (60,70 y 80 °C) sobre los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) de la panela granulada.
- Analizar el efecto del tipo de floculante (2%) y la temperatura de clarificación (60,70 y 80 °C) sobre los sólidos insolubles de la panela granulada.
- Analizar el efecto del tipo de floculante (2%) y la temperatura de clarificación (60,70 y 80 °C) sobre el rendimiento de la panela granulada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En primer lugar, Alarcón et al. (2021) caracterizaron exhaustivamente las propiedades químicas y colorimétricas del azúcar de caña no centrifugado (NCS), conocido como panela, obtenido mediante diversas tecnologías de procesamiento. El objetivo principal fue comparar el perfil de azúcares, la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides, así como las características de color en muestras de panela producidas mediante métodos tradicionales de moldeo, granulación y un innovador proceso de pulverización por secado sin aditivos. La metodología empleada incluyó la recolección de muestras de panela en bloque (NCS-B), granulada (NCS-G) y siropes a 50 °Brix (S50) y 70 °Brix (S70), seguido del secado por aspersión de los siropes para obtener panela en polvo (NCS-P50 y NCS-P70); además se determinó el contenido de humedad, el perfil de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) mediante HPLC, el contenido fenólico total mediante el método de Folin-Ciocalteu y el perfil de ácidos fenólicos mediante técnicas espectrofotométricas. Los resultados revelaron que la sacarosa es el azúcar predominante (91,9 – 95,5 %), seguida de glucosa (2,9 – 4,6 %) y fructosa (1,6 – 3,7 %). El contenido fenólico total osciló entre 0,4 y 0,6 %, mientras que el contenido de flavonoides se situó entre 0,2 y 0,4 %. Se identificaron seis ácidos fenólicos: ácido protocatecuico (0,36 – 0,94 µg/100 g), ácido vainílico (0,70 – 1,45 µg/100 g), ácido clorogénico (2,08 – 3,2 µg/100 g), ácido sirínico (1,08 – 2,80 µg/100 g), ácido p-cumárico (0,69 – 1,35 µg/100 g) y ácido ferúlico (0,50 – 0,95 µg/100 g). En conclusión, el tratamiento térmico a altas temperaturas durante la granulación se asoció con colores más oscuros y cambios en el contenido de fenoles y flavonoides. El secado por aspersión generó productos más claros, aunque con ligeras reducciones en el contenido de fenoles y flavonoides.

Moreno et al. (2022) investigaron clarificantes sostenibles para la producción de azúcar no centrifugado (NCS) en Colombia, buscando alternativas a la acrilamida, un clarificante

sintético nocivo. Se evaluaron mucílago de cactus *Opuntia ficus-indica* y *Steneoceros griseus*, así como celulosa extraída de bagazo de caña de azúcar y residuos de ajo, funcionalizada mediante tratamientos alcalinos y de blanqueo. En la preparación de NCS, se ajustó el pH del jugo de caña a 6,5 y se añadieron clarificantes en dosis de 1 a 3 mL a temperaturas entre 60 y 80 °C. Los resultados mostraron que los clarificantes modificados, compuestos por carbohidratos, saponinas, fenoles, hierro, calcio y fosfato, alcanzaron hasta un 93 % de eficiencia en la precipitación de sólidos solubles, similar al cadillo seco (93 %) y superior al balso (90,4 %) y guácimo (89,7 %); además la espectroscopía FTIR confirmó cambios en la estructura lignocelulósica durante la funcionalización de la celulosa. En conclusión, los derivados celulósicos y los mucílago vegetales demostraron ser sustitutos viables de la acrilamida en la producción de NCS, ofreciendo una alternativa más segura y sostenible para la industria azucarera colombiana.

Velásquez et al. (2021) diseñaron e implementaron un sistema de recuperación de calor (HRS) en un módulo de producción de azúcar de caña no centrífuga, con el fin de aumentar la capacidad productiva y mejorar la eficiencia térmica global. Para ello, se desarrolló un diseño conceptual que aprovecha el calor residual de los gases de combustión mediante un banco de tubos y la incorporación de dos serpentinas en los intercambiadores abiertos de clarificación y evaporación. Se elaboró un modelo matemático basado en supuestos de estado estacionario, comportamiento ideal de los gases y transferencia de calor por conducción y convección, lo que permitió predecir el rendimiento térmico del sistema. La validación experimental mostró una buena correlación entre el modelo y los datos reales, con un coeficiente de correlación de $R^2 = 0,7378$ y un error relativo medio menor o igual a 8,13 %. Los resultados evidenciaron un incremento del 70 % en la capacidad de producción, pasando de 46 kg/h a 78 kg/h, y una mejora del 39 % en la eficiencia térmica, elevándola de 32,51 % a 47,19 %. Además, se redujeron las emisiones de CO₂ y CO en un 28,23 % y 29,14 %, respectivamente, recuperándose en

promedio 120,47 kW de calor a una temperatura de salida de 264,93 °C. En conclusión, la implementación del HRS optimiza el uso de la energía, disminuye el consumo de combustible y mejora tanto la viabilidad económica como la sostenibilidad ambiental del proceso.

Por otro lado, Meerod et al. (2020) investigaron cómo el proceso de encalado, utilizando óxido de calcio (CaO), influye en las características fisicoquímicas y en los componentes fitoquímicos del azúcar no centrifugado (NCS) derivado de diferentes variedades de caña de azúcar. La metodología implicó el uso de cuatro variedades populares de caña de azúcar: LK 92-11, U-thong 12, Khon Kaen 3 y Suphanburi 50. El jugo de caña crudo se clarificó ajustando el pH a niveles específicos (6,7 y 8,5) con una solución de óxido de calcio, seguido de centrifugación y filtración para eliminar impurezas. El jugo clarificado se concentró luego mediante calentamiento en un proceso tradicional hasta alcanzar 84 °Brix, solidificándose en un producto NCS. Los resultados revelaron que la clarificación del jugo a un pH de 8,5 resultó en la mayor eliminación de sólidos insolubles (47,52 g) y el valor de sedimento más bajo (0,68 %) en el azúcar no centrifugado. La variedad Suphanburi 50 produjo NCS con el mayor rendimiento de azúcar (17,75 %) pero el valor de color más bajo (2100 UI). La variedad LK 92 - 11 produjo NCS con el valor de color más alto (6533,3 UI), contenido fenólico total (1124,09 mg GAE/100 g), contenido total de flavonoides (143,82 mg RUE/100 g), contenido de policosanol (4,13 mg/100 g) y contenido de tricina (50,82 µg/100 g). En conclusión, el proceso de encalado y la diversidad de cultivares de caña afectan significativamente la calidad y la composición fitoquímica de los productos NCS.

Velásquez (2023) determinó el efecto de concentraciones específicas de mucílago de balso (*Ochroma pyramidale*) y nopal (*Opuntia ficus*) en parámetros fisicoquímicos clave, junto con el desarrollo de un sistema de filtración eficiente para estandarizar el proceso. La metodología empleó un diseño experimental factorial 2x3 con bloques aleatorizados, analizando tres concentraciones (30 g, 50 g, 70 g) de ambos mucílagos en 500 ml de jugo. Se

midieron cuatro variables críticas: pH, grados Brix (sólidos solubles), acidez titulable y turbidez mediante nefelometría (NTU), con controles estandarizados de temperatura y tiempo de procesamiento. Los resultados demostraron que el tratamiento con 50 g de mucílago de balsa obtuvo el mejor desempeño integral: pH 4,78 ($\pm 0,02$), 12,15 °Brix ($\pm 0,3$), acidez 0,21 % ($\pm 0,01$) y turbidez de 482,83 NTU ($\pm 15,7$); este tratamiento redujo la turbidez en 38 % comparado con el testigo, superando al nopal en eficacia clarificante. Las concentraciones menores (30 g) mostraron pH más ácido (4,32 – 4,45) y mayor turbidez (620 - 650 NTU), mientras que las mayores (70 g) incrementaron la viscosidad sin beneficios adicionales. El sistema de filtración desarrollado permitió procesar 15 L/hora con retención de partículas $>50 \mu\text{m}$, mejorando la transparencia inicial del jugo en 27 % antes de la clarificación química. La investigación concluye que el uso de 50 g de mucílago de balsa por 500 ml de jugo optimiza la clarificación, reduciendo costos operativos en 18 % respecto a métodos tradicionales. Estos hallazgos proporcionan un protocolo técnico reproducible para pequeñas productoras, alineado con estándares de calidad e inocuidad alimentaria (Codex Alimentarius), fortaleciendo la cadena de valor de la panela en la región.

Mientras que, Vargas (2021) en su estudio, evaluó el impacto de tres tecnologías de concentración (Calandria, concentración al vacío y Refractancia Window) en las propiedades de la panela, para identificar la técnica que optimiza la calidad del producto en términos de seguridad alimentaria, funcionalidad y características físicas. Para ello, se analizaron muestras de jugo de caña pretratado, jugo clarificado y miel, sometiéndolas a rigurosos ensayos de laboratorio. Se emplearon técnicas de HPLC para cuantificar el contenido de acrilamida y determinar el perfil de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa), mientras que la capacidad antioxidante se evaluó mediante los métodos FRAP y DPPH. Además, se midieron parámetros físicos como color (CIELAB), contenido de humedad, cenizas y temperatura de transición vítrea mediante DSC. Los resultados mostraron que la muestra obtenida por concentración al

vacío presentó un contenido de acrilamida de 1.75 mg/kg, menor que el de Calandria (2,05 mg/kg) y Refractancia Window (2,33 mg/kg). La concentración de sacarosa osciló entre 59,61 y 83,83 g/100 g, mientras que la capacidad antioxidante varió de 679,53 a 1213,32 mg GAE/g (FRAP) y de 91,63 a 135,80 mg GAE/g (DPPH). Además, el contenido de cenizas se situó entre 0,945 % y 1,015 %, siendo la muestra al vacío la que mostró el valor más alto. En conclusión, la tecnología de concentración al vacío se destacó por preservar de manera óptima las propiedades funcionales y sensoriales de la panela, minimizando la formación de compuestos tóxicos y demostrando un alto potencial para su competitividad en el mercado.

Leão et al. (2023) desarrollaron floculantes aniónicos de base celulósica, obtenidos a partir del bagazo de caña de azúcar, para sustituir los floculantes sintéticos de poliacrilamida empleados en la purificación del jugo de caña, contribuyendo a una economía circular. Para lograrlo, se extrajo la celulosa del bagazo mediante dos métodos: uno eco-amigable usando una mezcla eutéctica de cloruro de colina y ácido levulínico (relación molar 1:2, a 160 °C durante 4 horas) y otro mediante tratamiento alcalino con solución de NaOH. La celulosa aislada fue posteriormente modificada en dos etapas; primero, se oxidó utilizando periodato de sodio para generar dialdehídos en la cadena y, a continuación, se anionizó mediante reacción con metabisulfito de sodio. Con este proceso se obtuvieron polielectrolitos con distintos grados de sustitución (DSADAC de 0,79; 1,85 y 0,62) y potenciales zeta entre -22,4 y -36,8 mV, lo que evidencia la incorporación exitosa de grupos aniónicos. La aplicación de estos floculantes en el tratamiento del jugo de caña, evaluada a concentraciones de 10, 50, 100, 250 y 500 mg/kg, mostró mejoras significativas: se alcanzaron eficiencias de remoción de turbidez entre 98,9 % y 99,8 %, una reducción en sólidos solubles de 1 a 3 puntos porcentuales y un incremento en el contenido aparente de sacarosa, alcanzando hasta 22,8 wt %, con niveles de azúcares reductores reducidos a 0,27 wt % en la dosis óptima de 100 mg/kg. En conclusión, estos

floculantes bio-basados demostraron un rendimiento igual o superior al del polímero sintético, siendo una alternativa ecológica y prometedora para la industria azucarera.

Finalmente, Fernández et al. (2021) evaluaron el efecto del mucílago de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la etapa de clarificación del jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), cultivada en el cantón Pangua (Ecuador). El objetivo fue determinar la combinación óptima de viscosidad (20, 25 y 30 cp) y concentración (0,75 %, 1,5 % y 2,25 %) del mucílago para mejorar la clarificación, midiendo el color espectral y porcentaje de saturación. La metodología incluyó la extracción del mucílago de cáscaras de cacao cosechadas en Moraspungo, utilizando alcohol de caña (60 °GL) y metabisulfito para su conservación. Se aplicaron 9 tratamientos experimentales (combinando viscosidades y concentraciones) a muestras de 10 litros de jugo de caña, analizando los resultados con pruebas de Shapiro-Wilk, Friedman y Holm. Los resultados expusieron que la combinación de 25 cp de viscosidad con 2,25 % de concentración obtuvo el mejor desempeño: saturación del 46,91 % (DE $\pm$ 2,75), color espectral en 576 nm, mediana del 46,36 % y varianza de 7,6. Este tratamiento superó significativamente a otras combinaciones como 20 cp con 0,75 % (saturación $\sim$ 34 %) y 30 cp con 1,5 % (saturación $\sim$ 42 %). Como conclusión, el mucílago de cacao demostró ser un clarificante natural efectivo, particularmente en dosis altas (2,25 %) con viscosidad media (25 cp). Estos hallazgos ofrecen una alternativa sostenible para reutilizar desechos agrícolas en la industria panelera, mejorando la calidad del jugo mediante parámetros medibles como la saturación cromática y reduciendo la dependencia de aditivos químicos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Caña azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo tropical y subtropical perteneciente a la familia *Poaceae*, ampliamente cultivado por su mayor contenido de sacarosa (Dinesh et al., 2022; Ram et al., 2022). Su importancia económica radica en su uso como materia prima dentro la producción de azúcar, bioetanol, energía renovable (combustión de bagazo) y otros subproductos industriales (Ungureanu et al., 2022). Asimismo, es originaria del sudeste asiático, del cual se expandió globalmente durante la colonización europea (De Matos et al., 2020); hoy, los principales productores son Brasil (Cursi et al., 2022), Tailandia, India y Colombia (Ram et al., 2022). Su cultivo requiere climas cálidos (20 - 30 °C), abundante agua (1100 - 1500 mm anuales) y suelos fértiles con buen drenaje (Singh et al., 2024).

Desde el aspecto morfológico, la caña de azúcar presenta una estructura compuesta por tallos fibrosos divididos en nudos y entrenudos, donde se acumula la mayor parte de la sacarosa (García et al., 2023). Las hojas, largas y angostas, cumplen un papel crucial en el proceso fotosintético, mientras que su extenso sistema radicular le confiere una notable capacidad de absorción de nutrientes y resistencia a condiciones adversas (Verma et al., 2020). Asimismo, existen numerosas variedades comerciales, desarrolladas mediante mejoramiento genético para optimizar el rendimiento, la resistencia a plagas y enfermedades, y la adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas (Ali et al., 2024).

