UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Almidones de *Solanum tuberosum, Ipomoea batatas y Manihot esculenta* y sus propiedades antiaglutinantes en la sacarosa impalpable

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora:

Bach. Vega Francisco, Rosmery Meldy

Código ORCID: 0000-0002-6420-3347

Asesor:

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino

DNI: 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Nuevo Chimbote – Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo, Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino, mediante la presente doy conformidad de mi asesoramiento de la tesis titulada: **"Almidones de *Solanum tuberosum, Ipomoea batatas y Manihot esculenta* y sus propiedades antiaglutinantes en la sacarosa impalpable"**, ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo a la denominación siguiente:

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Bach. Vega Francisco, Rosmery Meldy

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino

DNI: 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Escaneado con CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

HOJA AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulada: **"Almidones de *Solanum tuberosum, Ipomoea batatas y Manihot esculenta* y sus propiedades antiaglutinantes en la sacarosa impalpable"**, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por el bachiller: Vega Francisco, Rosmery Meldy que tiene como asesor al Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino.

Ha sido revisado y aprobado por el jurado evaluador:

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Presidente
DNI N°: 19096335
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Secretario
DNI N°: 18146173
Código ORCID: 0000-0003-4326-1852

Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda
Integrante
DNI: 32975182
Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Escaneado con CamScanner

UNS
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las once horas y treinta minutos del día treinta de octubre del año dos mil veintiséis, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso; el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 312-2026-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Elza Berta Aguirre Vargas** ..... **Presidente**
- **Dr. Daniel Sánchez Vaca**..... **Secretario**
- **Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda** ..... **Integrante**

para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis titulado: **"ALMIDONES DE *Solanum tuberosum, Ipomoea batatas y Manihot esculenta* Y SUS PROPIEDADES ANTIAGLUTINANTES EN LA SACAROSA IMPALPABLE"**, elaborado por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial:

VEGA FRANCISCO ROSMERY MELDY

Asimismo, tiene como Asesor al docente: **Dr. Jorge Marino Dominguez Castañeda**

Finalizada la sustentación, la Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador. Acto seguido el Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 107° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

NOMBRES Y APELLIDOS	NOTA VIGESIMAL	CONDICIÓN
VEGA FRANCISCO ROSMERY MELDY	18	BUENO

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 30 de octubre del 2026

Dr. Elza Berta Aguirre Vargas
Presidente

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Secretario

Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda
Integrante

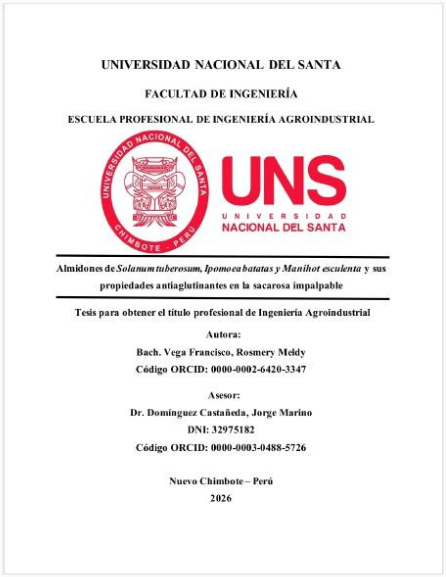
CS Escaneado con CamScanner

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	user user
Título del ejercicio:	Almidones de Solanum tuberosum, Ipomoea batatas y Manih...
Título de la entrega:	FINAL TESIS - ROSMERY VEGA FRANCISCO.pdf
Nombre del archivo:	FINAL_TESIS_-_ROSMERY_VEGA_FRANCISCO.pdf
Tamaño del archivo:	1.77M
Total páginas:	102
Total de palabras:	17,712
Total de caracteres:	105,242
Fecha de entrega:	03-nov-2026 09:29a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	3078985780



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Almidones de *Solanum tuberosum*, *Ipomoea batatas* y *Manihot esculenta* y sus propiedades antiaglutinantes en la sacarosa impalpable

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Agroindustrial

Autora:

Bach. Vega Francisco, Rosmery Meldy

Código ORCID: 0000-0002-6420-3347

Asesor:

Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino

DNI: 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726

Nuevo Chimbote – Perú

2026

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

FINAL TESIS - ROSMERY VEGA FRANCISCO.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	16%	7%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	core.ac.uk Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1%
8	orcid.org Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad del Valle de Guatemala Trabajo del estudiante	<1%
11	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	laccei.org Fuente de Internet	<1%
13	patents.google.com Fuente de Internet	<1%
14	Submitted to Universidad de Los Llanos,UNILLANOS Trabajo del estudiante	<1%
15	biotecnia.unison.mx Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por haberme acompañado y dado las fuerzas para poder cumplir mis metas y siempre estar guiando mi camino hacia un futuro mejor.

A mi madre Luzmila Francisco Herrada por sus consejos y valentía, por enseñarme a no rendirme y estar siempre presente en mi vida a pesar de la distancia, de hacer posible este momento en mi vida, por dar el primer paso en esta carrera profesional.

A mis hermanas Tatiana y Mistrely por estar siempre apoyándome en cada decisión que he tomado, por sus oraciones, por enseñarme a nunca rendirme a pesar de los obstáculos.

AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios, por haber permitido llegar a este momento, agradecer a mi madre y a mis hermanas por sus oraciones y estar siempre presente. Agradecer a mi asesor por el apoyo brindado, por la paciencia y orientación.

Mi gratitud con la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa y a todos los docentes, por transmitir sus conocimientos y experiencias para crecer de manera profesional y poder desarrollarme de manera excepcional.

Asimismo, agradecer a los excelentes profesionales que son parte del Instituto de Investigación Tecnológica de Agroindustria (IITA), planta Piloto Agroindustrial (PPA) y laboratorios de la UNS por haber contribuido y el apoyo brindado en esta investigación realizada.

INDICE GENERAL

RESUMEN ..... **XVI**

ABSTRACT ..... **XVII**

I. INTRODUCCIÓN **18**

II. MARCO TEÓRICO **21**

2.1. ANTECEDENTES 21

2.2. MARCO CONCEPTUAL 22

2.2.1. Sacarosa impalpable *22*

2.2.2. Almidón *24*

2.2.3. Fenómeno de apelmazamiento en los alimentos en polvo *27*

2.2.4. Agentes antiaglutinantes y/o antiapelmazantes *31*

2.2.5. Propiedades de flujo importantes para predecir el apelmazamiento. *33*

2.2.6. Isoterma de sorción de agua *36*

2.2.7. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) *40*

III. METODOLOGÍA DE ESTUDIO **41**

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN 41

3.2. ESTRATEGIA DEL ESTUDIO 41

3.2.1. Tipo de investigación *41*

3.2.2. Diseño experimental *41*

IV. MATERIALES Y MÉTODOS **43**

4.1. LUGAR DE EJECUCIÓN 43

4.2. MATERIALES Y EQUIPOS 43

4.2.1. Materia prima *43*

4.2.2. Equipos *43*

4.2.3. Reactivos *44*

4.2.4. Materiales de vidrio y otros *44*

4.3. MÉTODO DE ANÁLISIS 45

4.3.1. Caracterización de la materia prima *45*

4.3.2. Caracterización de la sacarosa impalpable *46*

4.3.3. Determinar la formulación con mejores propiedades de flujo *49*

4.3.4. Isoterma de sorción de agua de la sacarosa impalpable *49*

4.1. OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN 52

4.1.1. Almidón de papa *52*

4.1.2. Almidón de camote *55*

4.1.3. Almidón de yuca *58*

4.2. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA SACAROSA IMPALPABLE 61

4.3. DISEÑO EXPERIMENTAL 63

V. DISEÑO ESTADÍSTICO 65

5.1. MODELO ESTADÍSTICO 65

5.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO 65

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES 66

6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA 66

6.1.1. Rendimiento de los almidones *66*

6.1.2. Determinación de la humedad de los almidones *67*

6.1.3. Análisis granulométrico de los almidones *68*

6.1.4. Color de los almidones 69

6.2. CARACTERIZACIÓN DE LA SACAROSA IMPALPABLE 70

6.2.5. Determinación de humedad y color de la sacarosa impalpable 70

6.2.6. Análisis granulométrico de la sacarosa impalpable 75

6.2.7. Determinación de la densidad vertida y compactada de la sacarosa impalpable 78

6.2.8. Determinación del índice Hausner y el índice de Carr de la sacarosa impalpable 81

6.2.9. Determinación del ángulo de reposo 84

6.3. DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN CON MEJORES PROPIEDADES DE FLUJO 87

6.3.1. Isoterma de sorción de agua de la sacarosa impalpable 88

6.3.2. Micrografía electrónica de barrido 93

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 95

7.1. CONCLUSIONES 95

7.2. RECOMENDACIONES 96

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 97

ANEXOS 102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Característica de los almidones de las diferentes fuentes botánicas 24

Tabla 2. Características fisicoquímicas del almidón de papa. 25

Tabla 3. Agentes antiaglutinante y su aplicación en la industria alimentaria 31

Tabla 4. Interpretación de índice de Carr e índice de Hausner 35

Tabla 5. Ecuaciones de isotermas para el ajuste de datos experimentales.....39

Tabla 6. Ecuaciones para obtener la actividad de agua o humedad relativa de las sales 50

Tabla 7. Preparación de sales saturadas 50

Tabla 8. Codificación de las muestras de acuerdo a la formulación. 62

Tabla 9. Simulación de las formulaciones 63

Tabla 10. Matriz de diseño experimental.....64

Tabla 11. Balance de extracción de los almidones 66

Tabla 12. Resutlado de humedad de los diferentes tipos de almidón 67

Tabla 13. Análisis granulométrico de los almidones 68

Tabla 14. Resultado del color de los almidones (L*, a* y b*).....69

Tabla 15. Resultados de humedad y color de la sacarosa impalpable 70

Tabla 16. Análisis granulométrico de la sacarosa impalpable – % que pasa por la malla...75

Tabla 17. Resultados de la densidad vertida y compactada de la sacarosa impalpable 79

Tabla 18. Resultados de la Razón de Hausner (IH) y el índice de Carr (IC) 81

Tabla 19. Ángulo de reposo de la sacarosa impalpable 85

Tabla 20. Factores establecidos óptimos de la formulación 88

Tabla 21. Contenido de humedad de equilibrio de la sacarosa impalpable 88

Tabla 22. Parámetros de GAB estimado para la sacarosa impalpable (T3P) 91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura molecular de la sacarosa 23

Figura 2. Morfología del almidón de la papa.....26

Figura 3. Morfología del almidón del camote 26

Figura 4. Mecanismos de apelmazamiento.....29

Figura 5. Etapas de proceso de formación de apelmazamient.....30

Figura 6. Isoterma de adsorción y desorción 37

Figura 7. Tipos de isoterma de adsorción de van de Waals.....38

Figura 8. Diagrama del diseño experimental 42

Figura 9. Gráfico para identificar el ángulo de reposo 49

Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de papa.....52

Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de camote.....55

Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de yuca.....58

Figura 13. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la sacarosa impalpable 61