2.2.2. Panela granulada

La panela granulada es un alimento derivado de la caña de azúcar, identificado por su bajo procesamiento, lo que le permite mantener una serie de nutrientes presentes en el jugo de caña, tales como minerales, vitaminas y antioxidantes (Alarcón et al., 2021; Eggleston et al., 2021). Este producto es conocido por su color pardo o marrón y su sabor distintivo que varía según la calidad del jugo de caña utilizado y los procesos aplicados durante su fabricación

(Vargas et al., 2022). A diferencia de otros tipos de azúcar más refinados, la panela granulada no pasa por un proceso de blanqueo ni refinado, lo que hace que conserve muchas de las propiedades naturales del jugo de caña (Jara, 2022).

2.2.3. Etapas del Proceso de elaboración de panela granulada

Su producción es un proceso artesanal e industrial que combina técnicas tradicionales con avances tecnológicos, con el objetivo de obtener un producto de alta calidad que cumpla con los estándares de los consumidores (Venkatesh et al., 2023).

2.2.3.1. Etapas del proceso. El proceso consta de varias etapas clave, cada una de las cuales influye en la calidad final del producto (Velásquez, 2023):

- a) **Extracción del jugo de caña:** La caña de azúcar pasa por un proceso de molienda para extraer su jugo, el cual contiene los azúcares y nutrientes que darán origen a la panela (Vera et al., 2019).
- b) **Clarificación:** El jugo obtenido es sometido a un proceso de depuración con el fin reducir impurezas, como tierra, bagazo y otros residuos (Solís et al., 2019).
- c) **Evaporación y concentración:** Posteriormente, el jugo clarificado se calienta en grandes recipientes, permitiendo la eliminación progresiva del agua y el aumento de los sólidos solubles, formando una melaza espesa (Velásquez et al., 2019).
- d) **Cristalización y granulación:** La melaza se somete a un proceso de enfriamiento y agitación controlada, lo que permite la formación de pequeños cristales que dan lugar a la textura granulada característica de la panela (Rao, 2020).
- e) **Secado y envasado:** Finalmente, la panela granulada se seca para reducir su humedad y se envasa, lista para su distribución y consumo (Montalvan, 2023).

2.2.4. Importancia de la clarificación

Esta etapa es una de las más importantes en la producción de panela granulada, ya que determina no solo la apariencia del producto, sino también su sabor, textura y vida útil (Chávez

& Tipan, 2023). Durante este proceso, se eliminan las impurezas sólidas y los compuestos no deseados que pudiesen afectar negativamente la calidad de la panela (Velásquez, 2023). Es así que, un jugo bien clarificado resulta en un producto final más claro, con un sabor más puro y una textura uniforme (Cahyadi et al., 2024). Además, una clarificación eficiente contribuye a un mejor rendimiento del proceso, ya que reduce las pérdidas de materia prima, la degradación de sacarosa y facilita las etapas posteriores de evaporación y cristalización (Marasinghege et al., 2024).

Sin embargo, la clarificación no es un proceso sencillo, dado que se requiere el uso de agentes clarificantes, como floculantes, y un control preciso de la temperatura (Velásquez, 2023) para garantizar que las impurezas se sedimenten adecuadamente sin afectar los nutrientes y compuestos deseables del jugo (Murjani et al., 2023). Por ello, optimizar esta etapa es fundamental para producir una panela granulada de calidad, capaz de cumplir con las exigencias del consumidor (Alvarado et al., 2024).

2.2.5. Uso de Floculantes en la etapa de clarificación del jugo de caña

En la clarificación, los floculantes desempeñan un papel fundamental, ya que ayudan a eliminar impurezas (Maćczak et al., 2020); pues, estos son sustancias que facilitan la formación de agregados o flóculos a partir de partículas suspendidas en un líquido (Iwuozor, 2019). En el caso del jugo de caña, estas partículas incluyen residuos vegetales, proteínas, ceras y otras sustancias que afectan la transparencia y el color del producto final (S. P. Singh et al., 2021). Al agregar un floculante adecuado, estas impurezas se agrupan y pueden ser eliminadas más fácilmente mediante sedimentación (Wu et al., 2024) o filtración (Iwuozor, 2019).

2.2.5.1. Tipos de floculantes. Existen diversos tipos de floculantes, los cuales se pueden clasificar en floculantes minerales, inorgánicos, orgánicos, naturales y sintéticos:

- ***Floculantes minerales:*** Corresponden a compuestos de origen minerales como el hidróxido de calcio (cal hidratada); además, estos actúan reaccionando con la materia orgánica y con la presencia de microorganismos (Pochteca Perú, 2022).
- ***Floculantes inorgánicos:*** Están conformados por sales metálicas como el sulfato de aluminio y cloruro férrico, que neutralizan las cargas de las partículas y facilitan sedimentación (Zeomedia, 2023).
- ***Floculantes orgánicos:*** Son polímeros naturales como el almidón, celulosa y quitosano el alginato y la amilopectina, siendo los principales debido a su amplia disponibilidad, bajo precio, no toxicidad y biodegradabilidad (Vajihinejad et al., 2019).
- ***Floculantes naturales:*** Son compuestos de origen vegetal que contienen taninos y ligninas que provienen de extractos de plantas (mucílagos), que se adhieren a partículas suspendidas favoreciendo su sedimentación, además de ser no tóxicos y renovables, lo que conlleva en una opción sostenible (Zeomedia, 2023).
- ***Floculantes sintéticos:*** Son polímeros artificiales obtenidos principalmente por polimerización en solución o emulsión por radicales libres, como la poliacrilamida, ampliamente utilizados en diversas industrias (Vajihinejad et al., 2019). Estos ofrecen una alta eficiencia en la eliminación de impurezas debido a su gran tamaño molecular, pero su uso en la industria alimentaria debe cumplir estrictas regulaciones debido a posibles residuos químicos (Zeomedia, 2023).

2.2.6. Efecto de los floculantes en la calidad del producto final

El uso adecuado del floculante no solo mejora la apariencia del jugo de caña, sino que también influye en la textura y color de la panela granulada (Martínez et al., 2019); debido a que puede reducir la presencia de residuos y evitar sabores o colores no deseados en el producto final (Kaya & Hung, 2021). En la actualidad, la tendencia hacia productos más naturales ha

impulsado la investigación sobre floculantes biodegradables y ecológicos, lo que muestra una oportunidad para mejorar la sostenibilidad de la industria panelera sin comprometer la calidad del producto final (Moreno et al., 2022).

2.2.7. Temperatura de clarificación

Para que la clarificación sea eficiente, la temperatura juega un papel clave, pues, al mantener un control adecuado de la temperatura no solo influye en la eliminación de residuos no deseados (Avalos & Ponte, 2019), sino también en la textura, color y sabor de la panela final (Velásquez, 2023). A lo largo del tiempo, se han identificado distintas temperaturas óptimas para lograr un jugo más limpio y una panela de mejor calidad (Gaibor, 2024); sin embargo, encontrar el equilibrio óptimo entre calor y clarificación sigue siendo un desafío, ya que temperaturas demasiado altas o bajas pueden comprometer la eficiencia del proceso (Alvear, 2024).

2.2.7.1. Influencia de la temperatura en la eficiencia del proceso de clarificación. La temperatura es un factor determinante en la clarificación del jugo de caña porque afecta directamente la solubilidad de los compuestos presentes, la coagulación de proteínas y la formación de flóculos (Mading et al., 2019). En términos generales, una temperatura óptima facilita la eliminación de impurezas y mejora la sedimentación de partículas, lo que da como resultado un jugo más limpio (Alvarado et al., 2024).

- ***A bajas temperaturas (< 60 °C):*** El proceso de floculación es más lento y menos eficiente, ya que muchas impurezas no logran agruparse ni sedimentarse correctamente.
- ***A temperaturas moderadas (60 °C – 80 °C):*** Se ha observado que esta es la franja ideal para favorecer la coagulación de proteínas y la formación de flóculos estables. A esta temperatura, la mayoría de las impurezas pueden ser eliminadas sin afectar negativamente las propiedades del jugo.

- ***A temperaturas altas (> 85°C):*** Aunque la alta temperatura acelera la clarificación, también puede degradar algunos compuestos beneficiosos del jugo de caña y favorecer reacciones químicas no deseadas, como la caramelización, lo que podría afectar el color y sabor de la panela final.

2.2.8. *Parámetros de calidad en la panela granulada*

La calidad de la panela granulada está en un proceso de aceptación en el mercado y competitividad frente a otros endulzantes naturales (Jiménez et al., 2020). Para garantizar un producto uniforme y atractivo para el consumidor, se evalúan diversos parámetros de calidad, los cuales incluyen características de color, propiedades físicas y químicas (Asikin et al., 2023), y el rendimiento en la producción (Volverás et al., 2020). Estos aspectos no solo determinan la apariencia y textura de la panela, sino también su sabor, pureza y vida útil (Zidan & Azlan, 2022).

2.2.8.1. Parámetros de color (L^* , a^* , b^*) de la panela granulada. Estos valores son fundamentales en la evaluación visual de la panela granulada (Cadenillas & Villanueva, 2021); los mismos que se miden utilizando el sistema de color CIE Lab, el cual representa un modelo tridimensional que describe el color de manera objetiva y cuantificable (Giusti et al., 2024).

- ***L (Luminosidad)*:*** Una mayor luminosidad indica una panela más clara y limpia, mientras que una menor luminosidad refleja la presencia de mayor contenido de impurezas o procesos de caramelización más intensos.
- ***a (Eje rojo-verde) *:*** En el caso de la panela, se espera que el parámetro a sea positivo, indicando tonos rojos, que se asocian con una panela bien procesada. Un valor muy negativo podría sugerir una coloración verde no deseada, indicando problemas en el proceso de clarificación o en el origen de la caña.
- ***b (Eje amarillo-azul) *:*** Para la panela granulada, un valor b positivo es típico, indicando tonos amarillos o dorados, que son características deseables en el

producto final. Si el valor de b^* es bajo o negativo, podría reflejar un problema en el proceso de cocción o clarificación, ya que se asocia con tonalidades más apagadas o incluso azuladas.

El color de la está influenciado por diversos factores, en este caso, la temperatura de clarificación, la cantidad de impurezas en el jugo y el proceso de secado (Velásquez et al., 2019). Una clarificación eficiente ayuda a obtener tonalidades doradas y brillantes, mientras que procesos deficientes pueden oscurecer el producto debido a la caramelización o la presencia de residuos no eliminados correctamente (Vargas et al., 2021).

2.2.8.2. Sólidos insolubles de la panela granulada. El valor de sólidos insolubles (SI) indica la dulzura del azúcar sin refinar que varía de 9.60 a 25 °Brix (Asikin et al., 2017), del cual estos componentes, principalmente compuestos minerales y partículas coloidales, influyen en propiedades críticas como la transparencia, textura y estabilidad del producto (Guerra & Mujica, 2010). Estudios recientes demuestran que la selección de flocculantes naturales como el mucílago de *Heliocarpus spp.* o el gel de *Aloe vera* y el control de parámetros térmicos durante la clarificación reducen hasta un 55 % la turbidez del jugo, optimizando la formación de SI durante la solidificación (Tucanes, 2019).

La temperatura constituye otro factor determinante en la formación y eliminación de sólidos insolubles durante el procesamiento de la panela granulada, influenciando múltiples fenómenos fisicoquímicos; pues, durante la etapa de clarificación, la temperatura afecta directamente la eficiencia de los flocculantes; pues, estudios demuestran que existe una relación compleja entre la temperatura aplicada y la capacidad de los agentes clarificantes para aglomerar partículas suspendidas (Bustamante, 2017). Asimismo, en sistemas presurizados, que modifican las temperaturas de proceso, pueden deteriorar la calidad de la panela, incrementando el coeficiente glucosídico hasta en un 200 % (Forero et al., 2014).

2.2.8.3. Rendimiento en la producción de panela granulada. El rendimiento en la producción de panela granulada es un factor crucial para la eficiencia del proceso y la rentabilidad de los productores (Zegarra, 2025); del cual depende de varios factores, como la calidad de la materia prima, el método de clarificación y las condiciones de evaporación (Chuchuca et al., 2019). Un rendimiento óptimo implica maximizar la extracción de sólidos solubles del jugo y minimizar las pérdidas durante el proceso (Alvear, 2024); sin embargo, una clarificación ineficiente o temperaturas inadecuadas pueden reducir la cantidad de panela obtenida y afectar su calidad (Nandhu et al., 2023).

2.3. Definiciones Conceptuales

2.3.1. Floculante

El floculante es una sustancia química utilizada en procesos de clarificación de líquidos, como el jugo de caña, que tiene la capacidad de aglutinar las partículas suspendidas en el líquido (Teixeira et al., 2023). En el contexto de la producción de panela, se emplea para facilitar la eliminación de impurezas y sólidos no deseados, mejorando la claridad del jugo (Velásquez, 2023). El floculante actúa en el jugo de caña formando enlaces entre las partículas suspendidas, lo que da lugar a la formación de flóculos (Avalos & Ponte, 2019); estos flóculos son más grandes y pesados que las partículas originales, lo que facilita su separación mediante técnicas de sedimentación o filtración (Trabanino, 2021).

- Sedimentación: Consiste en dejar que los flóculos caigan al fondo debido a su peso, después, se puede decantar el líquido clarificado (Bach & Schoenbrunn, 2022).
- Filtración: En este proceso, los flóculos se atrapan en un medio filtrante de tela o cartucho (Davis et al., 2024).
- La eficiencia de un floculante depende de varios factores que incluyen:
- Tipo de floculante: El tipo de floculante utilizado tiene una influencia directa en la velocidad y eficiencia con la que se forman los flóculos (Iwuozor, 2019).

- **Concentración de floculante:** Una cantidad insuficiente de floculante no logrará agrupar todas las partículas suspendidas (Bharti, 2019), mientras que un exceso puede provocar la formación de flóculos demasiado grandes que dificulten la separación (Zhao et al., 2021).
- **Temperatura del líquido:** La temperatura puede afectar la viscosidad del jugo y la velocidad de aglomeración de las partículas (Iwuozor et al., 2023).
- **pH:** El pH del jugo influye en la carga de las partículas suspendidas y en la capacidad del floculante para unirse a ellas (Meng et al., 2022).