Figura 14. Esquema del diseño experimental 63

Figura 15. Gráfica de interacción de humedad (%).....72

Figura 16. Diagrama de Pareto del color 74

Figura 17. Gráfico de media del color de cada uno de los niveles de tipo de almidón 74

Figura 18. Curva granulométrica de la sacarosa impalpable 77

Figura 19. Gráfica de comparación de la densidad vertida, compactada y su diferencia (g/ml) 80

Figura 20. Comparación de los índices de Carr (IC) y Hausner (IH) según el tipo y concentración de almidón 82

Figura 21. Grafica de interacción para el ángulo de reposo 87

Figura 22. Isoterma de sorción de la sacarosa impalpable elaborado con almidón de papa al 2%, con los datos experimentales 90

Figura 23. Isoterma de sorción de la sacarosa impalpable elaborado con almidón de papa al 2%. 92

Figura 24. Morfología superficial de la sacarosa impalpable 94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza de la humedad (%) de la sacarosa impalpable elaborado con tres tipos de almidones a diferentes concentraciones (2, 2.5 y 3%).....102

Anexo 2. Análisis de efectos de los factores sobre la humedad %. 102

Anexo 3. Análisis de varianza del color de la sacarosa impalpable elaborado con tres tipos de almidones a diferentes concentraciones (2, 2.5 y 3%). 103

Anexo 4. Análisis de varianza de la densidad vertida de la sacarosa impalpable elaborado con tres tipos de almidones a diferentes concentraciones (2, 2.5 y 3%). 103

Anexo 5. Análisis de varianza de la densidad compacta de la sacarosa impalpable.....104

Anexo 6. Análisis de varianza de la razón de Hausner de la sacarosa impalpable. 104

Anexo 7. Análisis de varianza del índice de Carr % de la sacarosa impalpable. 105

Anexo 8. Análisis de varianza del ángulo de reposo de la sacarosa impalpable. 105

Anexo 9. Evidencias de la **e**xtracción del almidón de papa, camote y yuca 106

Anexo 10. Evidencias de la caracterización del almidón y de la sacarosa impalpable.....107

RESUMEN

El presente trabajo evaluó el efecto antiaglutinante de los almidones de papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batatas*) y yuca (*Manihot esculenta*) a diferentes concentraciones sobre las propiedades de flujo de la sacarosa impalpable para evitar el apelmazamiento. La investigación fue aplicada y experimental. Inicialmente, se caracterizaron los almidones de papa, camote y yuca obteniendo rendimientos de 5.54%, 9.28% y 15.74%; humedades de 11.56%, 12.52% y 12.15%; tamaños de partícula menores a 90 μm de 86.22%, 82.29% y 23.27%; y luminosidad (*L*) de 85.20, 92.46 y 93.64, respectivamente. Posteriormente, se elaboró sacarosa impalpable empleando azúcar blanca comercial y concentraciones de almidón al 2%, 2.5% y 3%, obteniendo nueve formulaciones evaluadas mediante humedad, análisis granulométrico, densidad y fluidez (índices de Hausner, Carr y ángulo de reposo). La humedad de la sacarosa impalpable disminuyó al incrementar la concentración de almidón (0.07% a 0.34%), los índices de Hausner (1.12 a 1.18) y Carr (10.81 a 15.11) demostrando buena fluidez. Los datos se analizaron mediante ANOVA y se optimizaron con un índice de deseabilidad de 81.95% para la formulación T3P. En este óptimo, la isoterma de sorción determinó una humedad de monocapa de 0.0426 g/g b.s. y una a_w crítica de 0.77. Finalmente, la micrografía electrónica de barrido confirmó la adherencia del almidón en la superficie de la sacarosa impalpable actuando como barrera protectora contra la humedad.

Palabra clave: Almidón, antiaglutinante, apelmazamiento, fluidez del polvo, sacarosa impalpable.

ABSTRACT

This research work evaluated the anticaking effect of potato (*Solanum tuberosum*), sweet potato (*Ipomoea batatas*), and cassava (*Manihot esculenta*) starches at different concentrations on the flow properties of icing sugar to prevent caking. The study was applied and experimental. Initially, the starches were characterized, yielding yields of 5.54%, 9.28%, and 15.74%; moisture contents of 11.56%, 12.52%, and 12.15%; particle sizes smaller than 90 μm of 86.22%, 82.29%, and 23.27%; and lightness (*L*) values of 85.20, 92.46, and 93.64, respectively. Subsequently, icing sugar was prepared using commercial white sugar and starch concentrations of 2%, 2.5%, and 3%, yielding nine formulations evaluated through moisture content, particle size analysis, density, and flowability (Hausner ratio, Carr index, and angle of repose). Icing sugar moisture decreased as starch concentration increased (0.07% to 0.34%), with the Hausner ratio (1.12 to 1.18) and Carr index (10.81 to 15.11) demonstrating good flowability. Data were analyzed using ANOVA and optimized with a desirability index of 81.95% for formulation T3P. At this optimum, the sorption isotherm determined a monolayer moisture content of 0.0426 g/g db. and a critical a_p of 0.77. Finally, scanning electron microscopy confirmed starch adherence on the icing sugar surface, acting as a protective barrier against moisture.

Keywords: anticaking, caking, icing sugar, starch, powder flowability.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda por consumir alimentos en polvo se ha visto impulsado por varios factores en los últimos años, debido a que son fáciles de almacenar, transportar y preparar. En el caso de la industria del azúcar en polvo también ha mostrado una tendencia creciente, especialmente en la panadería, repostería, confitería y la fabricación de alimentos procesados como los productos lácteos y las bebidas. Asimismo, por sus propiedades funcionales, el azúcar impalpable también es ampliamente empleado en la industria farmacéutica se estima que crecerá de $ 6,310 millones en el 2025 a $ 6,610 millones en el 2026 (The Business Research Company, 2026). A pesar de ser el componente principal de diversos productos alimenticios, se enfrenta a uno de los problemas principales que es la tendencia de formar grumos, fenómeno denominado apelmazamiento. Este se presenta durante la manipulación y el procesamiento de polvos; teniendo como consecuencia que el alimento en polvo pierda su fluidez, volviéndose una masa cohesiva, disminuyendo la calidad del producto original; generando un impacto negativo en la economía de las empresas dedicadas a este rubro, debido a que se requiere un proceso adicional de pulverizar para romper las estructuras aglomeradas en los polvos incrementando su costo de producción (Farshchi et al., 2024).

De acuerdo con Farshchi et al. (2024) el apelmazamiento se debe a dos factores: extrínsecos ligados a las condiciones ambientales de almacenamiento como la humedad relativa, temperatura y la presión; e intrínsecos, asociados directamente a las propiedades fisicoquímicas del alimento, tales como la composición de la superficie y el tamaño de partícula. El análisis de estos parámetros permite predecir el comportamiento del apelmazamiento y aportando información crítica sobre la estabilidad de los sistemas en polvo durante su almacenamiento.

Los materiales cristalinos como el azúcar se caracterizan por su naturaleza higroscópica que favorecen la aglomeración, es por ello se requiere el uso de agentes antiaglomerantes o antiapelmazante para prevenir el apelmazamiento, asegurando así la fluidez del producto y la estabilidad. Los agentes antiaglomerantes son empleados en diferentes productos como la sal de mesa, levadura en polvo, azúcar impalpable, leche en polvo, entre otros. Actualmente los agentes comúnmente utilizados son productos químicos como los derivados del silicio, los estearatos de calcio y de magnesio, el fosfato tricálcico y el almidón (Barbosa, 2021). Diversas investigaciones han evaluado la incorporación de aditivos alimentarios para regular la estabilidad del producto mediante la adición de agentes antiaglomerantes como el fosfato tricálcico en los azúcares en polvo de coco obtenido por diferentes métodos convencional y secado al vacío (Nurhadi et al. 2020) y el extracto de propóleo en el azúcar (Irigoiti et al., 2021).

La demanda de consumir alimentos libres de cualquier químico o aditivo ha ido en aumento en estos últimos tiempos, impulsada por la incertidumbre y la limitada información respecto a la toxicidad a largo plazo de ciertos agentes químicos, ha generado desconfianza entre los consumidores, incentivando a la búsqueda de alternativas de alimentos naturales que garanticen la seguridad alimentaria. En la producción de la sacarosa impalpable el aditivo empleado es el almidón de maíz para evitar el apelmazamiento (Nurhadi et al. 2020). No obstante, la presente investigación busca una alternativa novedosa empleando otros tipos de almidones como el almidón de papa (*Solanum tuberosum*), almidón de camote (*Ipomoea batatas)* y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) orientada a optimizar las propiedades de la sacarosa impalpable, valorizando los almidones nativos.

Considerando la importancia de la sacarosa en diversas cadenas de procesamiento, el desarrollo de esta investigación busca potenciar la eficiencia de la producción de la sacarosa impalpable

para satisfacer la demanda del mercado de manera óptima, beneficiando directamente a las empresas dedicadas a este rubro. A nivel industrial, la evaluación de almidones nativos alternativos representa una ventaja competitiva estratégica, aunque el almidón de maíz es el estándar comercial actual, la industria nacional presenta una alta dependencia de la importación de este grano, lo que expone los costos operativos de manufactura a la volatilidad de los precios internacionales y fletes marítimos. Asimismo, a nivel social, esta propuesta genera un valor compartido que beneficia directamente a los productores agrícolas locales de tubérculos y raíces, dinamizando su comercialización e integrándolos de manera eficiente en la cadena de suministro agroindustrial.

La investigación tiene como objetivo evaluar el efecto antiaglutinante de los almidones de papa (*Solanum tuberosum*), camote (*Ipomoea batatas*) y yuca (*Manihot esculenta*) a diferentes concentraciones en las propiedades de flujo de sacarosa impalpable. Para ello se determinó el rendimiento cuantitativo de la extracción de los almidones, seguido de la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de humedad, tamaño de partícula y color tanto de los almidones como de la sacarosa impalpable. Posteriormente, se evaluó las propiedades de flujo de la sacarosa impalpable en función de las distintas concentraciones de aditivo incorporadas, estableciendo la isoterma de sorción de agua de la formulación optimizada. Para ello se planteó la hipótesis, al aumentar la concentración de los almidones de papa, camote y yuca (2.0 %, 2.5 % y 3.0 %) se mejorará las propiedades de flujo de la sacarosa impalpable.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Farshchi et al. (2024) en artículo titulado **“**The effect of surface chemistry on the caking behaviour of sucrose crystals” evaluaron el impacto de la química superficial y la aglomeración de los cristales de sacarosa con diferentes niveles de impurezas a diversas condiciones ambientales. En su metodología analizaron relación entre el sólido y el agua mediante isotermas de sorción dinámica de vapor y técnicas de microscopía electrónica de barrido, determinando el comportamiento de flujo y los puntos críticos de apelmazamiento del azúcar. Los resultados demostraron que las impurezas superficiales aumentan la higroscopicidad, conllevando a ser más propenso a apelmazarse Ante esto, concluyeron que regular la formulación superficial de los polvos cristalinos resulta indispensable para preservar su fluidez e integridad física frente a las fluctuaciones ambientales de almacenamiento.