2.3.2. *Extracción de floculantes*

2.3.2.1. Extracto acuoso de ajo. A continuación, se describirá el procedimiento para la extracción del floculante según Moreno et al. (2019):

- ***Trituración:*** Los dientes de ajo serán triturados en una licuadora mediante 5 min con el fin de extraer la pulpa.
- ***Tratamiento alcalino:*** Los residuos triturados se someterán a un procedimiento con hidróxido de potasio (KOH) - 4 % mediante agitación magnética.
- ***Blanqueo:*** El residuo se blanqueará con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 5 %, este proceso se repetirá para asegurar la eliminación completa de impurezas.
- ***Hidrólisis ácida:*** Por último, se hidrolizará la celulosa amorfa y se eliminarán los minerales realizados con ácido acético (CH₃COOH) en un baño de vapor durante 1 hora.

2.3.2.2. Mucílago de balso (*Ochroma pyramidale*). Se seguirá el procedimiento para la extracción del floculante descrito por Velásquez (2023):

- ***Selección del balso:*** Se seleccionarán tallos de balso tiernos, de color verde claro y brillante, sin manchas ni signos de daño o enfermedad. Se verificará que las hojas estén bien formadas y que el aroma sea fresco y agradable.

- **Lavado:** Los tallos de balso se enjuagarán con agua, luego, se sumergirán en un recipiente con agua y se frotarán dócilmente para eliminar residuos adicionales. Finalmente, se enjuagarán con agua destilada y se dejarán escurrir o se secarán con papel absorbente.
- **Pelado:** Con un cuchillo previamente esterilizado, se cortarán los bordes del tallo de balso y se hará un corte longitudinal en la parte superior, la piel se separará de la pulpa; retirando toda la piel o fibra que no sea utilizable. El balso pelado se cortará en trozos pequeños para facilitar su trituración.
- **Trituración:** Los trozos de balso se colocarán en un mortero y se triturarán con una maja en movimientos circulares para liberar el mucílago. Se continuará triturando hasta obtener una consistencia homogénea y asegurar que se extraiga la mayor cantidad de mucílago posible.
- **Extracción del mucílago:** Tras moler la pulpa, se envuelve en un paño de lino para formar un sobre. El líquido se extrae presionando el sobre contra un recipiente limpio o con un objeto pesado. Se transfiere el líquido extraído al recipiente y se desecha el paño de lino junto con cualquier residuo sólido.
- **Filtrado:** El líquido extraído se filtrará nuevamente utilizando una tela de lienzo para eliminar cualquier partícula sólida residual; se verterá el líquido a través de la tela de lienzo colocada en un embudo, permitiendo que el líquido filtrado caiga en un recipiente limpio.
- **Almacenamiento:** El mucílago de balso extraído se almacenará en un recipiente limpio y seco, listo para su uso en el proceso de clarificación del jugo de caña.

2.3.2.3. Mucílago de cacao. Se seguirá el procedimiento para la extracción del floculante descrito por Fernández et al. (2021):

- **Preparación de la cáscara de cacao:** La cáscara se picará con un espesor entre 0,3 – 0,6 mm, y se pesará en una balanza.
- **Mezcla de ingredientes:** Se preparará una mezcla que incluirá cáscara de cacao (25 %), agua (73,59 %), aguardiente de caña de azúcar de 60 °GL (1,40 %) y metabisulfito de sodio (0,01 %).
- **Calentamiento y agitación:** El agua se calentará hasta ebullición, y se añadirá el metabisulfito de sodio, agitando la solución. Luego, se agregará la cáscara de cacao picada y el aguardiente. La mezcla se dejará hervir durante 5 minutos con agitación leve.
- **Enfriamiento y extracción:** Triturar los trozos de cáscara de cacao durante 1 minuto a la vez, a intervalos de 5 a 6 minutos, durante aproximadamente 80 minutos, después de que la mezcla se haya enfriado del calor.
- **Filtración:** La solución se tamizará para separar el mucílago de los residuos sólidos.
- **Medición de viscosidad y densidad:** La viscosidad del mucílago se medirá con un viscosímetro de Ostwald, y la densidad se determinará utilizando picnómetros.

2.3.3. *Temperatura de clarificación*

La temperatura a la que se realiza la clarificación tiene una relación directa con la solubilidad de las sustancias presentes en el jugo; cuando se aumenta la temperatura, las reacciones químicas que involucran proteínas y otras impurezas se aceleran, lo que permite que las partículas se agreguen con mayor facilidad (Sarbatly et al., 2023). Sin embargo, si son sometidas a temperaturas demasiado altas pueden generar efectos adversos, como la degradación de los compuestos orgánicos en el jugo y una menor eficiencia en la eliminación de impurezas (Marasinghege, 2023).

En este caso, para obtener una panela granulada de buena calidad, la temperatura de clarificación debe mantenerse dentro de un rango específico (Castro, 2021). Es importante

destacar que cada tipo de caña de azúcar puede requerir ajustes finos en la temperatura, dependiendo de su composición específica; pues, factores como el contenido de azúcares y minerales del jugo también influyen en la temperatura óptima para la clarificación (Serrano et al., 2023).

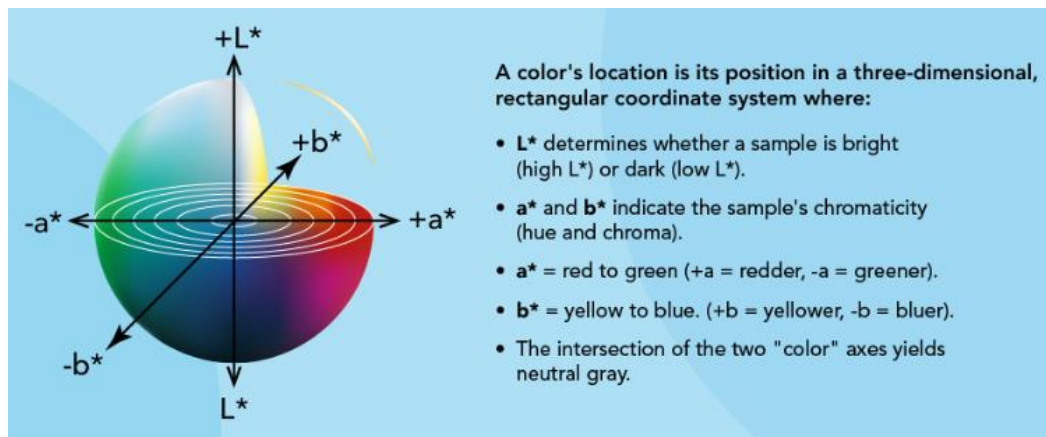
2.3.4. *Parámetros de color (L^* , a^* , b^*)*

Para su evaluación objetiva, se emplea el sistema de coordenadas $L^*a^*b^*$, un método ampliamente utilizado en la industria alimentaria (Luzardo et al., 2021).

- L^* representa la claridad del producto, con valores de 0 (negro) a 100 (blanco) (Ly et al., 2020).
- a^* indica la variación entre tonos rojizos (+ a^*) y verdosos (- a^*) (Phillips, 2024).
- b^* representa la tendencia entre amarillo (+ b^*) y azul (- b^*) (Phillips, 2024).

Figura 1.

*Diagrama del espacio de color $L^*a^*b^*$*



Fuente: Phillips (2024).

2.3.5. *Índice de Blancura.*

Este indicador, es un parámetro utilizado para estimar el grado de claridad de un producto a partir de los valores del sistema de color CIELAB (L^* , a^* y b^*), lo cual permite expresar en un solo valor qué tan cercano es el color de una muestra al blanco ideal. Valores

más altos del índice representan productos más claros, mientras que valores bajos indican tonalidades más oscuras. El índice de blancura se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

donde L^* representa la luminosidad, mientras que a^* y b^* corresponden a las coordenadas cromáticas rojo-verde y amarillo-azul, respectivamente (Velásquez, et al.,2026).

2.3.6. Sólidos Insolubles.

El método de gravimetría, es el procedimiento más utilizada para cuantificar sólidos insolubles en productos, este procedimiento reconocido por normas internacionales (McCleary & McLoughlin, 2022), se fundamenta en el principio de separación física por filtración y cuantificación por diferencia de peso, ofreciendo resultados confiables y reproducibles (Mao, 2024).

El análisis consiste en retener los componentes insolubles presentes en una muestra mediante filtración al vacío usando un medio poroso estandarizado (papel filtro), seguido de secado (estufa) y pesaje de los residuos retenidos no disueltos, la masa obtenida se expresa como porcentaje respecto al peso inicial de la muestra analizada (Ahluwalia, 2023; Mauer, 2024).

Aunque el método gravimétrico tradicional requiere tiempo y equipos básicos como estufa, balanza y sistema de filtración (Andò, 2020), su bajo costo y alta confiabilidad lo mantienen como técnica necesaria en control de calidad (Holberg & Huynh-Ba, 2021). No obstante, presenta limitaciones como el tiempo prolongado de análisis y la dificultad para diferenciar entre insolubles naturales y contaminantes (Andò, 2020), lo que ha motivado el desarrollo de técnicas complementarias como la espectroscopía NIR para análisis rápidos (Bwambok et al., 2020).

2.3.7. Rendimiento

El rendimiento se puede calcular utilizando la fórmula:

$$Rendimiento = \left(\frac{Masa\ de\ panela\ obtenida}{Masa\ de\ jugo\ procesado} \right) \times 100$$

Así mismo, el rendimiento es un indicador clave de la eficiencia del proceso de producción y un factor determinante para la rentabilidad de las plantas productoras de panela (Paspuezán, 2024); pues, un bajo rendimiento puede resultar en mayores costos de producción y menos cantidad de producto final para comercializar (Insuasty, 2023). Por otro lado, un alto rendimiento indica una optimización del proceso, que puede contribuir a una mayor sostenibilidad económica y ambiental, puesto que con cierta cantidad de materia prima se obtendrá mayor cantidad de producto final en comparación a lo convencional (Gómez, 2022).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo, Diseño, Nivel y Enfoque de Investigación

En función a lo mencionado, esta investigación es de tipo aplicada, ya que busca aportar soluciones concretas a desafíos presentes en la obtención de panela granulada de la marca Grodina, mediante la evaluación de tipos de floculantes naturales a diferentes temperaturas de clarificación de jugo de caña de azúcar.

En cuanto el diseño, corresponde a un diseño experimental factorial de 3x3 completamente al azar (DCA), conformado por dos factores: tipo de floculante (extracto acuoso de ajo, mucilago de cacao y mucilago de balso) y temperatura de clarificación (60 °C, 70 °C y 80 °C), cada uno 3 niveles, generando un total de 9 tratamientos ejecutados por triplicado, lo que es equivalente a 27 unidades experimentales. Asimismo, los datos obtenidos serán sometidos un análisis de varianza (ANOVA), pruebas de comparación múltiple de Tukey, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

En cuanto al nivel de investigación, este estudio se clasifica como explicativo, pues, pretende identificar la relación causa-efecto entre las variables analizadas, dado de que se busca explicar de qué manera los diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación impactan en la calidad y rendimiento de la panela granulada.

El enfoque será cuantitativo, ya que se basará en la medición de las variables dependientes, el registro de datos y el análisis estadístico para la contratación de la hipótesis.

3.2. Ubicación, Población, Muestra, Muestreo y Unidad de Análisis

La ejecución del presente estudio se realizó en dos espacios diferentes según la naturaleza de las actividades experimentales. La aplicación de los tratamientos y la obtención de muestras de panela granulada se realizó en la planta de procesamiento de la marca Grodina. Por otro lado, los análisis de las variables dependientes, tales como parámetros de color (L^* ,

a*, b*), sólidos insolubles y rendimiento, se realizaron en el Laboratorio de Análisis y Control de Calidad de Productos Agroindustriales de la Universidad Nacional Autónoma de Chota.

La población del estudio corresponde al jugo de caña utilizado en el proceso para la obtención de panela granulada en la empresa Grodina. Este jugo de caña es la materia prima esencial que, al someterse a procesos de clarificación, determina las características finales de las variables a estudiar.

La muestra del estudio se define como el conjunto de porciones de jugo de caña (L) que se utilizarán para cada tratamiento experimental, en los cuales se aplicarán las variaciones experimentales establecidas, para ello, se obtendrá el jugo de caña de una sola parcela y con el mismo índice de madurez y demás parámetros de materia prima. En este caso se utilizará 6 litros por tratamiento (2 por unidad experimental) o equivalente a 54 litros en las 27 unidades experimentales, más 6 litros para la muestra control.

Se empleó un muestreo no probabilístico, de tipo muestreo por conveniencia, debido a la naturaleza del experimento. Para ello, se determinó el volumen total de jugo de caña representativo del material que se utiliza en la producción habitual. Una vez extraído, el volumen total se dividió en porciones (L) que serán asignadas aleatoriamente a cada uno de los tratamientos experimentales

- Floculantes: Extracto acuoso de ajo, mucílago de cacao y mucílago de balso (*Ochroma pyramidale*).
- Variaciones de Temperatura: 60 °C, 70 °C y 80 °C.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos se aplicará las siguientes técnicas e instrumentos con los procedimientos descritos a continuación.

Tabla 1.
Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos	Recolección de datos
Observación	- Guía de observación de campo - Cuaderno de campo - Ficha de recolección de datos	- Cantidad (ml o L) - temperatura (°C) - L*a*b* (por triplicado) - Porcentaje (%)
Preparación de tipos de flocculantes a utilizar		
Celulosa de ajo Extracción química secuencial	- Molino - Agitador magnético	Cantidad en ml para tratamientos
Mucilago de balso (<i>Ochroma pyramidale</i>) Extracción mecánica por prensado y filtración	- Prensas y filtros	Cantidad en ml para tratamientos
Mucilago de cacao Extracción acuosa asistida por calor	- Prensas y filtros	Cantidad en ml para tratamientos
Parámetros de color Colorimetría	- Calorímetro - Hoja de registro de datos del color	Muestras de panela de cada unidad de análisis
Sólidos insolubles Gravimetría	- Balanza analítica - Estufa de secado - Hoja de registro de % de materia no soluble	Muestras de panela de cada unidad de análisis
Rendimiento Cálculo	- Balanza analítica	Muestras de panela de cada unidad de análisis

3.4. Hipótesis

En concordancia con el problema de investigación y los objetivos planteados, y considerando que el estudio se desarrolla bajo un diseño experimental factorial (tipo de flocculante natural $\times$ temperatura de clarificación). Estas serán contrastadas mediante análisis de varianza (ANOVA) para analizar la presencia de efectos significativos de los factores en estudio y, de ser el caso, se aplicará la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar diferencias específicas entre tratamientos, empleando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

3.4.1. Hipótesis nula (H_0)

El tipo de floculante natural y la temperatura de clarificación no afectan significativamente en los parámetros de calidad (color L^* , a^* , b^*), en la presencia de sólidos insolubles ni en el rendimiento de panela granulada.