Por su parte Nurhadi et al. (2020) en su artículo titulado “Physical characteristics of cmorphous and crystalline coconut sugar powder with the addition of Tricalcium Phosphate (TCP) as an anticaking agent” compararon las propiedades de los azúcares en polvo de coco obtenido por diferentes métodos (convencional y secado al vacío) incorporando fosfato tricálcico en concentraciones de 0.0 %, 0.5 % y 1.0 % como agente antiaglomerante. Para lo cual realizaron análisis de isoterma de absorción de agua, análisis de tamaño de partículas, microscopía de electrónica de barrido, higroscopicidad, ángulo de reposo y análisis de color. Concluyendo que la adición de este antiaglomerante fosfato tricálcico reduce la absorción del agua e inhibe de manera significativa el apelmazamiento, debido a que su tamaño de partícula que es menor al del azúcar, recubriendo los espacios de superficiales y reducen la captación del agua libre; asimismo, determinaron que dicho efecto protector fue sustancialmente más evidente en las

matrices de estructura cristalina.

En paralelo Irigoiti et al. (2021) en su artículo titulada “Co-crystallized sucrose with propolis extract as a food ingredient: Powder characterization and antioxidant stability” evaluaron las características fisicoquímicas del polvo de propóleo obtenido por cristalización en una matriz de sacarosa y sus propiedades antioxidantes durante el almacenamiento, para ello emplearon diferentes concentraciones del extracto de propóleo en el azúcar. Realizaron el análisis del color, la humedad por método secado, la solubilidad, las propiedades de fluidez y las propiedades antioxidantes. Concluyendo que todas las muestras mostraron buenas características fisicoquímicas especialmente las que contenían un nivel más alto de propóleo ya que mostraron una baja solubilidad, para las propiedades de fluidez la muestra que contenía menos propóleo tuvo una buena fluidez. Concluyendo que los polvos de propóleo cocristalizados se pueden emplear como ingredientes alimentarios debido a las buenas propiedades fisicoquímicas y tecnológicas que presentaron.

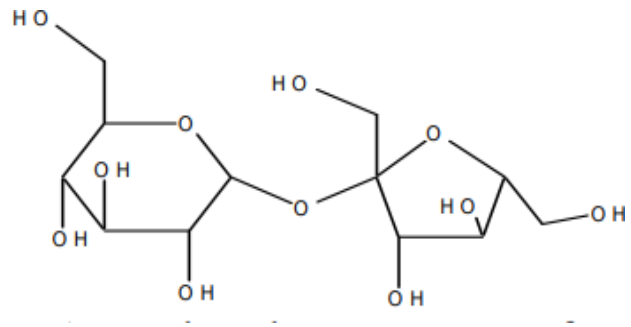
2.2. Marco conceptual

2.2.1. Sacarosa impalpable

De acuerdo Farshchi et al. (2024) la sacarosa tiene una extensa aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica debido a que aporta atributos sensoriales deseables y propiedades funcionales a los productos. Químicamente, es un disacárido con fórmula química $C_{12}H_{22}O_{11}$, cuya estructura molecular está conformada por glucosa y fructosa unidas mediante un enlace glucosídico; físicamente, se presenta como un cristal transparente.

Figura 1

Estructura molecular de la sacarosa



Nota. Farshchi et al. (2024)

Según el Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2024) describe al azúcar como producto obtenido del jugo de la caña de azúcar, remolacha y otros vegetales que contengan sacarosa, mediante proceso de centrifugación, siendo un hidrato de carbono en su estado puro denominado sacarosa. Se pueden clasificar según su presentación: en azúcar granulado (0.2 mm a 0.8 mm), moldeado, pulverizado y líquido.

De acuerdo al Comisión del Codex Alimentarius (2022) el azúcar en polvo o también llamado azúcar glacé es el azúcar que se obtiene al pulverizar o triturar azúcar blanca con o sin adición de agentes antiaglutinantes, donde puede tener añadidos de hasta un 5% de almidón como antiaglutinante, es un polvo muy fino, color blanco, olor inodoro y sabor dulce.

La sacarosa tiene diferentes tamaños de partículas y su uso va depende estrictamente del producto final deseado. En la industria, la sacarosa granulada tiene un tamaño promedio de 450 µm, siendo la más utilizado para elaborar sacarosa pulverizada cuyo tamaño de partículas son menores a 12 µm, con una humedad de 0.38% en base húmeda. El tamaño de partícula incluye de manera directa en el flujo de la sacarosa, es por ello que mientras más pequeños sea el tamaño de partícula mayor será la resistencia al flujo debido al incremento del área

superficial (McGuire et al., 2022). La sacarosa impalpable es un polvo muy fino, color blanco, olor inodoro y sabor dulce que se obtiene al pulverizar o triturar azúcar blanca natural hasta obtener un tamaño de partícula de 95% mínimo bajo malla N° 100 (0.15 mm de luz) (IANSA, 2017).

2.2.2. Almidón

Según Apriyanto et al. (2022) el almidón es un carbohidrato de gran uso industrial alimentario y no alimentario, es el polisacárido más abundante e importante, está presente en los cereales, tubérculo y en algunas frutas como reserva energética, se clasifican en dos grupos como los nativos que extrae de la materia prima de origen vegetal que conserva su estructura natural y el modificado que se obtiene por vía física, química y/o enzimática para cambiar sus propiedades. También este autor menciona que el almidón es un polisacárido compuesto por amilosa y amilopectina que varía su proporcionalidad de acuerdo a su fuente botánica. En la tabla 1 se aprecia las características del almidón su fuente botánica.

Tabla 1

Característica de los almidones de las diferentes fuentes botánicas

Especie	**Forma**	**Tamaño del gránulo (µm)**
Papa (*Solanum tuberosum*)	Ovalada, esférica	10 – 75
Yuca (*Manihot esculenta*)	Redonda, irregular	5 – 40
Maíz (*Zea mays*)	Redonda, poligonal	5 – 20

Nota. Apriyanto et al. (2022); Ochoa et al., (2021)

Según Gonzáles (2020) el almidón en el maíz está presente en un 86 % a 89 % en el endospermo del maíz, presenta una estructura granular, geométricamente casi esférica, de 5 µm a 30 µm de diámetro. Presenta una característica polvosa, blanca fina con sabor y olor

neutro, conformándose de alrededor de 0,25 % de proteína, menos de 0,1 % de minerales y 0,65 % de grasa, con un valor energético de 350 kcal con hidratos de carbono de 87.5 %.

De acuerdo Neeraj et al., (2022) menciona que la papa es un tubérculo muy consumido a nivel mundial, siendo el cultivo más importante para la obtención del almidón, tiene diversas aplicaciones en la industria alimentaria como antiaglutinante, estabilizador, agente gelificante, espesante y como sustituto de las grasas en los alimentos, también se emplea en la industria farmacéutica y en formulaciones de bioplásticos; también este autor menciona que la humedad del almidón de papa está en un rango de 11.70 a 12.60%, el cual depende del método empleado para la extracción, el grado de secado y la variedad de la papa.

Tabla 2

Características fisicoquímicas del almidón de papa

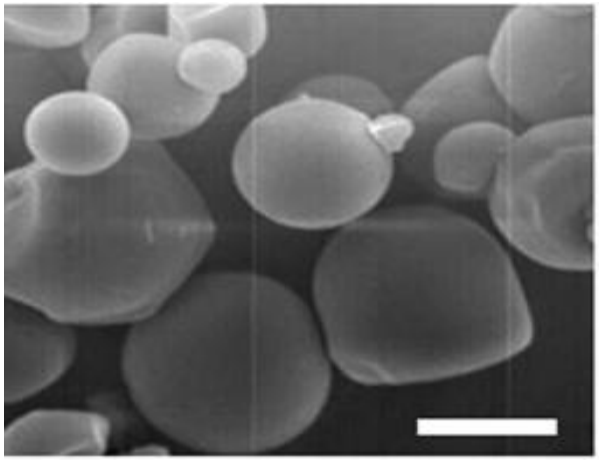
Parámetro	**Cantidad (%)**
Humedad	12.67
Cenizas	0.85
Grasa	0.12
Proteína	0.35
Fibra	0.14
Carbohidratos	86.01
pH	6.34

Nota. Vera Bravo y Chavarría Chavarría (2020)

En la Figura 2 se aprecia la morfología del almidón de papa de forma ovalada y esférica.

Figura 2

Morfología del almidón de papa

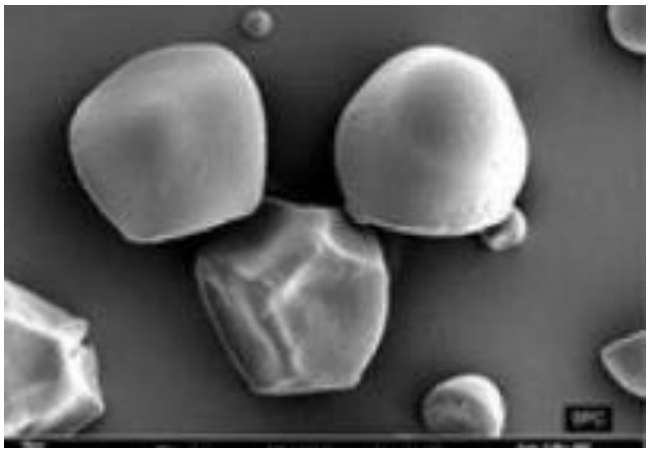


Nota. Apriyanto et al. (2022)

Según Ochoa et al., (2021) el camote (Ipomea batatas L.) es una fuente importante de almidón, ya que forma parte de su composición química de 50 -80%. Estructuralmente es un carbohidrato de alto peso compuesto por dos tipos de polímeros, amilosa en un rango de 13.3 –26.8 % y amilopectina entre 73.2 - 86.7 %. Los gránulos de almidón de camote presentan una forma ovalada con forma de campana, su tamaño de partícula esta entre un rango de 3.4 a 27.5 μm.

Figura 3

Morfología del almidón del camote



Nota. Ochoa et al. (2021)

Chamorro et al. (2025) menciona que la yuca (Manihot esculenta) es una planta originaria de América del Sur, usada principalmente para el consumo y en un pequeño porcentaje para la obtención de almidón y otros usos industriales, el tamaño de almidón puede variar de 5 µm a 40 µm, con un contenido de amilopectina de 83% y amilosa de 17%, tiene superficie hidrofílica debido al grupo hidroxilo (-OH). La forma del grano del almidón más común es truncada; sin embargo, algunas muestras mostraron diversas formas: ovaladas, redondas, irregulares y poligonales.