3.4.2. Hipótesis alternativa (H_1)

El tipo de floculante natural y la temperatura de clarificación afectan significativamente en los parámetros de calidad (color L^* , a^* , b^*), en la presencia de sólidos insolubles y en el rendimiento del proceso de producción de panela granulada.

3.5. Operacionalización de Variables

En este apartado, se muestra en la Tabla 3 el cuadro de operacionalización de variables, variables independientes (VI): tipo de floculante y temperatura de clarificación, así como variables dependientes (VD): Parámetros de color ($L^*a^*b^*$), sólidos insolubles y rendimiento.

Tabla 2.
Cuadro de Operacionalización de variables

	Tipo de Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Instrumento
Floculante	Independiente	Los floculantes pueden ser orgánicos, del cual es una sustancia de origen natural, como polímeros o mucílagos vegetales, que aglomera las impurezas en suspensiones coloidales para facilitar su separación por sedimentación o filtración.	- Celulosa de ajo - Mucílago de balso - Mucílago de cacao	ml ml	Extracción mecánica por prensado y filtración
Temperatura de clarificación	Independiente	Es la temperatura a la que se somete el jugo de caña durante la clarificación para favorecer la coagulación y sedimentación de partículas en suspensión.	Temperatura de clarificación	T °C	Termómetro
Parámetros de color	Dependiente	Propiedad física que se percibe visualmente del producto como indicador de calidad.	Color	L* a* b*	Colorimetría
Sólidos insolubles	Dependiente	Es la materia que no se disuelve en agua el cual determina la pureza de la panela granulada.	Sólidos insolubles	% de solubilidad	Gravimetría
Rendimiento	Dependiente	Porcentaje de panela obtenido en relación con la materia prima utilizada	Porcentaje	% de rendimiento	Cálculo

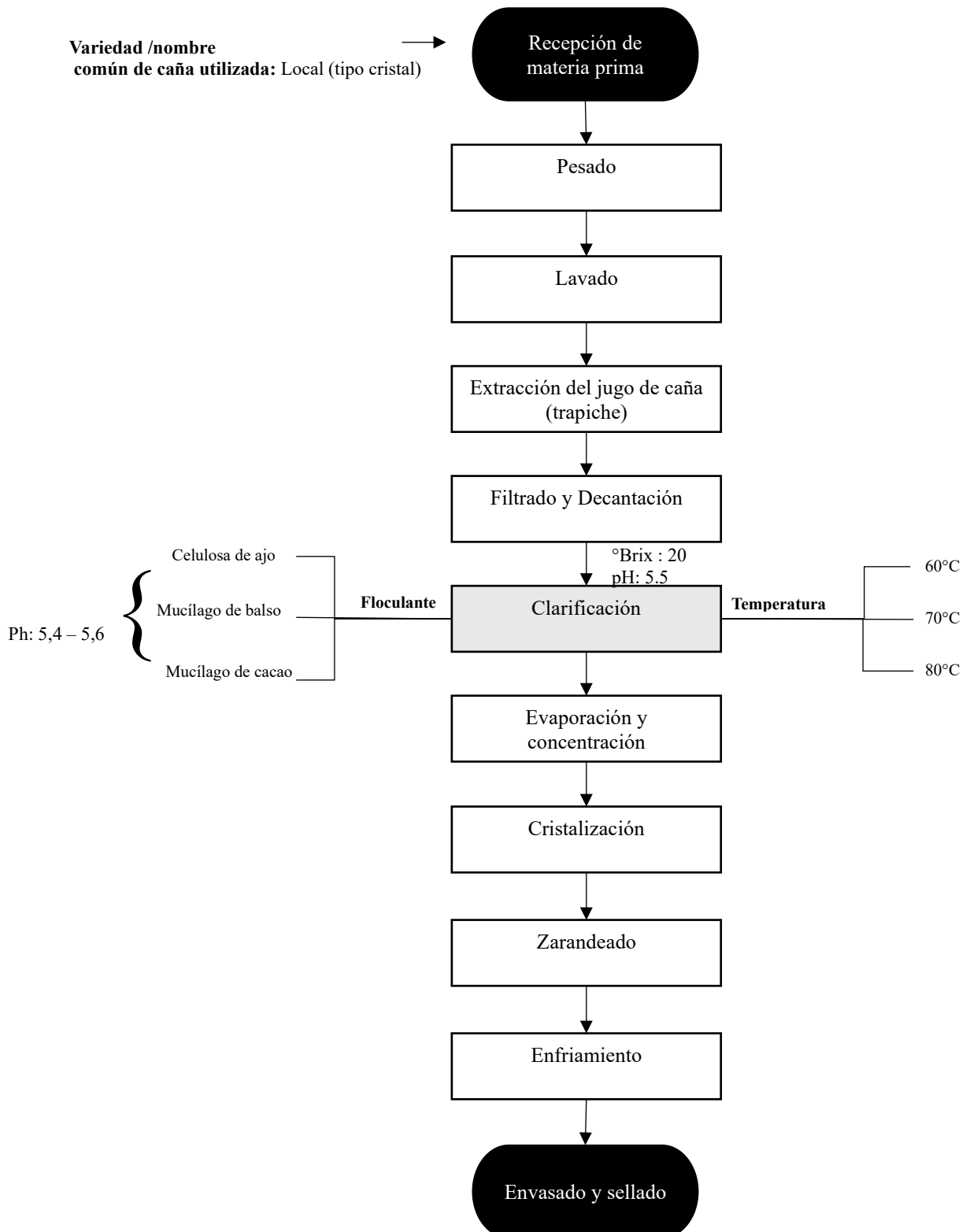
3.6. Procedimientos de Recolección de Datos

En este apartado se detalla el procedimiento para la recolección de datos y la etapa del proceso de elaboración de panela donde se realizó el estudio.

3.6.1. Proceso de obtención de panela granulada.

Para evaluar el efecto de ambos factores sobre las variables a estudiar, fue necesario seguir el proceso de elaboración del producto de la marca Grodina (Figura 2), donde incluye una serie de etapas partiendo de la recepción de la materia prima hasta el envasado del producto final, asegurando así la trazabilidad y calidad del producto.

Figura 2.
Diagrama de flujo de elaboración de panela granulada.



El proceso se inició con la recepción de la M.P., donde se verificó la calidad de la caña de azúcar antes de su procesamiento. Posteriormente, la caña fue pesada y lavada para eliminar impurezas y residuos superficiales. Luego, se procedió con la extracción del jugo de caña mediante un trapiche, separando la fibra del jugo que fue sometida a clarificación.

La etapa de clarificación fue de especial interés en esta investigación, debido a que se evaluaron el efecto de diferentes tipos de floculantes y temperaturas en la calidad del producto (Tabla 2). Antes de la clarificación, el jugo pasó por un proceso de filtración mediante mallas de acero inoxidable. 304 de N° 30 y 50 para luego pasar a un decantador con el fin de retener las partículas de mayor masa o metales pesados. Luego, el jugo fue sometido a evaporación y concentración, reduciendo su contenido de agua hasta alcanzar la consistencia deseada.

Una vez concentrado, el jugo espesado entró en la fase de cristalización, donde se produjo la formación de cristales de azúcar característicos de la panela granulada. Posteriormente, el producto pasará por un zarandeado (malla N° 16) para garantizar un tamaño uniforme de grano y luego fue enfriado gradualmente para evitar la formación de grumos. Finalmente, la panela granulada fue envasada y sellada, asegurando su estabilidad y conservación.

Asimismo, este proceso se repitió 3 veces por cada tratamiento para asegurar la confiabilidad de los datos obtenidos.

Tabla 3.
Distribución de tratamientos del estudio

Temperatura Floculante			
	60 °C	70 °C	80 °C
Extracto acuoso de ajo	T1	T2	T3
Mucílago de balso	T4	T5	T6
Mucílago de cacao	T7	T8	T9

3.6.2. *Análisis de la calidad de la panela granulada.*

En este contexto, se evaluaron los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) y la solubilidad (pureza) del producto terminado, bajo el análisis de los diferentes tratamientos.

3.6.2.1. Análisis de parámetros de color (L^* , a^* , b^*). Después de aplicar los tratamientos y haber obtenido cada unidad de análisis, se efectuó la evaluación del parámetro del color, del cual se realizó con el proceso establecido por Vargas (2021):

- **Preparación de muestras:** Se tomaron cada una de las muestras envasadas producida bajo diferentes condiciones (mucílago de ajo, mucílago de balso, mucílago de cacao) y temperaturas de clarificación (60 °C, 70 °C, 80 °C).
- **Medición de color:** Se usó el colorímetro para medir los valores de L^* (luminosidad), a^* (coordenada rojo-verde) y b^* (coordenada amarillo-azul) en cada muestra. Las mediciones se realizaron en triplicado para asegurar la precisión.
- **Registro de datos:** Los valores obtenidos se registraron en una hoja de datos para su posterior análisis estadístico (Anexo 1).

3.6.2.2. Análisis de Sólidos insolubles. Para determinar esta variable, se aplicó el método de gravimetría el cual consiste en disolver la panela en agua a 40 °C, relación 1:10, se centrifugó a 4000 rpm/15mi, luego filtrar la solución para separar los sólidos insolubles, y luego secar en estufa a 120 °C/3h, finalmente pesar y registrar de las diferentes unidades de análisis. Para este cálculo aplicaremos la siguiente formula:

$$\text{Sólidos insolubles (\%)} = \frac{\text{Peso del residuo no disuelto}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.6.3. *Rendimiento de la panela granulada*

Para determinar el rendimiento de la panela granulada, se siguió los siguientes pasos:

- **Pesaje de materia prima:** Se pesó la cantidad de jugo de caña de azúcar utilizada en cada tratamiento.

- **Pesaje de panela granulada:** Se pesó la cantidad de panela granulada obtenida en cada tratamiento.
- **Cálculo de rendimiento:** Se calculó el porcentaje de panela obtenido en relación con la materia prima utilizada, utilizando la fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso de panela obtenida}}{\text{Peso de jugo de caña utilizada}} \times 100$$

- **Registro y análisis de datos:** Los resultados se registraron en una hoja de datos para su posterior análisis (Anexo 3).

3.7. Procedimientos de Análisis de Datos

Los datos se analizaron para generar tablas y figuras utilizando el programa Microsoft Excel 2020, mientras que el análisis estadístico se realizó Minitab Statistical Software versión 22. Los hallazgos se muestran en tablas, destacando las variaciones notables para parámetros de color (L^* , a^* , b^*) y saturación entre las muestras. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con 95% de nivel de significancia. En caso de diferencias sustanciales ($P < 0,05$), se realizaron pruebas de comparación múltiple, incluyendo las pruebas estadísticas de Tukey, y se calcularán estadísticas descriptivas como medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación para encapsular los datos.

3.8. Material y Equipos (Descripción del uso)

Tabla 4.

Equipos, materiales y/o insumos requeridos para la elaboración de panela granulada

Características	
Equipos/Instrumentos	
Trapiche	Nº 3 en acero inoxidable 304
Filtrador	Malla de acero inoxidable Nº 304 Nº50
Decantador	Acero inoxidable 304
Material	
Envases	Envases doy pack tetralaminado y rotulado de muestras de 100 g
Ollas	Acero inox. 304
Insumos	
Jugo de caña	Insumo principal para el estudio
Celulosa de ajo	Tipo de floculante como agente clarificante del jugo de caña
Mucilago de balso	Tipo de floculante como agente clarificante del jugo de caña
Mucilago de cacao	Tipo de floculante como agente clarificante del jugo de caña

3.9. Aspectos Éticos

En esta investigación, se garantizó el cumplimiento de los principios éticos fundamentales en todas las etapas del estudio. En primer lugar, se aseguró la confidencialidad y el manejo responsable de los datos obtenidos. Además, se evitó cualquier forma de manipulación o sesgo en la recolección y análisis de los datos, asegurando la transparencia y la integridad en los resultados reportados.

Por otro lado, se promovió el respeto al medio ambiente y recurso naturales durante la extracción de los floculantes (Extracto acuoso de ajo, mucílago de balso y mucílago de cacao); y se evitó el uso excesivo de materias primas priorizando las prácticas sostenibles que minimicen el impacto ambiental.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Descripción de Resultados

4.1.1. *Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) de la panela granulada.*

4.1.1.1. Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en el parámetro de luminosidad (L^*) de la panela granulada. En la Tabla 5 se muestran los valores de luminosidad (L^*) de la panela granulada obtenida bajo diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación. En general se observa que L^* del producto tiende a incrementar conforme aumenta la temperatura de clarificación (60 °C, 70 °C y 80 °C), registrándose los valores más altos en luminosidad en el tratamiento con mucílago de balso a 80 °C ($71,47 \pm 0,0$), mientras que los valores más bajos fueron con extracto acuoso de ajo a 60 °C ($51,13 \pm 0,13$). Asimismo, los tratamientos con mucílago de cacao y mucílago de balso mostraron mayores valores de L^* , especialmente a temperaturas de 70 °C y 80 °C en comparación con el control y del extracto acuoso de ajo. El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), indicando que tanto el tipo de floculante como la temperatura de clarificación afectan significativamente el parámetro L^* . Asimismo, se evidenció una interacción de manera significativa entre ambos factores, el cual indica que el efecto del tipo de floculante depende de la temperatura.

Este comportamiento podría deberse a la capacidad de floculación de los floculantes naturales para promover la remoción de impurezas durante la clarificación, lo que favorece la obtención de una panela granulada con mayor luminosidad (L^*).

Tabla 5.

Parámetros de luminosidad (L) de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.*

Tipo de Floculante	Parámetro L*			
	Temperatura de Clarificación			
	Control (50 °C)	60 °C	70 °C	80 °C
Control (50 °C)	52,61±0,33	52,61±0,33 c	52,61±0,33 b	52,61±0,33 d
Extracto Acuoso de Ajo	52,61±0,33 C	51,13±0,13 C, d	56,95±2,36 B, b	62,56±0,93 A, c
Mucílago de Cacao	52,61±0,33 B	64,93±0,34 A, a	66,15±0,54 A, a	66,52±0,10 A, b
Mucílago de Balso	52,61±0,33 C	61,37±0,19 B, b	63,77±2,33 B, a	71,47±0,29 A, a

Nota: Los valores corresponden a media ± desviación estándar. Letras mayúsculas distintas en filas expresan diferencias significativas entre temperaturas, mientras que letras minúsculas distintas en columnas evidencia diferencias entre floculantes a una misma temperatura ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

4.1.1.2. Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en el parámetro a* (rojo-verde) de la panela granulada. En la Tabla 6 se evidencian los valores del parámetro a* de la panela granulada obtenida bajo la combinación de los dos factores. En general, se observa que los valores de a* variaron según el tipo de floculante y la temperatura aplicada durante el proceso de clarificación. Los valores más altos se registraron en el tratamiento con extracto acuoso de ajo 70 °C (11,99±0,18), en cambio, los valores más bajos resultaron con el tratamiento con mucílago de balso a 70 °C (4,85±0,30). Asimismo, los tratamientos con mucílago de cacao y mucilago de balso presentaron valores menores del parámetro a* frente al tratamiento control y el extracto acuoso de ajo. El análisis de varianza (ANOVA) evidencio diferentes significativas entre tratamientos ($P < 0,05$), indicando que tanto el tipo de floculante como la temperatura de clarificación influyen significativa entre ambos factores, lo que indica que el efecto del tipo de floculante depende de la temperatura aplicada durante el proceso.

Este comportamiento podría atribuirse a la capacidad de los floculantes naturales para favorecer la eliminación de compuestos coloreados e impurezas durante la clarificación del jugo de caña, lo que contribuye a la obtención de una panela granulada con menor intensidad en el componente rojo del color (a^*).

Tabla 6.

Parámetros del componente rojo (a^) de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.*

Tipo de Floculante	a^*			
	Temperatura de Clarificación			
	Control (50 °C)	60 °C	70 °C	80 °C
Control (50 °C)	10,06±0,19	10,06±0,19 a	10,06±0,19 a	10,06±0,19 a
Extracto Acuoso de Ajo	10,06±0,19 BC	10,06±0,19 A, a	11,99±0,18AB, a	10,86±0,88 C, b
Mucílago de Cacao	10,06±0,19 A	6,61±0,06 B, d	6,81±0,15 B, b	6,47±0,0,31 B, c
Mucílago de Balso	10,06±0,19 A	9,12±0,04 B, c	4,85±0,30 C, c	4,92±0,48 C, d

Nota: Los valores corresponden a media $\pm$ desviación estándar. Letras mayúsculas distintas en filas expresan diferencias significativas entre temperaturas, mientras que letras minúsculas distintas en columnas evidencia diferencias entre floculantes a una misma temperatura ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

4.1.1.3. Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en el parámetro b^* (azul - amarillo) de la panela granulada. En la tabla 7 se muestra los valores del parámetro de color b^* de la panela granulada obtenida bajo diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación. En general, se observa que los valores del parámetro b^* variaron según el tipo de floculante y la temperatura aplicada durante el proceso de clarificación. Los valores más elevados se registraron en el tratamiento con mucílago de cacao a 70 °C (29,77±0,19), mientras que los valores más bajos se observaron en el tratamiento con extracto acuosa de ajo a 60 °C (21,80±5,69). Asimismo, los tratamientos con mucílago de cacao y mucílago de balso

presentaron mayores valores del parámetro b^* en comparación con el control y el extracto acuoso de ajo, especialmente a temperaturas de 60 °C y 70 °C. El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), indicando que los factores de clarificación influyen significativamente en el parámetro b^* . Además, se observó una interacción significativa entre ambos factores, lo que indica que el efecto del tipo de flocúlate depende de la temperatura aplicada durante el proceso.

Este comportamiento podría interpretarse a la influencia de los floculantes naturales durante la clarificación del jugo de caña, los cuales favorecen la eliminación de compuestos coloidales e impurezas, afectando la intensidad del componente amarillo del color (b^*), lo que repercute en las características cromáticas finales de la panela granulada.

Tabla 7.

Parámetros del componente amarillo (b^) de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.*

Tipo de Floculante	b^*			
	Temperatura de Clarificación			
	Control (50 °C)	60 °C	70 °C	80 °C
Control (50 °C)	22,78±0,78	22,78±0,78 a	22,78±0,78 b	22,78±0,78 c
Extracto Acuoso de Ajo	22,78±0,78 A	21,80±5,69 A, a	23,63±0,94 A, b	27,68±0,37 A, a
Mucílago de Cacao	22,78±0,78 D	28,24±0,26 B, a	29,77±0,19 A, a	24,97±0,45 C, b
Mucílago de Balso	22,78±0,78 B	26,04±1,27 A, a	23,67±0,73 AB, b	24,10±0,76 AB, bc

Nota: Los valores corresponden a media $\pm$ desviación estándar. Letras mayúsculas distintas en filas expresan diferencias significativas entre temperaturas, mientras que letras minúsculas distintas en columnas evidencia diferencias entre floculantes a una misma temperatura ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

4.1.2. Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en el índice de blancura de la panela granulada.

En la Tabla 8 se observan los valores del índice de blancura de la panela granulada obtenida bajo diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación. En general, se

observa que el índice de blancura tiende a incrementarse conforme aumenta la temperatura de clarificación, los valores más altos del índice de blancura se registran en el tratamiento con mucílago de balso a 80 °C ($62,33 \pm 0,76$), a diferencia de los valores más bajos se muestran con el tratamiento control ($46,46 \pm 0,23$), donde no se aplicó ningún tipo de floculante durante el proceso de clarificación. Asimismo, los tratamientos con mucílago de cacao y mucílago de balso presentaron mayores valores en índice de blancura respecto al control y el extracto acuoso de ajo, especialmente a temperaturas de 70 °C y 80 °C. El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), indicando que tanto el tipo de floculante como la temperatura de clarificación influyen significativamente en el índice de blancura. Además, se identificó una interacción significativa entre ambos factores, el cual indica que el efecto tipo de floculante depende de la temperatura aplicada durante el proceso. Este comportamiento podría atribuirse a la capacidad de los floculantes naturales para favorecer la coagulación y sedimentación de impurezas presentes en el jugo de caña, lo que permite obtener una panela granulada con mayor claridad y, por consiguiente, con mayor índice de blancura.

Tabla 8.

Índice de blancura de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.

INDICE DE BLANCURA				
Tipo de Floculante	Temperatura de Clarificación			
	Control (50 °C)	60 °C	70 °C	80 °C
Control (50 °C)	$46,46 \pm 0,23$	$46,46 \pm 0,23$ b	$46,46 \pm 0,23$ b	$46,46 \pm 0,23$ d
Extracto Acuoso de Ajo	$46,46 \pm 0,23$ B	$45,00 \pm 2,40$ B, b	$49,70 \pm 2,52$ AB, b	$52,61 \pm 0,98$ A, c
Mucílago de Cacao	$46,46 \pm 0,23$ C	$54,49 \pm 0,11$ B, a	$54,41 \pm 0,49$ B, a	$57,74 \pm 1,02$ A, b
Mucílago de Balso	$46,46 \pm 0,23$ D	$52,52 \pm 0,63$ C, a	$56,43 \pm 1,78$ B, a	$62,33 \pm 0,76$ A, a

Nota: Los valores corresponden a media $\pm$ desviación estándar. Letras mayúsculas distintas en filas expresan diferencias significativas entre temperaturas, mientras que letras minúsculas distintas en columnas evidencia diferencias entre floculantes a una misma temperatura ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

4.1.3. Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en la presencia de sólidos insolubles (%) de la panela granulada.

En la Tabla 9 se presentan los valores del porcentaje de sólidos insolubles de la panela granulada obtenida bajo diferentes tipos de floculantes u temperaturas de clarificación. En general, se observa que el contenido de sólidos insolubles tiende a disminuir conforme aumenta la temperatura de clarificación, especialmente en los tratamientos donde se aplicaron floculantes naturales. Los valores más altos de sólidos insolubles se registraron en el tratamiento de control ($0,29 \pm 0,01$), donde no se aplicó ningún floculante durante el proceso de clarificación. Por otro lado, los valores más bajos se observaron en el tratamiento con mucílago de balso a 80 °C ($0,09 \pm 0,01$). Asimismo, los tratamientos con mucílago de cacao y mucílago de balso presentaron menores valores de sólidos insolubles en comparación con el control y el extracto acuoso de ajo, evidenciando una mayor eficiencia en la eliminación de impurezas durante el proceso de clarificación. El análisis de varianza (ANOVA) evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), indicando que tanto el tipo de floculante como la temperatura de clarificación influyen significativamente en el contenido de sólidos insolubles. Además, se identificó una interacción significativa entre Tipo de floculante y temperatura de clarificación, lo que sugiere que el efecto del tipo de floculante depende de la temperatura aplicada durante el proceso.

Este comportamiento podría atribuirse a la capacidad de los floculantes naturales para favorecer la coagulación, floculante y sedimentación de partículas coloidales e impurezas presentes en el jugo de caña, lo que contribuye a obtener una panela granulada con menor contenido de sólidos insolubles.

Tabla 9.

Porcentaje de sólidos insolubles de la panela granulada con diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación.

% DE SÓLIDOS INSOLUBLES				
Tipo de Floculante	Temperatura de Clarificación			
	Control (50 °C)	60 °C	70 °C	80 °C
Control (50 °C)	0,29±0,01	0,29±0,01 a	0,29±0,01 a	0,29±0,01 a
Extracto Acuoso de Ajo	0,29±0,01 A	0,22±0,01 B,b	0,19±0,01 C, b	0,16±0,01 D, b
Mucílago de Cacao	0,29±0,01 A	0,17±0,01 B, c	0,15±0,01 C, c	0,12±0,01 D, c
Mucílago de Balso	0,29±0,01 A	0,16±0,01 B, c	0,12±0,01 C, d	0,09±0,01 D, d

Nota: Los valores corresponden a media $\pm$ desviación estándar. Letras mayúsculas distintas en filas expresan diferencias significativas entre temperaturas, mientras que letras minúsculas distintas en columnas evidencia diferencias entre floculantes a una misma temperatura ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

4.1.4. Efecto del tipo de floculante y temperatura de clarificación en el porcentaje de rendimiento.

En la Tabla 10 se muestra los valores de porcentaje de rendimiento de la panela granulada obtenida bajo diferentes tipos de floculantes y temperaturas de clarificación. En general, se observa que el rendimiento tiende a disminuir conforme aumenta la temperatura de clarificación, particularmente en los tratamientos donde se aplicaron floculantes naturales. Los valores más altos de rendimiento se registraron en el tratamiento control ($16,26 \pm 0,02$), donde no se aplicó ningún floculante durante el proceso de clarificación. Por otro lado, los valores más bajos se observaron en el tratamiento con mucílago de balso a 80 °C ($14,41 \pm 0,02$). Asimismo, los tratamientos con extracto acuoso de ajo, mucílago de cacao y mucílago de balso presentaron menores valores de rendimiento en comparación con el control, lo cual puede atribuirse a la eliminación de impurezas y sólidos durante el proceso de clarificación. El análisis

de varianza (ANOVA) evidenció diferentes significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), indicando que tanto el tipo de floculante como la temperatura de clarificación influye significativamente en el rendimiento de la panela granulada. Además, se observó una interacción significativa entre ambos factores, lo que sugiere que el efecto del tipo de floculante depende de la temperatura aplicada durante el proceso.

Este comportamiento podría explicarse porque la aplicación de floculante naturales favorece la remoción de sólidos insolubles e impurezas presentes en el jugo de caña, lo que mejora la calidad del producto final, aunque genera una ligera disminución en rendimiento de panela granulada.

Tabla 10.

Porcentaje de rendimiento de panela granulada con diferentes floculantes y temperaturas de clarificación.

% RENDIMIENTO				
Tipo de Floculante	Temperatura de Clarificación			
	Control (50 °C)	60 °C	70 °C	80 °C
Control (50 °C)	16,26±0,04	16,26±0,04 a	16,26±0,04 a	16,26±0,04 a
Extracto Acuoso de Ajo	16,26±0,04 A	15,70±0,09 B, c	15,70±0,04 B, b	14,75±0,04 C, c
Mucílago de Cacao	16,26±0,04 A	15,86±0,06 B, b	15,40±0,10 C, c	15,32±0,11 C, b
Mucílago de Balso	16,26±0,04 A	15,94±0,04 B, b	15,22±0,03 C, d	14,41±0,02 D, d

Nota: Los valores corresponden a media $\pm$ desviación estándar. Letras mayúsculas distintas en filas expresan diferencias significativas entre temperaturas, mientras que letras minúsculas distintas en columnas evidencia diferencias entre floculantes a una misma temperatura ($p < 0,05$; prueba de Tukey).

4.2. Contrastación de Hipótesis

Para la contrastación de hipótesis se actuó después de realizar el análisis estadístico mediante el análisis de varianza (ANOVA) con el diseño factorial propuesto. Los resultados mostraron que el tipo de floculante y la temperatura de clarificación tuvieron efecto

significativo ($p < 0,05$) sobre los parámetros de color (L^* , a^* , b^*), el índice de blancura, el % de sólidos insolubles y el % de rendimiento de panela granulada. Además, se evidenció la interacción significativa entre ambos factores, lo que indica que la respuesta de las variables dependientes evaluadas dependió de la combinación entre el tipo de floculante y temperatura de clarificación. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), concluyendo que el tipo de floculante y la temperatura de clarificación si afecta significativamente en la calidad y rendimiento de la panela granulada de la marca Grodina.

4.3. Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos, indican que el tipo de floculante (mucílago de ajo, mucílago de cacao y mucílago de balso) y la temperatura de clarificación (60 °C, 70 °C y 80°C) tienen efecto significativo en los parámetros de color (L^* , a^* , b^*) y en el índice de blancura de la panela granulada. En general, los tratamientos con mucílago de cacao y mucílago de balso presentaron mayores valores de luminosidad e índice de blancura en comparación con el control y el extracto acuoso de ajo, lo que sugiere una mejor clarificación del jugo de caña y, por tanto, una panela con apariencia más clara. Este comportamiento puede explicarse porque los floculantes facilitan la formación de flóculos que agrupan y eliminan partículas suspendidas, proteínas y otros compuestos presentes en el jugo de caña que afectan el color del producto final. Al reducirse estas impurezas durante la clarificación, es posible obtener una panela con mayor luminosidad y tonalidades más limpias.

Resultados similares fueron reportados por (Velásquez, 2023), quien observó que el mucílago de balso mejora la transparencia del jugo al reducir su turbidez. Asimismo, Fernández et al. (2021) señalaron que el mucílago de cacao puede actuar como un clarificante natural eficiente, favoreciendo mejores características cromáticas del jugo de caña. De igual manera,

(Moreno et al., 2022) y Leão et al. (2023) destacaron la alta eficiencia de los floculantes naturales en la remoción de impurezas y turbidez del jugo.

Sin embargo, estos resultados difieren parcialmente de lo señalado por (Alarcón et al., 2021; quienes asociaron temperaturas elevadas con un oscurecimiento del azúcar no centrifugado. Esta diferencia podría deberse a que en el presente estudio el aumento de temperatura se evaluó durante la etapa de clarificación, donde temperaturas moderadas entre 60 °C y 80 °C favorecen la formación de flóculos y la eliminación de impurezas.