Generalmente los alimentos que contienen azucares, son muy higroscópicas es decir tienen alta sensibilidad a la humedad y tienden aglomerarse, es por ello para prevenir o reducir el riesgo de apelmazamiento se emplea almidón como aditivo antiaglutinante en la industria alimentaria, el uso se basa principalmente en su propiedad de interacción con el agua compitiendo con las partículas anfitrionas, en la actualidad el almidón más comúnmente empleado es del maíz (Jagannadha Rao et al., 2023).

2.2.3. Fenómeno de apelmazamiento en los alimentos en polvo

Barbosa (2021) define el apelmazamiento como "un fenómeno indeseable en el que los polvos que fluyen libremente se juntan y se convierten en una torta sólida durante el almacenamiento". Asimismo, Farshchi et al. (2024) menciona que el apelmazamiento se da cuando un material sólido a granel se aglomera debido a que se han formado enlaces fuertes entre las partículas, típicamente por la formación de puentes líquidos en las partículas cristalinas, al estar el alimento en polvo expuesta a una humedad alta. También existe la formación de puentes de sinterización que se da cuando la temperatura del polvo es igual o superior a la temperatura de transición vítrea, generando pegajosidad y apelmazamiento en estos alimentos.

Uno de los factores principales que genera el apelmazamiento en los alimentos en polvos es la alta humedad relativa a la que está expuesta, es por ello es importante determinar la higroscopicidad para determinar la estabilidad y predecir el comportamiento de apelmazamiento, este problema en los alimentos en polvo tiene como consecuencia la reducción de la calidad y funcionalidad del alimento llegando acortar su vida útil; puede presentarse durante el procesamiento, manipulación y almacenamiento, haciendo que se incremente los costos de producción ya que se adiciona un nuevo proceso (molienda) antes de pasar a una línea de producción o agregarse a los silos (Farshchi et al., 2024).

El apelmazamiento en el azúcar se debe a las condiciones ambientales y al tamaño de partículas, donde al absorber humedad se unen mediante puentes líquidos, que al secarse se solidifican; los materiales cristalinos son considerados de baja higroscopicidad, pero expuesta a una humedad critica tiende absorber el agua de manera rápida, siendo a_w critica de 0.8, para la sacarosa con tamaño de partículas superiores a 0.425 mm el almacenamiento para evitar el apelmazamiento es a una humedad relativa inferior a 67.89% a 30°C (Hernández-Reyes et al., 2022).

- **Formación de puentes Líquidos**

  Esta etapa inicia con la absorción de la humedad causando la plastificación,

- **Sinterización**

  La sinterización es el responsable de la formación de los puentes sólidos en las partículas amorfas, es el proceso donde las partículas se moviliza hacia el espacio entre las partículas adyacentes generando puentes viscosos que hace que estas se adhieran entre sí, llegando a formar una torta.

- **Deformación viscoelástica**

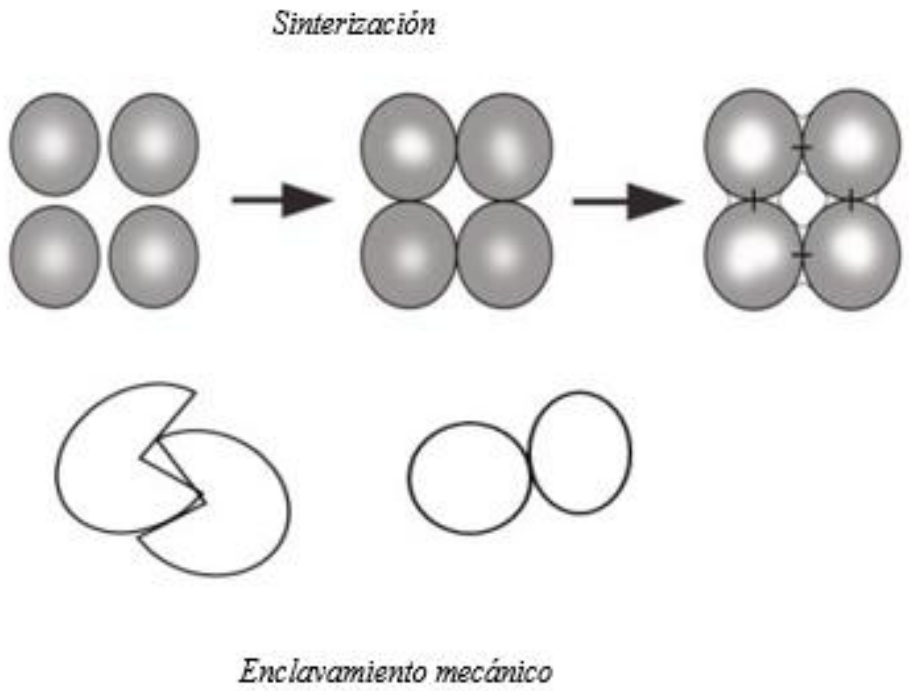
  Esta deformación aumenta las fuerzas de atracción

- **El enclavamiento mecánico**

  Los principales factores que influyen para este mecanismo son la forma y tamaño de la partícula, ya que para partículas irregulares el mecanismo predominado será le enclavamiento mecánico, teniendo propiedades de flujo más pobres en comparación con una morfología esférica.

Figura 4

Mecanismos de apelmazamiento



El apelmazamiento está relacionado con la fluidez, ya que al presentarse este problema disminuye su fluidez, sabor y textura; el apelmazamiento típico presenta varias etapas: formación de puentes, aglomeración, compactación y licuefacción (Barbosa, 2021).

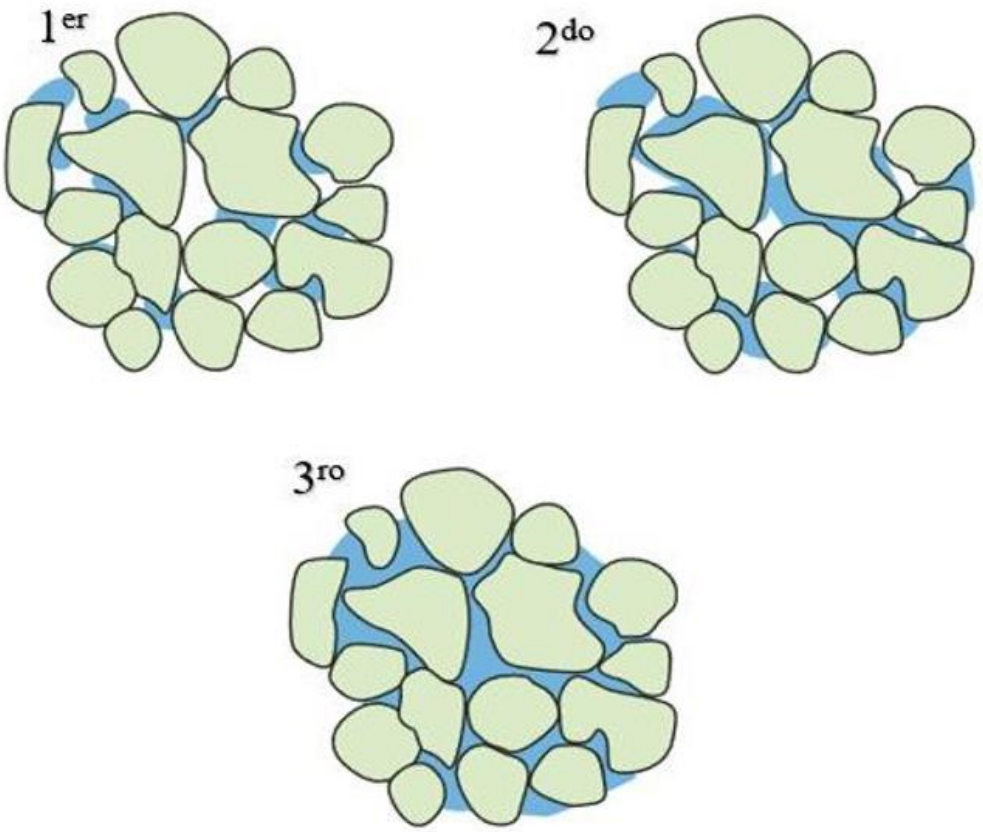
Primera etapa: De acuerdo a Paternina (2014) el apelmazamiento empieza con la formación de puentes líquidos entre las partículas, debido al aumento de la humedad generando una condensación capilar, generando pegajosidad en el alimento en polvo.

Segunda etapa: A medida que va en aumento la humedad se forman puentes líquidos en todas superficies de contacto lo que provoca la aglomeración.

Tercera etapa: Finalmente, cuando el material se satura completamente llenando todos los espacios entre las partículas con agua, se forma los grumos.

Figura 5

Etapas de proceso de formación de apelmazamiento



Nota. Paternina (2014)

2.2.4. Agentes antiaglutinantes y/o antiapelmazantes

En las industrias para mejorar la manipulación de los alimentos en polvo durante la producción y no se pierda la calidad del producto, se emplean agentes antiaglutinantes para prevenir el apelmazamiento, el cual tiene mecanismos de competir con el alimento en polvo por la humedad, actuando como barreras protectoras contra la humedad en la superficie de la partícula logrando así mejorar su capacidad de fluidez; estos agentes o aditivos son llamados antiapelmazantes, antiaglutinantes, auxiliares de flujo, acondicionadores y lubricantes alimentarios son sustancias con tamaño de partícula aproximadamente de 40 a 100 um (Ueda et al., 2023).

Los agentes antiaglomerantes son utilizado en diversos alimentos en polvo como sal, azúcar glass, vegetales, bebidas, frutas, huevo, sopas, levadura, leche, café, crema, chocolates, mezclas, también tienen otras aplicaciones en la industria no alimentarios como sal para carreteras, fertilizantes, cosméticos, detergentes sintéticos y en otras aplicaciones de fabricación similares (Barbosa, 2021).

Tabla 3

Agentes antiaglutinante y su aplicación en la industria alimentaria

Agente antiaglutinante	Descripción	Uso
Silicato de aluminio	Polvo blanco fino y amorfo	Bebidas y dulces en polvo
Silicato de calcio	Polvo blanco fino, se obtiene partir de piedra caliza natural y tierra diatomea	Alimentos en polvo: sales, sazonadores, ajos, cebolla, sacarosa impalpable, harina para fritura, cacao, pastas, entre otros. No exceder el 2%.