Por lo dicho, los resultados dan a entender que el uso de floculantes naturales, especialmente mucílago de balso y mucílago de cacao a temperaturas adecuadas de clarificación contribuye a mejorar el color y el índice de blancura de la panela granulada.

A partir de los resultados, se muestran que el tipo de floculante y la temperatura de clarificación afectan significativamente en el contenido de sólidos insolubles de la panela granulada. En general, se observó que los tratamientos donde se aplicaron floculantes (extracto acuoso de ajo, mucílago de cacao y mucílago de balso) presentaron valores menores en % de sólidos insolubles en comparación con el tratamiento control, donde el mucílago de balso a 80 °C resultó con el valor más bajo. Esto indicaría que la aplicación de estos floculantes favoreció una mejor eliminación de impurezas presentes en el jugo de caña durante la clarificación, en consecuencia, una panela con buena pureza comercial.

Este comportamiento puede explicarse porque los floculantes ayudan a agrupar partículas suspendidas o en forma de coloides en el jugo de caña, el cual ayuda a formar flóculos que posteriormente se añaden al floculante y pueden ser retirados con mayor facilidad. Asimismo, la temperatura de clarificación también influye en este proceso, ya que temperaturas dentro del rango de 60 °C a 80 °C favorecen la coagulación de estas partículas y mejoran la eficiencia de la clarificación. Por ello, al reducirse estas impurezas durante el proceso, también disminuye el contenido de sólidos insolubles en la panela granulada.

Resultados similares fueron reportados por (Moreno et al., 2022).y Leão et al. (2023), quienes señalan que el uso de floculantes naturales puede mejorar significativamente la remoción de turbidez y partículas presentes en el jugo de caña. de igual manera, Velásquez (2023) encontró que el mucílago de balso permitió reducir considerablemente la turbidez del jugo, lo cual coincide con lo observado en la presente investigación realizada. En ese sentido, los resultados obtenidos confirman que el uso de floculantes naturales puede contribuir a mejorar la clarificación del jugo de caña y reducir el contenido de sólidos insolubles en la panela granulada.

Los resultados obtenidos muestran que el tipo de floculante y la temperatura de clarificación influyeron significativamente en el rendimiento de la panela granulada. En general, el tratamiento control presentó los valores más altos de rendimiento, mientras que los tratamientos donde se aplicaron floculantes naturales mostraron una ligera disminución, especialmente con el mucílago de balso a 80 °C. Esto puede explicarse porque durante la clarificación se eliminan impurezas, partículas suspendidas y en coloides presentes en jugo de caña. Estos resultados coinciden con lo reportado por Meerod et al. (2020), donde señalaron que el proceso de clarificación puede modificar el rendimiento del azúcar no centrifugado (panela) debido a la eliminación de impurezas en el jugo de caña. De manera similar, Velásquez (2023) indicó que el uso de mucílagos naturales mejora la calidad del jugo al reducir su turbidez, aunque esto puede ocasionar ligeros cambios en el rendimiento del proceso. Asimismo, Moreno et al. (2022) y Leão et al. (2023) mencionan que los floculantes naturales presentan alta eficiencia en la remoción de impurezas durante la clarificación del jugo de caña.

Asimismo, Vargas et al. (2021) y Alarcón et al. (2021) indican que las condiciones térmicas del proceso pueden afectar tanto la calidad como las características fisicoquímicas de la panela. Por lo dicho, los resultados de esta investigación sugieren que el uso de floculantes

naturales mejora la calidad del producto final, aunque pueda presentarse una ligera disminución en el rendimiento del proceso.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se evaluó el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en los parámetros de color, índice de blancura, sólidos insolubles y rendimiento de la panela granulada de la marca Grodina. Se determinó que ambos factores influyeron significativamente en la calidad del producto, destacando el tratamiento con mucílago de balso a 80 °C por presentar mejores características de clarificación y apariencia.

Se determinó que el tipo de floculante y la temperatura de clarificación influyeron significativamente en los parámetros de color L^* , a^* y b^* de la panela granulada. Los tratamientos con mucílago de balso y mucílago de cacao mejoraron las características cromáticas del producto, siendo el mucílago de balso a 80 °C el que presentó mayor luminosidad e índice de blancura.

Se analizó el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación sobre los sólidos insolubles de la panela granulada. Se evidenció que los floculantes naturales favorecieron la reducción de impurezas, destacando el mucílago de balso a 80 °C por presentar el menor contenido de sólidos insolubles.

Se analizó el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación sobre el rendimiento de la panela granulada. Se observó que el tratamiento control presentó mayor rendimiento; sin embargo, los tratamientos con floculantes naturales redujeron ligeramente esta variable debido a la mayor remoción de impurezas, manteniendo un rendimiento aceptable.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a las plantas productoras de panela granulada considerar el uso de floculante naturales durante la clarificación del jugo de caña, especialmente el mucilago de balso, ya que en la presente investigación permitió mejorar los parámetros de color, el índice de blancura y reducir el contenido de sólidos insolubles.

Se sugerir aplicar temperaturas de clarificación cercanas a 80 °C, debido a que bajo estas condiciones se observó una mayor eficiencia en la eliminación de impurezas del jugo de caña.

Se recomienda continuar desarrollando investigaciones aplicadas en el proceso de producción de panela granulada, evaluando otros floculantes naturales o realizar estudio en otras etapas del proceso productivo como evaporación, agitado de floculación, etc.

Finalmente, se recomienda fomentar más investigaciones sobre el panel granulado en la región Cajamarca, considerando que esta línea agroindustrial es relativamente nueva y presenta un amplio campo de estudio para fortalecer la cadena productiva panelera.

REFERENCIAS

- Agronet. (2021). *Colombia es el segundo mayor productor de panela a nivel mundial con 16% del mercado*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Colombia-es-el-segundo-mayor-productor-de-panela-a-nivel-mundial-con-16-del-mercado.aspx>
- Aguilar-Rivera, N. (2024). Past, Present, and Future of Sugarcane Byproducts: An Overview. *Biotechnological Transformation for Sugarcane Management*, 211–246. <https://doi.org/10.1201/9781003536376-8>
- Aguilar-Rivera, N., & Olvera-Vargas, L. A. (2021). Innovations for Sustainable Production of Traditional and Artisan Unrefined Non-centrifugal Cane Sugar in Mexico. *World Sustainability Series*, 313–330. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78825-4_19
- Ahluwalia, V. K. (2023). Instrumental Methods of Chemical Analysis. *Instrumental Methods of Chemical Analysis*, 1–570. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-38355-7/COVER>
- Alarcón, A. L., Palacios, L. M., Osorio, C., César Narváez, P., Heredia, F. J., Orjuela, A., & Hernanz, D. (2021). Chemical characteristics and colorimetric properties of non-centrifugal cane sugar (“panela”) obtained via different processing technologies. *Food Chemistry*, 340, 128183. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128183>
- Ali, A., Altaf, M. T., Bedir, M., Liaqat, W., Jamil, A., Nadeem, M. A., & Baloch, F. S. (2024). *Biotechnological Advancements Toward Sugarcane Crop Improvement*. 333–352. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1003-4_13
- Alvarado, J. P., Palma, H. H., Ramos, C. G., Moreno-Ríos, A. L., Osio, E. M., Horta, R. G., Caraveo, G. I. D. A. P., & Moreno, S. E. R. (2024). Evaporation automation at the Central de Mielles de Útica, Colombia, for non-centrifugal sugar cane production: Sustainable

- optimization strategies. *Bioresource Technology Reports*, 26, 101850.
<https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2024.101850>
- Alvear, W. (2024). *Optimización del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar Saccharum officinarum por medio del Trapiche, para la elaboración de panela artesanal* [UTB]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16374>
- Andò, S. (2020). Gravimetric Separation of Heavy Minerals in Sediments and Rocks. *Minerals* 2020, Vol. 10, Page 273, 10(3), 273. <https://doi.org/10.3390/MIN10030273>
- Asikin, Y., Nakaza, Y., Maeda, G., Kaneda, H., Takara, K., & Wada, K. (2023). Evaporation Temperature Alters Physicochemical Characteristics and Volatile Maillard Reaction Products of Non-Centrifugal Cane Sugar (NCS): Comparison of Polyethylene Membrane and Retronasal Aroma Simulator Techniques for the Extraction of Volatile Organic Compounds in NCS. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 6402, 13(11), 6402. <https://doi.org/10.3390/APP13116402>
- Asikin, Y., Takahara, W., Takahashi, M., Hirose, N., Ito, S., & Wada, K. (2017). Compositional and Electronic Discrimination Analyses of Taste and Aroma Profiles of Non-Centrifugal Cane Brown Sugars. *Food Analytical Methods*, 10(6), 1844–1856. <https://doi.org/10.1007/S12161-016-0746-5/METRICS>
- Avalos Ludeña, J., & Ponte Ramírez, R. (2019). Efecto del pH y temperatura en la clarificación del jugo de caña de azúcar (saccharum officinarum) por carbonatación. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3386>
- Bach, M., & Schoenbrunn, F. (2022). Liquid–Solid Separation: De-Sanding—Flocculation, Sedimentation and Liquor Filtration. *Springer Series in Materials Science*, 320, 241–267. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88586-1_5
- Bharti, S. (2019). A Critical Review on Flocculants and Flocculation. *Non-Metallic Material Science*, 1(1), 11–21. <https://doi.org/10.30564/NMMS.V1I1.645>

- Bustamante, F. (2017). Temperatura, Ph y adición de floclulantes como balso (*Heliocarpus americanus* l.), cadillo (*Triumfetta láppulal* l.) y vituca (*Colocasia esculenta*) en el mejoramiento del color de la panela. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - UNTRM*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1261>
- Bwambok, D. K., Siraj, N., Macchi, S., Larm, N. E., Baker, G. A., Pérez, R. L., Ayala, C. E., Walgama, C., Pollard, D., Rodriguez, J. D., Banerjee, S., Elzey, B., Warner, I. M., & Fakayode, S. O. (2020). QCM Sensor Arrays, Electroanalytical Techniques and NIR Spectroscopy Coupled to Multivariate Analysis for Quality Assessment of Food Products, Raw Materials, Ingredients and Foodborne Pathogen Detection: Challenges and Breakthroughs. *Sensors* 2020, Vol. 20, Page 6982, 20(23), 6982. <https://doi.org/10.3390/S20236982>
- Cadenillas, M., & Villanueva, S. (2021). *Optimización del proceso de concentración del jugo de caña por evaporación al vacío y del secado del jugo concentrado para obtener azúcar en polvo (panela)*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10026>
- Cahyadi, W., Ghaffar, R. M., Darniadi, S., Sarifudin, A., Sagita, D., Budihart, U., Hariadi, H., Nurhasanah, A., Widodo, P., HARIADI, H., Haryanto, A., Andrianto, M., & Nurhadi, B. (2024). The Evaluation of clarification process of Indonesia's sweet sorghum juice by ultrafiltration membrane and the physicochemical and sensorial properties of the sugar product. *Food Science and Technology*, 44, 2024. <https://doi.org/10.5327/FST.00338>
- Castro, A. (2021). *Diseño de un proceso industrial para la elaboración de panela granulada a base de caña de azúcar (Saccharum officinarum) para la asociación de cañicultores de Pastaza*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14887>
- Chávez Pacheco, S., & Tipan Timbila, D. (2023). *Estudio comparativo de las metodologías aplicadas para mejorar el grado de compactación de la panela granulada producida en*

- la parroquia Palo Quemado del cantón Sigchos*. Ecuador : Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11024>
- Chuchuca, G., Torres, H., Garofalo, M. D. L. A., & Villon, P. F. (2019). *Mejoramiento del proceso de producción de panela orgánica en unidades paneleras de la provincia de Cotopaxi*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/48454>
- Cirqueira, N., de Souza Candeco, E., Barboza, L., Troyner, F., Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli, J., & Bittencourt Sydney, E. (2022). *Sugarcane First-Generation Bioethanol Units and Advancements in Electric Power and Biogas Production*. 85–107. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01241-9_5
- Cohen, J. F. W., Kesack, A., Daly, T. P., Elnakib, S. A., Hager, E., Hahn, S., Hamlin, D., Hill, A., Lehmann, A., Lurie, P., Maroney, M., Means, J., Mueller, M. P., Olarte, D. A., Polacsek, M., Schwartz, M. B., Sonnevile, K. R., Spruance, L. A., Woodward, A. R., & Chapman, L. E. (2024). Competitive Foods’ Nutritional Quality and Compliance with Smart Snacks Standards: An Analysis of a National Sample of U.S. Middle and High Schools. *Nutrients*, 16(2), 275. <https://doi.org/10.3390/NU16020275/S1>
- Contreras Castañeda, E. D., Gordillo Galeano, J. J., & Olaya Rodríguez, K. J. (2024). Lean-Kaizen startup in panela production processes: the case of a trapiche. *Cogent Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2322834>
- Corbion, C., Smith-Ravin, J., Marcelin, O., & Bouajila, J. (2023). An Overview of Spirits Made from Sugarcane Juice. *Molecules* 2023, Vol. 28, Page 6810, 28(19), 6810. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES28196810>
- Cursi, D. E., Hoffmann, H. P., Barbosa, G. V. S., Bressiani, J. A., Gazaffi, R., Chapola, R. G., Fernandes Junior, A. R., Balsalobre, T. W. A., Diniz, C. A., Santos, J. M., & Carneiro, M. S. (2022). History and Current Status of Sugarcane Breeding, Germplasm Development

- and Molecular Genetics in Brazil. *Sugar Tech*, 24(1), 112–133.
<https://doi.org/10.1007/S12355-021-00951-1/TABLES/6>
- da Costa, M. V. A., Fontes, C. H., Carvalho, G., & Júnior, E. C. de M. (2021). UltraBrix: A Device for Measuring the Soluble Solids Content in Sugarcane. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 1227, 13(3), 1227. <https://doi.org/10.3390/SU13031227>
- Davis, G., Ekwue, E. I., & Azamathulla, H. M. (2024). Examination of the Efficiency of Fabric Filter Media in Two-Stage Crossflow Pre-Filtration of Turbid Surface Water Using the Davies Flow Equation. *West Indian Journal of Engineering*, 46(2), 57–63.
<https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/wije/article/view/8971>
- De Matos, M., Santos, F., & Eichler, P. (2020). Sugarcane world scenario. *Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives*, 1–19. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00001-9>
- de Mello, M. L., Barros, N. Z., Sperança, M. A., & Pereira, F. M. V. (2022). Impurities in Raw Sugarcane Before and After Biorefinery Processing. *Food Analytical Methods*, 15(1), 96–103. <https://doi.org/10.1007/S12161-021-02105-1/METRICS>
- Dinesh Babu, K. S., Janakiraman, V., Palaniswamy, H., Kasirajan, L., Gomathi, R., & Ramkumar, T. R. (2022). A short review on sugarcane: its domestication, molecular manipulations and future perspectives. *Genetic Resources and Crop Evolution* 2022 69:8, 69(8), 2623–2643. <https://doi.org/10.1007/S10722-022-01430-6>
- Ebadi, S., & Azlan, A. (2020). Nutritional Composition and Role of Non-centrifugal Sugar (NCS) in Human Health. *Current Nutrition & Food Science*, 17(3), 249–257.
<https://doi.org/10.2174/1573401316999200728184917>
- Eggleston, G., Aita, G., & Triplett, A. (2021). Circular Sustainability of Sugarcane: Natural, Nutritious, and Functional Unrefined Sweeteners That Meet New Consumer Demands. *Sugar Tech*, 23(5), 964–973. <https://doi.org/10.1007/S12355-021-00994-4/METRICS>

- Fernández, A., Tuarez, D., Erazo, C., & Torres, E. (2021). Clarification of Sugar Cane Juice (*Saccharum Officinarum*) Through the Use of National Cocoa Muclago (*Theobroma Cacao* L). *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1(1), 448–462. <https://doi.org/10.18502/ESPOCH.V1I1.9583>
- Forero, L. E. P., Bernal, H. R. G., & Guerrero, A. C. (2014). Efectos de la presión de evaporación y la concentración de antiespumante y del uso de floculante y coadyuvante en la calidad de la miel y la panela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(2), 153–172. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num2_art:356
- Gaibor, J. (2024). *Diseño de un modelo de buenas prácticas de manufactura (BPM) para la Planta Procesadora de panela “Panelera Teniente Hugo Ortiz” Puyo-Pastaza*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/23070>
- García, J. M., Molina, C., Simister, R., Taibo, C. B., Setten, L., Erazzú, L. E., Gómez, L. D., & Acevedo, A. (2023). Chemical and histological characterization of internodes of sugarcane and energy-cane hybrids throughout plant development. *Industrial Crops and Products*, 199, 116739. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.116739>
- Giusti, M. M., Gordillo, B., & González-Miret, M. L. (2024). *Color Analysis*. 509–522. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50643-7_31
- Gómez Espinosa, M. L. (2022). *Propuesta para el diseño de un modelo de economía circular, en el proceso de producción de la panela en el departamento de Antioquia, Colombia*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1182808>
- Guerra, M. J., & Mujica, M. V. (2010). Physical and chemical properties of granulated cane sugar “panelas.” *Food Science and Technology*, 30(1), 250–257. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010005000012>

- Holberg, W., & Huynh-Ba, K. (2021). Analytical Techniques Used in the GMP Laboratory. *Analytical Testing for the Pharmaceutical GMP Laboratory*, 57–108. <https://doi.org/10.1002/9781119680475.CH3>
- Insuasty Patiño, G. A. (2023). *Plan de negocios para la creación de una empresa productora y comercializadora de panela pulverizada “Flor de Caña” en el Municipio de Pasto – Nariño*. <http://repositorio.unicesmag.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/1159>
- Iwuozor, K. O. (2019). Prospects and Challenges of Using Coagulation-Flocculation method in the treatment of Effluents. *Advanced Journal of Chemistry, Section A*, 2(2), 105–127. <https://doi.org/10.29088/SAMI/AJCA.2019.2.105127>
- Iwuozor, K. O., Adeniyi, A. G., Emenike, E. C., Adepoju, M. I., & Ahmed, M. O. (2023). Sugarcane Juice Powder Produced from Spray Drying Technology: A Review of Properties and Operating Parameters. *Sugar Tech*, 25(3), 497–507. <https://doi.org/10.1007/S12355-022-01211-6/METRICS>
- Jara, L. (2022). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de panela líquida como alimento saludable, estilo de vida y tendencia a nivel mundial. *Repositorio Institucional Ulima*. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/17155>
- Jaramillo Nonajulca, D. M., & Sánchez Imán, M. N. (2022). Plan de mejora en el proceso de elaboración de panela granulada para reducir los costos de la empresa Caes, 2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112576>
- Jerez Caizabanda, L. (2024). *Elaboración de panela con base en caña de maíz para uso como endulzante natural en bebidas*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/23098>
- Jiménez, C., Napoleón, M., Merino, H., Fernando, J., Bello, O., & Rafael, J. (2020). Plan de negocio para la creación de una empresa comercializadora de panela granulada en el

- mercado nacional. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653577>
- Kaya, D., & Hung, Y.-T. (2021). *Advances in Treatment of Vegetable Oil Refining Wastes*. 325–375. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54626-7_8
- Lazaro, J. G. M., Quintero, A. D. R., Rodriguez, C. L. S., Perez, O. L., & Hernandez, J. F. C. (2021). Design And Set Up Of A Pulverized Panela Machine. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(4), 812–828. <https://doi.org/10.21533/PEN.V9I4.1989>
- Leão, S., Magalhães, S., Alves, L., Gamelas, J. A. F., Lima, C., Stein, B., & Rasteiro, M. da G. (2023). Anionic bio-flocculants from sugarcane for purification of sucrose: An application of circular bioeconomy. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17134>
- Lee, H., Jung Sohn, Y., Jeon, S., Yang, H., Son, J., Jin Kim, Y., & Jae Park, S. (2023). Sugarcane wastes as microbial feedstocks: A review of the biorefinery framework from resource recovery to production of value-added products. *Bioresource Technology*, 376, 128879. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2023.128879>
- Luzardo-Ocampo, I., Ramírez-Jiménez, A. K., Yañez, J., Mojica, L., & Luna-Vital, D. A. (2021). Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review. *Foods 2021, Vol. 10, Page 634, 10(3)*, 634. <https://doi.org/10.3390/FOODS10030634>
- Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L., & Del Bino, S. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140(1), 3-12.e1. <https://doi.org/10.1016/J.JID.2019.11.003>
- Maćczak, P., Kaczmarek, H., & Ziegler-Borowska, M. (2020). Recent Achievements in Polymer Bio-Based Flocculants for Water Treatment. *Materials 2020, Vol. 13, Page 3951, 13(18)*, 3951. <https://doi.org/10.3390/MA13183951>

- Mading Makur, M., Duraisamy, R., & Birhanu, T. (2019). Clarifying Capacity of Eco-Friendly Nano Cao and Okra(*Abelmoschus Esculentus*) Extract on the Processing of Sugarcane Juice: A Review. *International Research Journal of Science and Technology*, 1(1), 21–30. <https://doi.org/10.46378/IRJST.2019.010104>
- Mahmud, M. A., & Anannya, F. R. (2021). Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon*, 7(8), e07771. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E07771/ASSET/1D5BEF24-50A9-46D9-8509-64B5710FAC63/MAIN.ASSETS/GR10.JPG>
- Mao, Z. (2024). Evaluation and Impact of Measurement Uncertainty in Laboratory Instruments and Analytical Methods: A Comprehensive Study of Volumetric, Chromatographic, and Gravimetric Techniques. *International Journal of Chemistry and Materials Science*, 1(1), 1–20. <https://doi.org/10.70088/03HX0B14>
- Marasinghege, C. (2023). *Understanding the chemistry of juice degradation during evaporation in raw sugar manufacture* [Queensland University of Technology]. <https://doi.org/10.5204/THESIS.EPRINTS.240358>
- Marasinghege, C., Shi, C., Bottle, S., Bartley, J., Doherty, W. O. S., & Rackemann, D. W. (2024). One pot two-alkali clarification process to minimize sucrose degradation of clarified sugarcane juice during evaporation. *Journal of Food Engineering*, 374, 112022. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2024.112022>
- Martínez-González, E., Muñoz-Márquez, D. B., Rosa-Hernández, M. de la, Aguilar-Zárate, P., Reyes-Luna, C., Ramírez-Cathí, H., Wong-Paz, J. E., Martínez-González, E., Muñoz-Márquez, D. B., Rosa-Hernández, M. de la, Aguilar-Zárate, P., Reyes-Luna, C., Ramírez-Cathí, H., & Wong-Paz, J. E. (2019). Estudio de factores que influyen en la producción de piloncillo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) empleando un diseño de Plackett Burman. *Acta Universitaria*, 29, 1–11. <https://doi.org/10.15174/AU.2019.2188>

- Mauer, L. J. (2024). *Moisture and Total Solids Analysis*. 233–260. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50643-7_15
- McCleary, B. V., & McLoughlin, C. (2022). Determination of Insoluble, Soluble, and Total Dietary Fiber in Foods Using a Rapid Integrated Procedure of Enzymatic-Gravimetric-Liquid Chromatography: First Action 2022.01. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 106(1), 127–145. <https://doi.org/10.1093/JAOACINT/QSAC098>
- Meerod, K., Weerawatanakorn, M., & Pansak, W. (2020). Effect of Liming Process on Physicochemical Properties and Phytochemical Components of Non-Centrifugal Sugar from Different Sugarcane Cultivars. *Agricultural Research*, 9(1), 35–45. <https://doi.org/10.1007/S40003-019-00409-7/METRICS>
- Meijer, G. W., Lähteenmäki, L., Stadler, R. H., & Weiss, J. (2021). Issues surrounding consumer trust and acceptance of existing and emerging food processing technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 97–115. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1718597>
- Meng, L., Shi, C., Wen, T., Huang, L., Wang, Q., Hang, F., Xie, C., & Li, K. (2022). Acidity rectified aggregation behaviour of colloids in sugarcane juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(12), 7929–7941. <https://doi.org/10.1111/IJFS.16149>
- Menjura, O. A. M., Durán, J. R., Tauta-Muñoz, J. L., Martínez, D. H. F., Suárez, J. C. L., Latorre, D. A. G., Forero, L. E. P., Entrena, M. C., Gensini, L. R., Jiménez, J. C. C., Camargo, C. M., Gómez, M. M. R., Ordóñez, D. P. S., Rolón, A. M. P., Rivera, N. A., González, J. H. S., Díaz, R. E. V., Contreras, G. A. M., Castaneda, E. H. P., ... Cummings, A. R. (2024). Avances de investigación para la agroindustria panelera. *Editorial AGROSAVIA*. <https://doi.org/10.21930/AGROSAVIA.INVESTIGATION.7407501>
- Montalvan Tamariz, L. M. (2023). *Mejora en el proceso de envasado de panela granulada para incrementar la productividad en la Cooperativa Agraria Norandino Ltda Piura*

[Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].

<http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/8056>

Monzón, E. (2024). Potencialidades y limitaciones para agregar valor en la cadena productiva de la caña de azúcar en la Provincia de Cajabamba. *Universidad Nacional de Cajamarca*.
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6982>

Moreno, L., Medina, O., & Rojas, A. L. (2022). Mucilage and cellulosic derivatives as clarifiers for the improvement of the non-centrifugal sugar production process. *Food Chemistry*, 367, 130657. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130657>

Murjani, B. O., Suryavanshi, A. A., Dhembare, S. B., Patil, I. P., Patil, P. T., Sonawane, H. P., & Pandit, A. B. (2023). Approaches and Technologies for Preservation of Sugarcane juice: A Review. *Journal of Food Engineering and Technology*, 12(2), 35–47.
<https://doi.org/10.32732/JFET.2023.12.2.35>

Nandhu Lal M, ab A., Dharmalingam, B., Ishwarya, P. S., V, R. M., Sajeev S, ab M., Pandiselvam, R., & Kothakota, A. (2023). Non-centrifugal sugar (NCS) and health: A review on functional components and health benefits. *Mdpi.Com*.
<https://doi.org/10.1039/d2fb00032f>

Palma Delgado, E. D., & Rivera Sánchez, E. A. (2022). *Centro de acopio y procesamiento de caña de azúcar del cantón Junín*. <https://repositorio.ulead.edu.ec/handle/123456789/5045>

Panigrahi, C., Shaikh, A. E. Y., Bag, B. B., Mishra, H. N., & De, S. (2021). A technological review on processing of sugarcane juice: Spoilage, preservation, storage, and packaging aspects. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), e13706.
<https://doi.org/10.1111/JFPE.13706>

Paspuezán, A. (2024). Desarrollo del cultivo de caña de azúcar y producción de panela en el Territorio Shuar del Cantón Yacuambi, Provincia de Zamora Chinchipe. *Revista Científica*

- Multidisciplinar G-Nerando*, 5(2), ág. 1437-1456-ág. 1437 – 1456.
<https://doi.org/10.60100/RCMG.V5I2.207>
- Phillips, K. (2024). *What Is CIELAB Color Space?* . HunterLab.
<https://www.hunterlab.com/blog/what-is-cielab-color-space/>
- Pochteca Perú. (2022). *¿Qué son los floculantes?* . <https://peru.pochteca.net/que-son-los-floculantes/>
- Ram, B., Karuppaiyan, R., & Hemaprabha, G. (2022). Sugarcane Breeding. *Fundamentals of Field Crop Breeding*, 499–570. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9257-4_9
- Rao, G. S. C. (2020). Speciality Sugars: Kinds and Specifications. *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*, 101–114. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_7
- Rayappa, M. K. (2023). Palmyrah palm (*Borassus flabellifer*) non-centrifugal sugar - Current production practices as a natural sugar and a promising functional food/additive. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100829.
<https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100829>
- Rodríguez-Borray, G. A., Cruz-Castiblanco, G. N., Tauta-Muñoz, J. L., Huertas-Carranza, B., & Polo-Murcia, S. M. (2022). Rural agro-industrial enterprises diversity: typologies of panela production in Huila, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 47969–47969.
<https://doi.org/10.15517/AM.V33I2.47969>
- Rojas, D. (2019). Evaluación de la proporción de panela en la aceptabilidad sensorial de néctar a base de mango (*Mangufera indica* L.). *Universidad Nacional de Cajamarca*.
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3571>
- Salehi, F. (2020). Physicochemical characteristics and rheological behaviour of some fruit juices and their concentrates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5), 2472–2488. <https://doi.org/10.1007/S11694-020-00495-0/METRICS>