Bentonita E558	Composición química consiste principalmente en dióxido de silicio (SiO_2), óxido de magnesio (MgO), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de sodio (Na2O).	Alimentos en polvo sin restricciones
Dióxido de silicio E551	Sustancia amorfa denominada sílice pirógena o sílice hidratada	Alimentos en polvo que no exceda el 2%.
Estearato	Polvo blanco fino y liviano, tiene un olor suave y aceitoso al tacto.	Alimentos en polvo entre 0,05 y 3 % p/p.
Fosfato tricálcico	Es una sal de calcio del ácido fosfórico.	Empleado comúnmente en azúcar, sal y especias. Ingesta diaria admisible en 70 mg/kg de peso corporal
Almidón	Es un carbohidrato que se extraer de diversas especies del cual depende sus características fisicoquímicas.	Alimentos en polvo sin restricción

Nota. Barbosa (2021).

En la industria del polvo para consumo humano, los más empleados comúnmente son el sílice o compuesto de calcio. Es importante la cantidad de la adición de agente antiaglomerante en los alimentos, ya que su uso excesivo podría generar cáncer al estómago, como es el caso del silicato de calcio, en ocasiones tiende a contaminarse con amiento llegando a contener un 40% de tremolita (Aditivos alimentarios, 2022). Durante los últimos años el derivado del silicio ha sido la más utilizada en la industria alimentaria, podemos encontrarla en la sal como dióxido de silicio, sin embargo, debido a la poca información de la interacción con las propiedades

fisicoquímicas con los otros componentes de alimento se ha visto la necesidad de buscar alternativas (Torres, 2024).

2.2.5. Propiedades de flujo importantes para predecir el apelmazamiento.

Durante el procesamiento del alimento en polvo se pueden presentarse problemas en las instalaciones como la degradación de la homogeneidad del producto, la formación de costras dentro del tanque, en los orificios de las tuberías y en el flujo deficiente (Aslan et al., 2020). Es por ello es importante determinar los valores de flujo de los alimentos en polvo sea preciso y confiable, para el diseño de los equipos de proceso y evitar el congestionamiento en el sistema y sobrecostos.

La fluidez es el factor muy importante durante el procesamiento de los alimentos en polvo, se define como la propiedad de fluir suavemente en las distintas etapas del proceso, está relacionado inversamente proporcional con el apelmazamiento, es por ello es un factor crítico para determinar la eficiencia de la producción, la consistencia y la calidad del producto final. Para evaluar la fluidez se realiza mediante diversos métodos como el ángulo de reposo, índice de Carr, índice de Hausner y la función de flujo del polvo, asimismo el tamaño de partícula, contenido de humedad y la cohesión de manera integral determinan el comportamiento del flujo (Suhag et al., 2024).

- **Densidad**

Según Barbosa (2021) menciona que la densidad aparente es una propiedad importante a determinar para el envasado y transporte de los alimentos en polvo, ya que con ello se puede estimar los costos de almacenamiento, transporte y estandarización del producto, definiendo a la densidad como “una medida de la cantidad de producto en polvo que se puede poner en un material de envasado que tiene un cierto volumen”. También la densidad brinda la información

de las dimensiones deseadas obtenidas en la molienda del producto final y el contenido de humedad.

Esta propiedad está relacionada con la porosidad ya que a medida que pasa el tiempo la densidad aparente aumenta, debido al movimiento de partículas. Estos dos parámetros son los más efectivos en la caracterización de flujo y el comportamiento de las partículas del polvo (Barbosa, 2021). Mientras más alto sea el valor de la densidad aparente mejor es el empaque y fluidez, reduciendo así los costos de transporte. Los alimentos en polvo al apelmazarse presentan problema de fluidez y calidad durante la manipulación y envasado, es por ello se debe emplear agentes antiaglutinantes para evitar este problema. La densidad compacta te permite demostrar cuantitativamente porque los productos se apelmazan con un mínimo de esfuerzo a comparación de otra al ser manipulados con la misma condición (Vera et al., 2022).

- **Tamaño de partícula**

De acuerdo Suhag et al. (2024) menciona que el tamaño de partícula hace referencia a la dimensión de la partícula como el diámetro, obtenido en el proceso de molienda; esta propiedad física en una mínima variación afecta a la fluidez del polvo, es decir una disminución pequeña del tamaño de partícula conduce a la reducción de la fluidez y tendencia apelmazarse, debido al aumento del área superficial de la partícula se vuelve más cohesivo. Los alimentos en polvo con tamaños de partículas mayor a 200 μm fluyen libremente, mientras que los materiales con tamaños de partículas menores a 200 μm están sujetos a problemas de cohesión y fluidez (Barbosa, 2021).

- **Fluidez**

La fluidez es la capacidad conductual que tiene los alimentos en polvo en fluir y la cohesión

es la fuerza de atracción entre partículas dando como resultado una estructura pegajosa, la identificación del flujo de polvo ya sea de manera cuantitativa o cualitativa es muy importante para el diseño del equipo como para la estimación del rendimiento, ya que si el alimento tiene baja capacidad de flujo las partículas de polvo tienen alta pegajosidad y tienden aglomerarse (Barbosa, 2021).

De acuerdo a Aslan et al. (2020) "el flujo de polvo es mucho más complejo y complicado que el flujo de líquido debido a las características de los componentes y los procesos a los que están expuestos", donde el factor más importante a tener en cuenta es el contenido de humedad del polvo, ya que un incremento de este provoca el aumento del grado de cohesión afectando negativamente el flujo. También Barbosa (2021) menciona para evaluar el flujo mediante el concepto de compresibilidad se hace uso del índice de Hausner o la razón de Hausner puede ser calculado entre la división de la densidad compactada sobre la densidad vertida del polvo, gracias al resultado del índice de Carr y de Hausner se ha estandarizado los valores de fluidez de los alimentos en polvo.

Tabla 4

Interpretación de índice de Carr e índice de Hausner

Índice de Carr	Fluidez	Índice de Hausner	Pegajosidad (Compresibilidad)
15 >	Muy buena	1.00 – 1.11	Poca
15 – 20	Buena	1.12 – 1.18	
20 – 35	Débil	1.19 – 1.25	Medio
35 – 45	Mala	1.26 – 1.34	
> 45	Muy mala	> 1.35	Alta

Nota. Muhammad et al. (2020)

- **Ángulo de reposo**

Según Barbosa (2021) es el ángulo formado por la pendiente de un montón de material estacionario con la horizontal cuando el material se deja caer sobre una plataforma, cuando el tamaño de partículas disminuye, el valor del ángulo de reposo aumenta debido a que las partículas más pequeñas tienden adherirse entre sí. Vera et al. (2022) menciona que los resultados del ángulo de reposo nos permiten identificar la relación entre la fricción y la cohesión de los polvos, ya que al momento de dejar caer de la tolva los polvos se someten a estas fuerzas.

2.2.6. Isoterma de sorción de agua

Suhag et al. (2024) menciona que la isoterma relaciona la actividad de agua con el contenido de humedad, donde el aumento del contenido de humedad genera la disminución de la fluidez del polvo, debido a la formación de puentes líquidos y al aumento de la cohesión. Asimismo, señala que el contenido de humedad es la cantidad de agua presente en el alimento en polvo y define actividad de agua (aw) como la fracción de agua libre en un producto y que está disponible para el crecimiento de microorganismos.

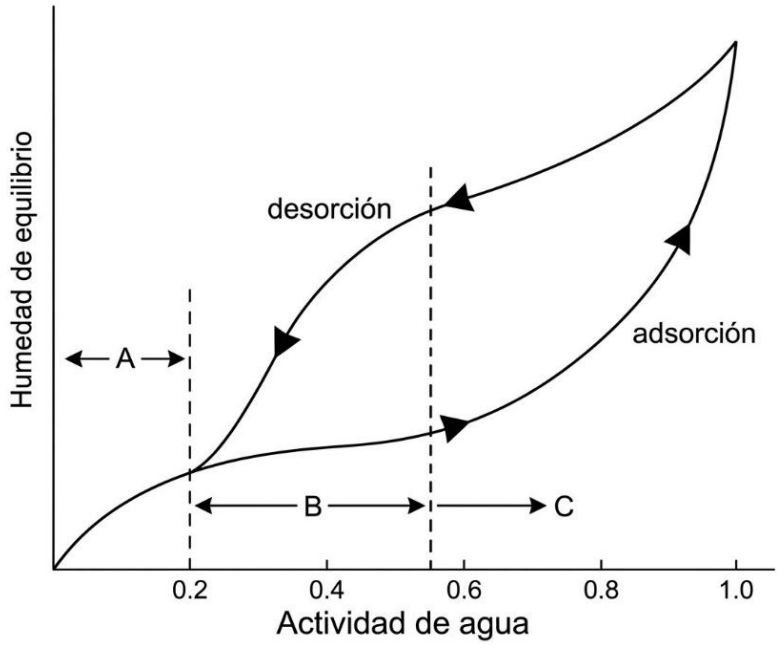
Paredes (2022) define a la isoterma de adsorción como representaciones gráficas del comportamiento de la cantidad de agua adsorbida, para analiza el grado de interacción del agua con el sustrato sobre la superficie de un sólido, la isoterma de sorción según su proceso puede ser:

- **Adsorción** cuando el peso de la muestra (material seco) va en aumento debido a la ganancia de agua ya que la humedad relativa aumenta
- **Desorción** cuando la muestra (material húmedo) va perdiendo peso debido a la salida del

agua.