- Sarbatly, R., Sariau, J., & Krishnaiah, D. (2023). Recent Developments of Membrane Technology in the Clarification and Concentration of Fruit Juices. *Food Engineering Reviews*, 15(3), 420–437. <https://doi.org/10.1007/S12393-023-09346-2/TABLES/7>
- Serrano, J., Orozco, J. L., García, A., Dueñas, J., León, M. L., & Herrera, Z. (2023). Influence of imbibition temperature on the extraction stage of the cane sugar production. *Journal of Food Engineering*, 345, 111414. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2023.111414>
- Shanthi, R. M., Alarmelu, S., Mahadeva Swamy, H. K., & Lakshmi Pathy, T. (2022). Impact of Climate Change on Sucrose Synthesis in Sugarcane Varieties. *Agro-Industrial Perspectives on Sugarcane Production under Environmental Stress*, 13–38. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3955-6_2
- Shi, C., Xie, C., Zhang, Z., Rackemann, D., Wei, B., Hang, F., Lu, H., Li, K., & Doherty, W. O. S. (2021). Sugar and value-added products derived from retentate concentrate of sugarcane juice. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123915. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123915>
- Shrivastava, A. K., & Singh, P. (2020). Jaggery (Gur): The Ancient Indian Open-pan Non-centrifugal Sugar. *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*, 283–307. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_19
- Singh, B. P., Sinha, T., Sarkar, S., & Kumari, A. (2024). Prospects in Sugarcane Cultivation: An Overview. *Sugarcane Cultivation and Management*, 1–27. <https://doi.org/10.1201/9781003504122-1>
- Singh, S. P., Jawaid, M., Chandrasekar, M., Senthilkumar, K., Yadav, B., Saba, N., & Siengchin, S. (2021). Sugarcane wastes into commercial products: Processing methods, production optimization and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129453. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129453>

- Solís-Fuentes, J. A., Galán-Méndez, F., Hernández-Medel, M. del R., García-Gómez, R. S., Bernal-González, M., Mendoza-Pérez, S., & Durán-Domínguez-de-Bazúa, M. del C. (2019). Effectiveness of bagasse activated carbon in raw cane juice clarification. *Food Bioscience*, 32, 100437. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2019.100437>
- Srivastava, S. (2020). Diversification of Sugar and Sugarcane Industry: Agro-industrial Alternatives. *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*, 151–169. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_10
- Teixeira, V., Parra, S. C. M., Silva, A. F., Costa, G. H. G., de Freitas, L. A., de Freitas, C. M., & Mutton, M. J. R. (2023). Moringa seed extract with a potential similar flocculant activity to a synthetic polymer during sugarcane clarification. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(6), 5197–5203. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01694-5/METRICS>
- Trabanino, L. (2021). *Evaluación y caracterización fisicoquímica del contenido extractable de la fracción lipídica a partir de la cachaza de la producción de azúcar en dos ingenios, mediante el uso de tres solventes de distinta constante dieléctrica*. <https://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Tucanes, M. (2019). *Uso de gel de sábila (Aloe Vera) y nopal (Opuntia ficus-indica) como floculantes naturales para la clarificación de jugo de caña en la elaboración de panela*. <http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/878>
- Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Biriș, S. Ștefan. (2022). Sustainable Valorization of Waste and By-Products from Sugarcane Processing. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 11089, 14(17)*, 11089. <https://doi.org/10.3390/SU141711089>
- Vajihinejad, V., Gumfekar, S. P., Bazoubandi, B., Najafabadi, Z. R., Soares, J. B. P., Vajihinejad, V., Gumfekar, S. P., Bazoubandi, B., Rostami, Z., & Soares, N. B. P. (2019). Water Soluble Polymer Flocculants: Synthesis, Characterization, and Performance Assessment.

- Macromolecular Materials and Engineering*, 304(2), 1800526.
<https://doi.org/10.1002/MAME.201800526>
- Vargas, L. (2021). *Characterization of relevant properties of non-centrifugal sugar cane products obtained by new concentration technologies* [Universidad de los Andes].
<http://hdl.handle.net/1992/53021>
- Vargas Valencia, L., Carrión, M. H., & Rodríguez Cortina, J. (2021). *Characterization of relevant properties of non-centrifugal sugar cane products obtained by new concentration technologies*. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/53021>
- Vargas Valencia, L., Hernández-Carrión, M., Velasquez, F., Espitia, J., & Rodríguez Cortina, J. (2022). Functional and physicochemical properties of non-centrifugal cane sugar obtained by three concentration technologies. *LWT*, 168, 113897.
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113897>
- Velásquez Chicaiza, D. J. (2023). *Aplicación de metodologías alternativas para la clarificación del jugo de caña en la elaboración de panela granulada en la parroquia Palo Quemado del cantón Sigchos*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11090>
- Velásquez, F., Espitia, J., Hernandez, H., Mendieta, O., Escobar, S., & Rodríguez, J. (2021). Improving the thermal, productive, and environmental performance of a non-centrifugal cane sugar production module using a heat recovery system. *Journal of Food Engineering*, 308, 110688. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2021.110688>
- Velásquez, F., Espitia, J., Mendieta, O., Escobar, S., & Rodríguez, J. (2019). Non-centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products. *Journal of Food Engineering*, 255, 32–40.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2019.03.009>
- Venkatesh, T., Nandhu Lal, A. M., Silpa, V., Dharmalingam, B., Padma Ishwarya, S., Reshma, M. V., Sajeev, M. S., Pandiselvam, R., & Kothakota, A. (2023). Current production

- strategies and sustainable approaches towards the resurgence of non-centrifugal cane sugar production – a review. *Sustainable Food Technology*, 1(2), 200–214. <https://doi.org/10.1039/D2FB00032F>
- Vera-Gutiérrez, T., García-Muñoz, M. C., Otálvaro-Alvarez, A. M., & Mendieta-Menjura, O. (2019). Effect of processing technology and sugarcane varieties on the quality properties of unrefined non-centrifugal sugar. *Heliyon*, 5(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02667>
- Verma, K. K., Song, X. P., Zeng, Y., Li, D. M., Guo, D. J., Rajput, V. D., Chen, G. L., Barakhov, A., Minkina, T. M., & Li, Y. R. (2020). Characteristics of Leaf Stomata and Their Relationship with Photosynthesis in *Saccharum officinarum* under Drought and Silicon Application. *ACS Omega*, 5(37), 24145–24153. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.0C03820/ASSET/IMAGES/LARGE/AO0C03820_0006.JPEG
- Volverás-Mambuscay, B., González-Chavarro, C. F., Huertas, B., Kopp-Sanabria, E., & Ramírez-Durán, J. (2020). Effect of the organic and mineral fertilizer on the performance of sugarcane yield in Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 545–563. <https://doi.org/10.15517/AM.V31I3.37334>
- Wu, X., Feng, J., Zhou, F., Liu, C., & Chi, R. (2024). High sedimentation efficiency and enhanced rare earth recovery in the impurity removal process of rare earth leachate by flocculation system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112626. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.112626>
- Zegarra, R. (2025). *Análisis de la contribución de Procompite en la mejora de la competitividad productiva en la Región Piura. Caso cadena productiva de panela granulada orgánica en el distrito de Montero, provincia de Ayabaca, 2014 – 2016*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/29721>

- Zeomedia. (2023). *Floculantes en el tratamiento de aguas residuales*
<https://zeomediafilter.com/es/el-rol-de-los-floculantes-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Zhao, C., Zhou, J., Yan, Y., Yang, L., Xing, G., Li, H., Wu, P., Wang, M., & Zheng, H. (2021). Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. *Science of The Total Environment*, 765, 142795. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.142795>
- Zidan, D., & Azlan, A. (2022). Non-Centrifugal Sugar (NCS) and Health: A Review on Functional Components and Health Benefits. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 460, 12(1), 460. <https://doi.org/10.3390/APP12010460>
- Velásquez-Barreto, F. F., Barraza-Jaureguí, G., & Da Silva Peña, R. (2026). Almidones de tubérculos y raíces: propiedades moleculares y fisicoquímicas. <https://doi.org/10.1002/star.70181>

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de Consistencia

Tabla 11.

Cuadro de Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	DISEÑO METODOLOGICO Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO
Problema General: ¿Cuál es el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en la calidad y rendimiento de la panela granulada producida por la marca Grodina?	Objetivo General: Evaluar el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en la calidad y rendimiento de la panela granulada producida por la marca Grodina.	Hipótesis General: H0: El tipo de floculante y la temperatura de clarificación no afectan significativamente la calidad ni el rendimiento de la panela granulada. H1: El tipo de floculante y la temperatura de clarificación afectan significativamente la calidad y el rendimiento de la panela granulada.	Independientes: A: Tipo de floculante Niveles: - Extracto acuoso de ajo - Mucílago de cacao - Mucílago de Balso <i>Concentración constante de 2% en función a 2 litros de jugo de caña por unidad experimental.</i> B: Temperatura de clarificación Niveles: 60 °C 70 °C	Color: L^*, a^*, b^* Índice de blancura $WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$ Sólidos insolubles: % de sólidos Rendimiento: % de panela obtenida	- Colorímetro - Balanza analítica - Centrífuga - Estufa - Cocina eléctrica magnética	Enfoque: Cuantitativo Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo Diseño: Experimental Diseño específico: Factorial 3×3 completamente al azar 9 tratamientos 3 repeticiones 27 unidades experimentales Modelo: $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$ - Shapiro-Wilk - Levene - ANOVA factorial 3×3 - Efectos principales - Interacción A×B - Tukey HSD

			80 °C Dependientes: VD1: Parámetros de Color L*, a*, b* VD2: Índice de blancura VD3: % Sólidos insolubles VD4: % Rendimiento			η^2 parcial - Coficiente de variación $\alpha = 0.05$ Análisis para cada variable dependiente.
Problema Específico 1: ¿Cómo influye el tipo de floculante y la temperatura de clarificación en los parámetros de color (L*, a*, b*) de la panela granulada?	Objetivo Específico 1: Analizar el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en los parámetros de color (L*, a*, b*) de la panela granulada.		Dependientes: VD1: Color L*, a*, b* Interpretación por cada parámetro de color.	L*: a*: b*: Luminosidad rojo-verde amarillo-azul	Colorímetro, software de análisis de color	ANOVA factorial 2x3 para L*, a*, b* por separado. Tukey post-hoc para identificar diferencias significativas entre niveles de floculante y temperatura.
Problema Específico 2: ¿Cómo influye el tipo de floculante y la temperatura de clarificación en el Índice de blancura de la panela granulada?	Objetivo Específico 2: Analizar el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en el índice de blancura de la panela granulada.		Dependientes: VD2: Índice de blancura	$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$	Cálculo matemático	
Problema Específico 3:	Objetivo Específico 3: Analizar el		Dependientes: VD3: Sólidos insolubles	% de sólidos insolubles presentes en la muestra	Probeta, balanza, filtro y horno	ANOVA factorial 2x3 para % de sólidos insolubles. Tukey post-

¿Cómo influye el tipo de floculante y la temperatura de clarificación en los sólidos insolubles de la panela granulada?	efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en la presencia de sólidos insolubles de la panela granulada.					hoc para comparaciones entre niveles de tratamiento.
Problema Específico 4: ¿Cómo influye el tipo de floculante y la temperatura de clarificación en el rendimiento de la panela granulada?	Objetivo Específico 4: Analizar el efecto del tipo de floculante y la temperatura de clarificación en el rendimiento de la panela granulada.		Dependiente: VD4: Rendimiento	% de panela granulada obtenida respecto al jugo inicial	Balanza, registro de producción	ANOVA factorial 2x3 para % de rendimiento. Tukey post-hoc para comparar diferencias significativas entre tratamientos.

Anexo 02. Panel fotográfico.



Obtención del jugo de caña utilizado en el experimento (2000 ml por experimento)



Etapas de clarificación del jugo de caña con los floclantes evaluados a diferentes temperaturas



Mecanismo de la floculación y formación de cachaza (clarificación)



Cachaza extraída después de la clarificación



Evaporación y concentración del jugo de caña clarificado



Inicio de cristalización de la sacarosa (sobresaturación)



Batido de masa concentrada (producto final)



Unidades experimentales (codificados)

Tipo de Floculante	Temperatura de Clarificación			
	Control	60° C	70 °C	80 °C
Control				
Extracto acuoso de ajo				
Mucílago de cacao				
Mucílago de balso				

Panela granulada a diferentes tratamientos + control



Determinación de parámetros de color (L^* , a^* , b^*) mediante colorímetro.



Determinación de sólidos insolubles – centrifugación – sedimento húmedo



Filtración de sedimento húmedo



Secado de sedimento húmedo en estufa a 105 °C/3 h



Determinación de rendimiento de panela granulada



Registro de datos para análisis estadístico.

Anexo 03. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo lineal general para las variables evaluadas.

- **Modelo lineal general: L* vs. Tipo de Floculante; Temperatura de Clarificación**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Floculante	2	467,53	233,766	157,17	0,000
Temperatura de Clarificación	2	270,21	135,105	90,84	0,000
Tipo de Floculante*Temperatura de Clarificación	4	96,94	24,234	16,29	0,000
Error	18	26,77	1,487		
Total	26	861,45			

- **Modelo lineal general: a* vs. Tipo de Floculante; Temperatura de Clarificación**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Floculante	2	101,189	50,5947	333,40	0,000
Temperatura de Clarificación	2	29,477	14,7383	97,12	0,000
Tipo de Floculante*Temperatura de Clarificación	4	21,928	5,4820	36,12	0,000
Error	18	2,732	0,1518		
Total	26	155,326			

- **Modelo lineal general: b* vs. Tipo de Floculante; Temperatura de Clarificación**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Floculante	2	60,623	30,3115	7,48	0,004
Temperatura de Clarificación	2	0,501	0,2504	0,06	0,940
Tipo de Floculante*Temperatura de Clarificación	4	99,439	24,8598	6,14	0,003
Error	18	72,908	4,0505		
Total	26	233,471			

- **Modelo lineal general: Índice de Blancura vs. Tipo de Floculante; Temperatura de Clarificación**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Floculante	2	323,37	161,683	78,62	0,000
Temperatura de Clarificación	2	215,73	107,863	52,45	0,000
Tipo de Floculante*Temperatura de Clarificación	4	40,75	10,188	4,95	0,007
Error	18	37,02	2. ,56		
Total	26	616,86			

- **Modelo lineal general: Sólidos Insolubles (%) vs. Tipo de Floculante; Temperatura de Clarificación**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Floculante	2	0,020369	0,010185	157,42	0,000
Temperatura de Clarificación	2	0,014164	0,007082	109,47	0,000
Tipo de Floculante*Temperatura de Clarificación	4	0,000272	0,000068	1,05	0,408
Error	18	0,001165	0,000065		
Total	26	0,035971			

- **Modelo lineal general: Rendimiento (%) vs. Tipo de Floculante; Temperatura de Clarificación**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Floculante	2	0,50940	0,25470	57,76	0,000
Temperatura de Clarificación	2	4,66344	2,33172	528,76	0,000
Tipo de Floculante*Temperatura de Clarificación	4	1,20223	0,30056	68,16	0,000
Error	18	0,07938	0,00441		
Total	26	6,45445			