Figura 6

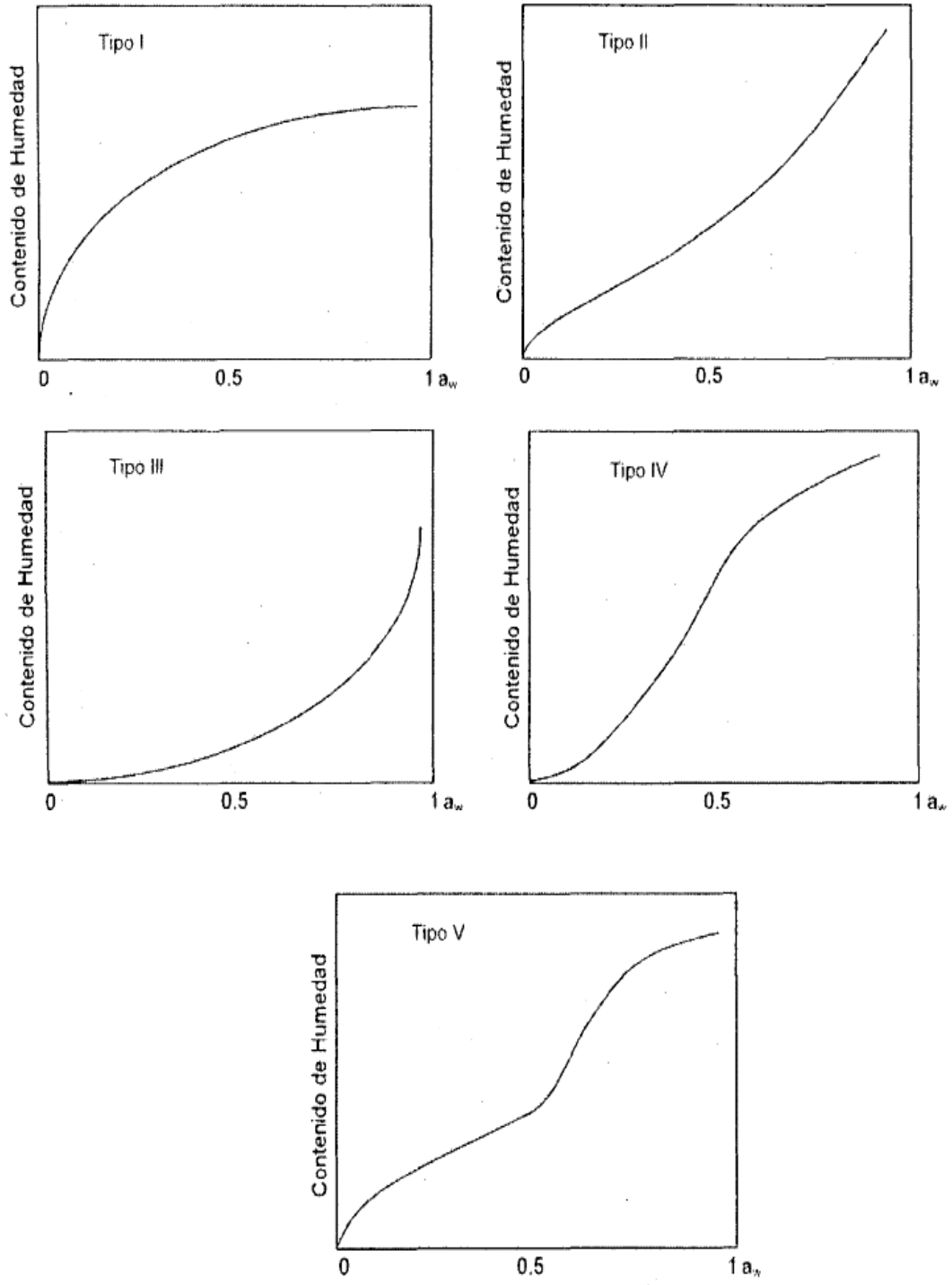
Isoterma de adsorción y desorción



De acuerdo a Iji et al. (2025) la isoterma sorción de los alimentos se clasifica en 5 tipos como se muestra en la figura 7: Tipo I, de adsorción monomolecular en solidos porosos; Tipo II, isotermas sigmoideas comúnmente presentes en la mayor parte de los alimentos; Tipo III, generalmente presentas en sustancias cristalinas; Tipo IV, describe el hinchamiento de un material hasta llegar al punto máximo de hidratación y el Tipo V para la adsorción multicapa.

Figura 7

Tipos de isoterma de adsorción de van de Waals



De acuerdo a Suhag et al. (2024) la isoterma de sorción se emplea para relacionar el contenido de humedad de equilibrio y la actividad del agua, a una cierta temperatura y presión. Para describir este comportamiento hay diversas ecuaciones matemáticas (Tabla 5) debido a que el resultado depende de la estructura y composición de los alimentos es decir de la interacción química y física que hay en el alimento considerando los tratamientos a lo que fue sometido, es por ello el modelo matemático que se selecciona es por el grado de ajuste a los datos experimentales.

Tabla 5

Ecuaciones de isotermas para el ajuste de datos experimentales

Modelo	**Expresión matemática**	**Rango de aw**
BET	$X_{eq} = \frac{X_m \times C \times a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1) \times a_w}$	$a_w < 0.50$
GAB	$X_{eq} = \frac{X_m \times C \times K \times a_w}{(1 - K \times a_w)(1 + (C - 1)K \times a_w}$	$0.05 < a_w < 0.95$
Hasley	$X_{eq} = (-\frac{A}{(ln(a_w)})^{1/B}$	$0.05 < a_w < 0.80$
Kuhn	$X_{eq} = \frac{A}{(ln(a_w) + B}$	$a_w < 0.50$
Oswin	$X_{eq} = A(\frac{a_w}{1 - a_w})^B$	$0.05 < a_w < 0.90$

Nota. Iji et al. (2025)

El estudio de la isoterma ayuda a determinar la estabilidad y aceptabilidad de los productos alimenticios para el diseño de equipos, proceso y la evaluación de los cambios de humedad durante el almacenamiento o la selección de materiales de envasado.

La adsorción refiere a la formación de una capa de adsorbato en la superficie de un adsorbente

mediantes diferente mecanismo de interacción, es la capa de adsorción de un agente de superficie, donde las moléculas absorbidas están en contacto con la capa superficial del absorbente (Paredes, 2022). Cuando el alimento deja de adsorber o desorber es cuando alcanza el contenido de humedad de equilibrio, que refleja el equilibrio de humedad entre el alimento y el ambiente. La isoterma nos permite calcular el contenido de humedad de la monocapa que es un valor muy importante debido a que nos indica el nivel de humedad hasta donde el producto presenta estabilidad y la degradación de la calidad (Iji et al., 2025).

La capa molecular es la capa de adsorción de un agente de superficie, donde las moléculas absorbidas están en contacto con la capa superficial del absorbente. El valor es el contenido de agua que debe de tener un producto seco ya que el agua de la capa reacciona y no tiene actividad microbiana (Paredes, 2022).

2.2.7. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica que utiliza un haz de electrones para escanear la superficie de una muestra, generando imágenes de alta resolución que permiten evaluar la morfología, el tamaño, la forma y la porosidad de las partículas. En la ciencia de los alimentos en polvo, esta técnica es fundamental para comprender cómo la microestructura superficial influye en las propiedades macroscópicas del producto, como la fluidez y la tendencia al apelmazamiento (Ueda et al. 2023). En la sacarosa impalpable, su aplicación permite examinar la apariencia de las partículas de sacarosa, la distribución del agente antiaglutinante y la posible presencia de aglomerados Farshchi et al. (2024).

III. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

3.1. Método de investigación

La investigación es cuantitativa.

3.2. Estrategia del estudio

3.2.1. Tipo de investigación

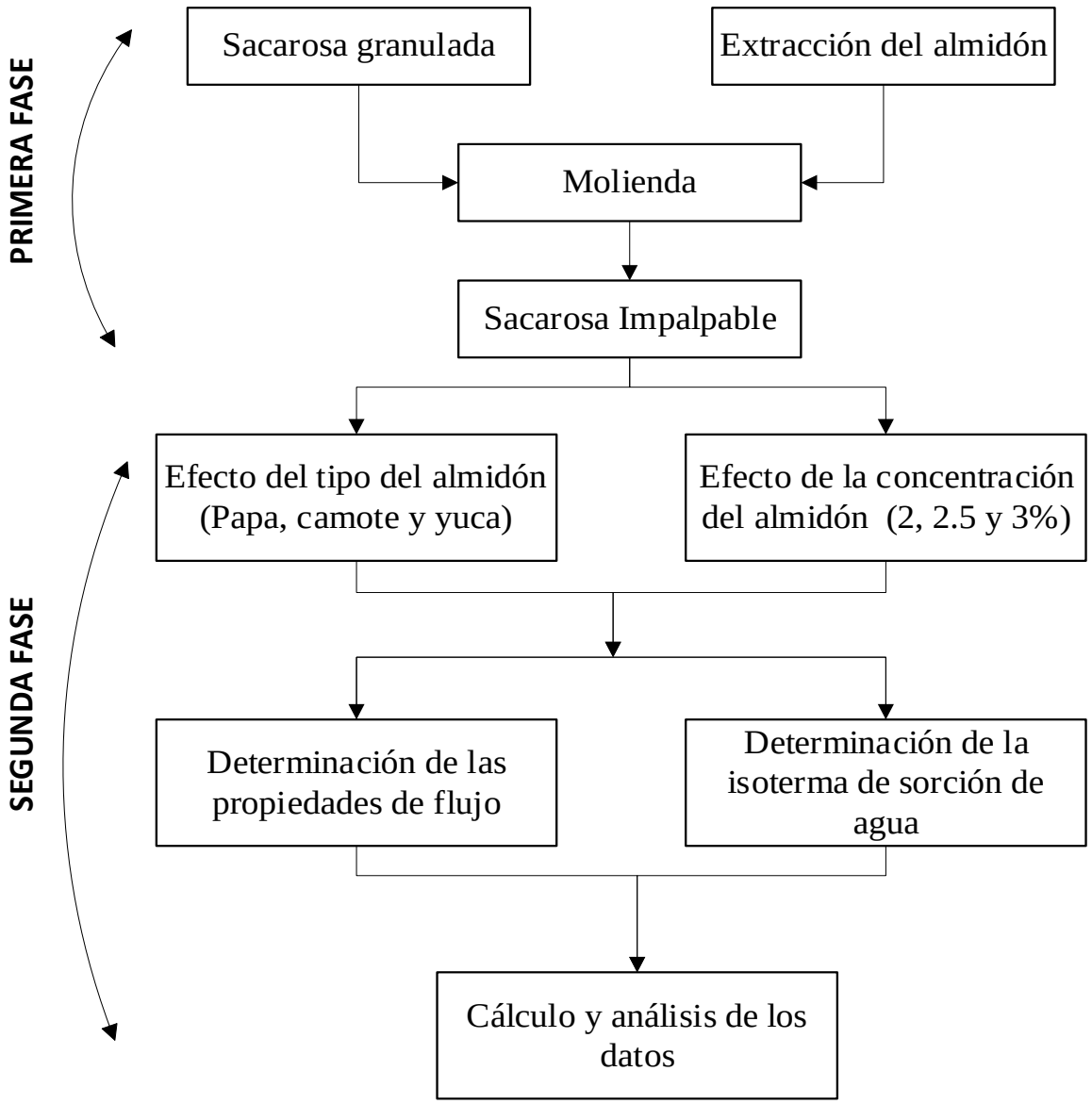
La investigación realizada fue aplicada y correlacional por presentar variables independientes y dependientes, con un diseño experimental

3.2.2. Diseño experimental

El estudio consta de dos fases según el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 8. En la primera se realizó la extracción del almidón de papa (*Solanum tuberosum*), del camote (*Ipomoea batatas*) y de la yuca (*Manihot esculenta*) y la preparación de la sacarosa impalpable. En la segunda etapa se evaluó el efecto de los antiaglutinantes mediante cálculos y análisis estadísticos en función de las propiedades de flujo de la sacarosa impalpable.

Figura 8

Diagrama del diseño experimental.



Nota: El diseño consiste en dos fases: Primera fase donde se obtiene la sacarosa impalpable y la segunda fase donde se realiza la evaluación del agente antiaglutinante en las propiedades de la sacarosa.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Lugar de ejecución

La investigación fue ejecutada en el Departamento de Áncash, Provincia del Santa – Distrito Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional del Santa, haciendo uso de los ambientes de:

- La Planta Piloto Agroindustrial
- El Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA).
- El Laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales

4.2. Materiales y equipos

4.2.1. Materia prima

- Azúcar blanca granulada comercial.
- Papa (*Solanum tuberosum*).
- Camote (*Ipomoea batatas*) de la variedad morado.
- Yuca (*Manihot esculenta*) de la variedad dulce blanca.

4.2.2. Equipos

- Licuadora industrial**:** Marca SINCO, modelo Bertex, capacidad 15 litros.
- Estufa (Marca: Thermolyne/ Serie: 34703484)
- Balanza gramera. Marca: PRECISA. Modelo: XB4200C.
- Balanza RADWAG
- Módulo de molienda y Tamizado (Marca: Torrh /Mod: Mdnt-60xl)
- Analizador de humedad (Marca: Precisa/ Modelo: Xm50)
- Balanza Analítica (Marca: Precisa /Mod: Gravimetrics)
- Equipo de Aw (Marca: ROTRONIC/ Mod: Hygrolab2)

- Tamices (Marca: ATM Products)
- Colorímetro, KONIKA MINOLTA.
- Reómetro (R/S Plus – Rheomether)
- Desecador
- Vortex
- Embudo Buchner

4.2.3. Reactivos

- Agua destilada
- Cloruro de litio (LiCl)
- Cloruro de magnesio ($MgCl_2\,6H_2O$)
- Carbonato de potasio (K_2CO_3)
- Nitrito de sodio ($NaNO_2$)
- Cloruro de sodio (NaCl)
- Cloruro de potasio (KCl)
- Sulfato de potasio (K_2SO_4)

4.2.4. Materiales de vidrio y otros

- Bandejas de aluminio
- Crisoles
- Placa petri
- Probeta graduada de 100 ml
- Regla
- Hipoclorito de sodio
- Tinas grandes

- Baldes grandes
- Cuchillos
- Peladora
- Tabla de picar
- Lienzo de nylon
- Jabón liquido
- Papel toalla
- Bolsas grandes
- Guantes
- Esponjas
- Escobilla

4.3. Método de análisis

4.3.1. Caracterización de la materia prima

- **Humedad**

Se determinó la humedad de los almidones con el Analizador de humedad Precisa XM 50, por el método de secado (Método de la AOAC 925.10).

- **Color**

Se determinó el color de los almidones utilizando un colorímetro calibrado empleando el método estándar (sistema CIELab) donde los resultados se expresan como L*, a* y b*, siendo L luminosidad (0 = negro, 100 blanco), a* (- = verdoso; + = rojo) y b* (- = azul, + = amarillo). Donde las muestras de almidón se colocaron en placas de vidrio sin generar espacios, el análisis se realizó por triplicado y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$color = \sqrt{(L*)^2 + (a*)^2 + (b*)^2}$$

- **Análisis granulométrico**

Se determino el tamaño de partícula empleando el método de tamizado para ello se empleó tamices seriados con tamaño de malla inferiores a 0.25 mm, con movimientos laterales, verticales y circulares durante 10 min (<0,5% del peso total de la muestra) (Irigoiti et al.,2021).

4.3.2. Caracterización de la sacarosa impalpable

- **Humedad**

Se determino la humedad de la sacarosa impalpable con el Analizador de humedad Precisa XM 50, por el método de secado (Método de la AOAC 925.10).

- **Color**

Se determinó el color de la sacarosa impalpable utilizando un colorímetro empleando el método estándar (sistema CIELab) donde los resultados se expresan como L*, a* y b*, siendo L luminosidad (0 = negro, 100 blanco), a* (- = verdoso; + = rojo) y b* (- = azul, + = amarillo). Calculando el color total, con la siguiente fórmula:

$$color = \sqrt{(L*)^2 + (a*)^2 + (b*)^2}$$

- **Análisis granulométrico**

Se determino el tamaño de partícula empleando el método de tamizado para ello se empleó tamices seriados con tamaño de malla inferiores a 0.355 mm, con movimientos laterales, verticales y circulares durante 10 min (<0,5% del peso total de la muestra) (Irigoiti et al.,2021)

- **Densidad vertida y compacta**

El valor de la densidad es muy importante en los alimentos ya que es un parámetro de calidad y eficiencia, en la etapa de almacenamiento y transporte. Se determinó las densidades mediante el método de desplazamiento descrito en Irigoiti et al. (2021). Para determinar la densidad vertida se utilizó 10 g de la muestra (sacarosa impalpable), y se vertió en una probeta graduada de 100 ml y se tomó los datos. Para la densidad compactada se midió el volumen después de pasar por un proceso vibratorio en un vortex por 10 minutos a 1200 rpm. Posteriormente se realizó el cálculo utilizando las siguientes

fórmulas:

Densidad vertida (ρ_V)

$$\rho_V = \frac{m}{V_V}$$

Donde:

m: es la masa de la muestra (g).

V_V: volumen de la muestra vertida (ml).

Densidad compactada (ρ_C)

$$\rho_C = \frac{m}{V_C}$$

Donde:

m: es la masa de la muestra (g).

V_C: volumen de la muestra después de ser compactada (ml).

- **Determinación de fluidez y compresibilidad**

Para determinar la fluidez y compresibilidad se realiza mediante el índice de Hausner e índice de Carr, siguiendo la metodología de Irigoiti et al. (2021), para ello se empleará las siguientes formulas:

$$índice\ de\ huasner\ (IR) = \frac{\rho_C}{\rho_V}$$

Donde:

ρ_C: Densidad compactada

ρ_V: Densidad vertida

$$Indice\ de\ Carr\ \%\ (CI) = \frac{\rho_C\ -\ \rho_V}{\rho_c} \times 100$$

Donde:

ρ_C: Densidad compactada

ρ_V: Densidad vertida

- **Ángulo de reposo**

El ángulo de reposo se determinará siguiente el método de ángulo vertido descrito en su metodología de Nurhadi et al. (2020), empleando un embudo Buchner. Para ello se pesará 10 gramos de la muestra en una balanza analítica y se colocará en el embudo BUCHNER a condiciones de extremo abierto cerrado, luego se dejará descender lentamente sobre una superficie plana horizontal para formar un montículo, este proceso finalizará cuando forma una pendiente equilibrada es decir se detiene cuando el montículo alcanza una altura o un ancho predeterminado. Inmediatamente se medirá con la ayuda de una regla el radio promedio del montículo formado y la altura máxima de la forma cónica (Figura 9), esto se realizará por triplicado. Para determinar el ángulo de reposo (α) se empleará la siguiente formula:

$$\tan \alpha = \frac{x}{y}$$

$$\alpha = arctang(\frac{x}{y})$$

Donde:

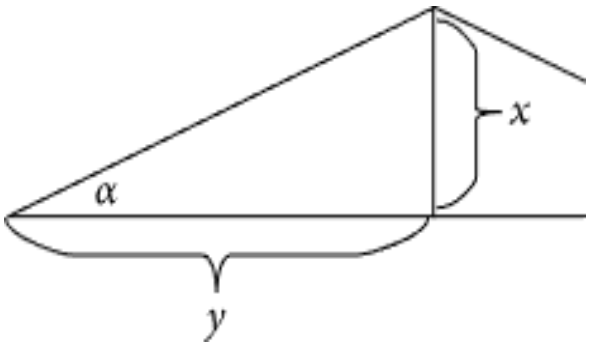
x: Altura máxima del montículo.

y: Radio promedio del montículo

α: ángulo de reposo

Figura 9

Gráfico para identificar el ángulo de reposo



4.3.3. Determinar la formulación con mejores propiedades de flujo

Para determinar la formulación con mejores propiedades de flujo se usa el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION, donde con los resultados obtenidos de la caracterización de la sacarosa impalpable se optimiza las respuestas.

4.3.4. Isoterma de sorción de agua de la sacarosa impalpable

Preparación de las sales saturadas

La isoterma de sorción de agua se determinó mediante el método gravimétrico estático descrito por Nurhadi et al. (2020) en su metodología, que consiste en control continuo del cambio del peso, para ello se empleará sales saturadas con actividad de agua conocida para variar la humedad relativa del desecador.

A continuación, se muestra una tabla con diferentes ecuaciones para hallar la actividad de agua de las sales a una cierta temperatura. En esta investigación se trabajó a una temperatura de 25°C.

Tabla 6

Ecuaciones para obtener la actividad de agua o humedad relativa de las sales

Nomenclatura	Sal	Ecuación de regresión	R^2
Cloruro de litio	LiCl	$\ln(a_w) = \left(\frac{500.95}{T}\right) - 3.853$	0.976
Acetato de Potasio	$KC_2H_3O_2$	$\ln(a_w) = \left(\frac{861.39}{T}\right) - 4.33$	0.965
Cloruro de magnesio	$MgCl_26H_2O$	$\ln(a_w) = \left(\frac{303.35}{T}\right) - 2.13$	0.995
Nitrito de sodio	$NaNO_2$	$\ln(a_w) = \left(\frac{435.96}{T}\right) 1.88$	0.974
Cloruro de sodio	NaCl	$\ln(a_w) = \left(\frac{228.92}{T}\right) - 1.04$	0.961
Cloruro de potasio	KCl	$\ln(a_w) = \left(\frac{367.58}{T}\right) - 1.39$	0.967

Nota. Sapailla Arcos (2020)

Para la cantidad de sal (g) y agua (ml) se basó a los descrito por Sapailla Arcos (2020) como se aprecia en la siguiente tabla 7; una vez preparada las soluciones saturadas se colocó en cada uno de los desecadores previamente desinfectados con alcohol de 70°. Para los extremos se empleó agua destilada y ácido sulfúrico en una altura aproximada de 2.5 cm.

Tabla 7

Preparación de sales saturadas

Nomenclatura	Sal	Cantidad de preparación	
		Sal (g)	Agua (ml)
Cloruro de litio	LiCl	150	85
Acetato de Potasio	$KC_2H_3O_2$	200	65
Cloruro de magnesio	$MgCl_2\,6H_2O$	200	25
Nitrito de sodio	$NaNO_2$	200	65

Cloruro de sodio	NaCl	150	75
Cloruro de potasio	KCl	200	80
Sulfato de potasio	K_2SO_4	200	80

Nota. Elaboración propia

Construcción de isotermas

Se pesó 1 gramo de muestra (sacarosa impalpable) en placas Petri previamente esterilizada en estufa a una temperatura de 120°C x 60 min, con la finalidad de evitar la proliferación microbiana, posteriormente se introdujo en el desecador que contiene una solución saturada con a_w conocida. Los desecadores contenidos con la muestra se almacenaron en una incubadora a una temperatura de 25°C.

Las muestras se realizaron por duplicado y se pesó diariamente en una balanza analítica hasta obtener un peso constante en el cual alcanza el equilibrio, teniendo en cuenta que el tiempo de pesaje debe ser lo más corto posible para evitar que gane humedad del ambiente.

Determinación de humedad de equilibrio

Para determinar el contenido de humedad de equilibrio se empleó la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{X_e} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s}$$

Donde:

$\boldsymbol{X_e}$: Humedad de equilibrio (g de agua/g de sólido seco)

m_{eq}: Masa de la muestra en equilibrio (g).

m_s: Masa de la muestra seca (g).

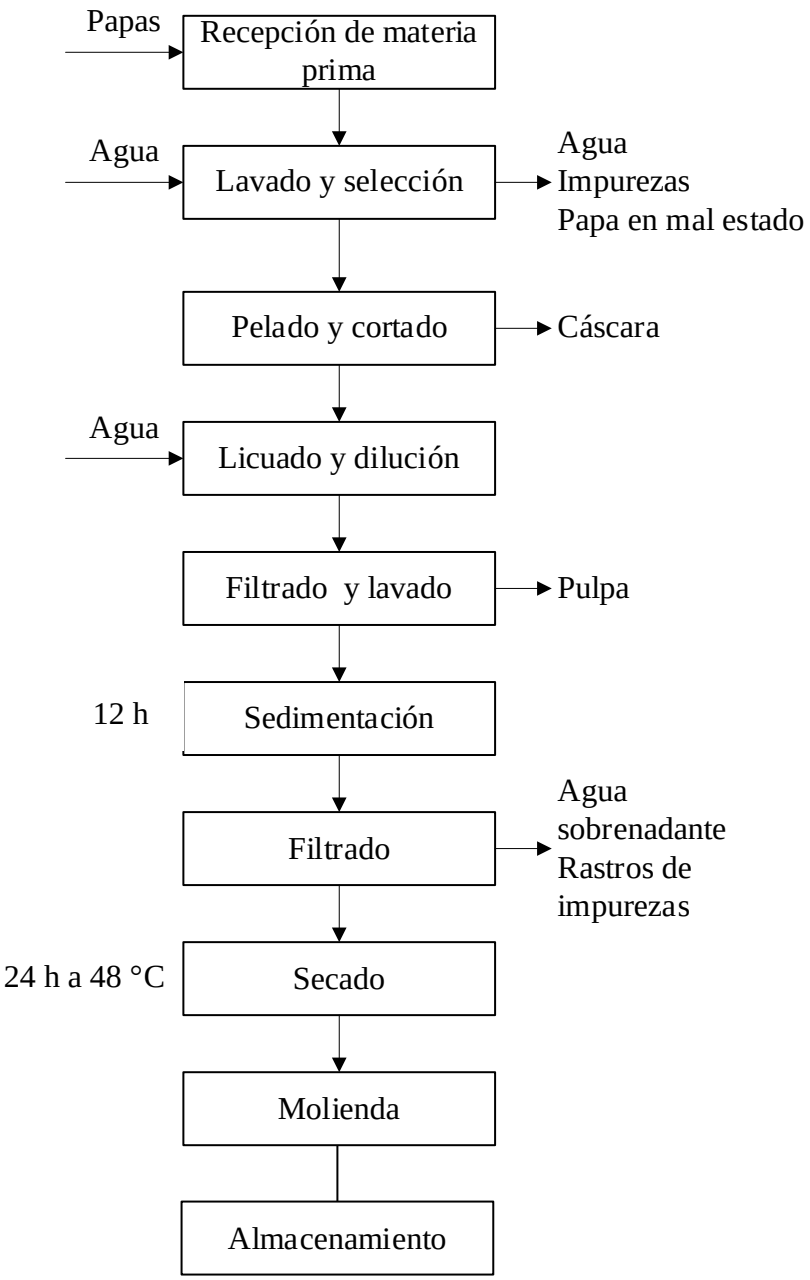
Ajuste de modelos matemáticos: Para determinar el modelo matemático a seleccionar se tuvo en cuenta el grado de ajuste a los datos experimentales. Los modelos propuestos se detallaron en la Tabla 5 los cuales son los más empleados en la industria alimentaria.

4.1. Obtención del almidón

4.1.1. Almidón de papa

Figura 10

Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de papa



Para la extracción del almidón de papa se utilizó como base los procedimientos descritos por Coronel y Chipana (2022) que consiste en una extracción húmeda.

Recepción: Las papas frescas fueron obtenidos en el mercado "La perla" de la ciudad de Chimbote y trasladadas a la planta piloto de la UNS, posteriormente las papas fueron pesadas en la balanza RADWAG, para determinar su rendimiento.

Lavado y selección: Las papas fueron lavadas con ayuda de una esponja para remover todas las impurezas y con abundante agua, posteriormente se procedió a seleccionar clasificando las papas en buen estado y las papa en mal estado (manchas verdes, deterioradas). Los tubérculos en buen estado pasaron por una desinfección con hipoclorito de sodio al 20 ppm por un periodo de 3 minutos.

Pelado y cortado: Se realizó el pelado de las papas con la ayuda de un cuchillo y pelador, donde se obtuvo un 80.44% de pulpa de papa y 19.56% de cáscara. Luego se pasó al troceado en cubos de 3 a 5 cm para facilitar la etapa siguiente.

Licuado y dilución: En esta etapa se utilizó una licuadora industrial por un minuto con treinta segundos para facilitar la liberación de los gránulos de almidón, para ello se empleó agua en dilución de 1:3 (producto: agua), obteniendo una pasta.

Filtrado y lavado: La pasta se pasó a filtrar con una tela y se lavó con agua en una proporción de 1:2 (pasta: agua), realizando varias lavadas. En esta operación se añadió el agua de manera constante, exprimiendo la tela para remover y diluir el almidón, obteniendo así 2 productos la pulpa y la lechada.

Sedimentación: El líquido filtrado se dejó sedimentar en baldes grandes de capacidad de 20 L, por un tiempo de 12 horas en una cámara frigorífica a una temperatura de 6°C para evitar que se fermente.

Filtrado: Transcurrido el tiempo de sedimentación, se retiró el agua sobrenadante y rastros de impurezas, quedando el almidón sedimentado.

Secado: El almidón húmedo se extendió sobre bandejas de forma uniforme en una capa delgada para su correcto secado, luego las bandejas se pusieron en una estufa marca Thermolyne por un tiempo de 24 h a una temperatura 48° C. Donde se obtuvo un rendimiento de 5.54%. de almidón seco.

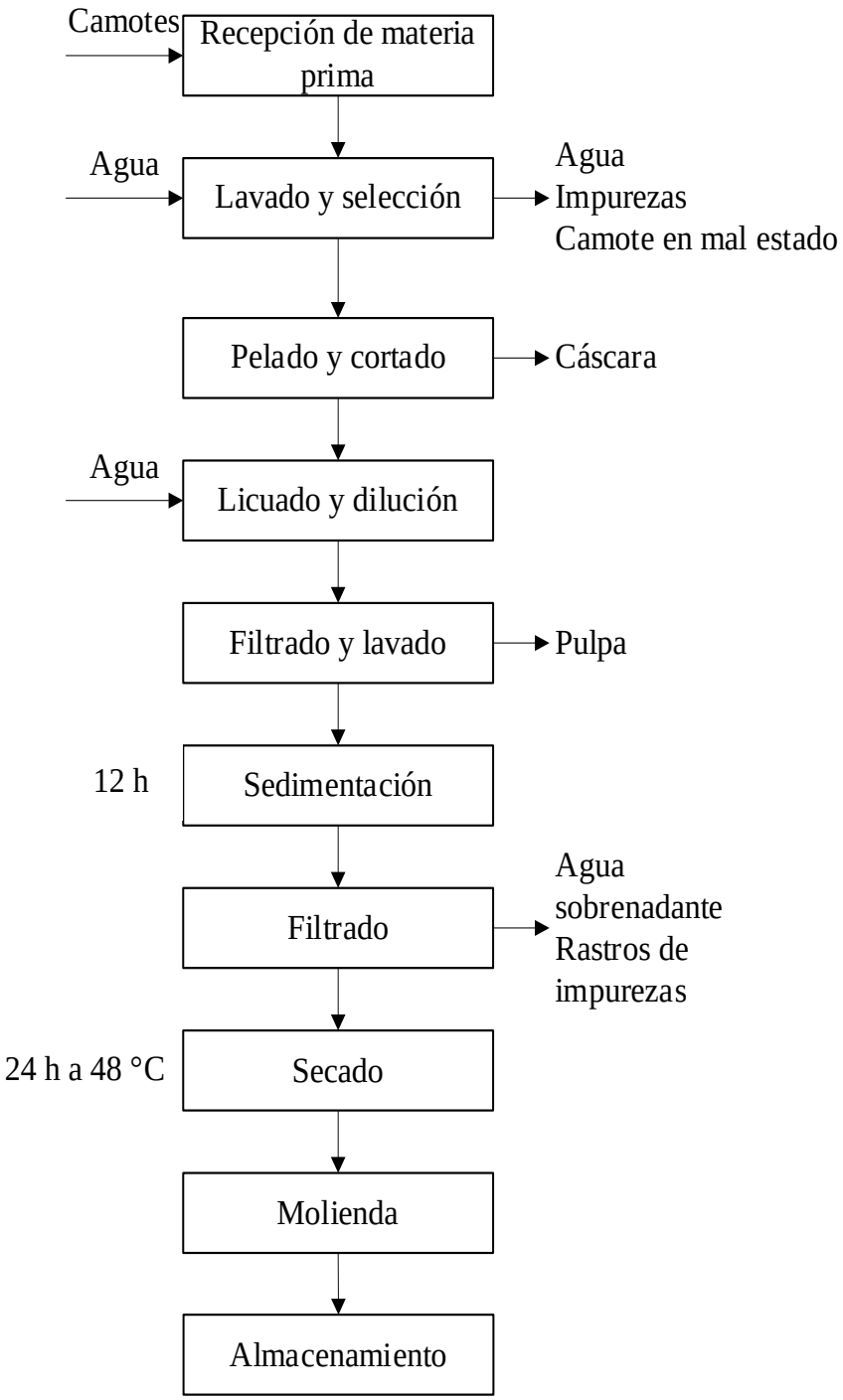
Molienda: Se retiro el almidón seco de las bandejas y se pasó por un molino industrial para reducir el tamaño de la materia seca.

Almacenamiento: Posteriormente se usó un tamizador en la malla Mesh 125 µm por un tiempo de 10 min a una amplitud de 0.75, el almidón obtenido se envasó en bolsas herméticas (polietileno de alta densidad).

4.1.2. Almidón de camote

Figura 11

Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de camote



- **Recepción:** Los camotes frescos fueron obtenidos en el mercado “La perla” de la ciudad de Chimbote y trasladadas a la planta piloto de la UNS, posteriormente fueron pesadas en la balanza RADWAG, para determinar su rendimiento.

- **Lavado y selección:** Los camotes fueron lavadas con ayuda de una esponja para remover todas las impurezas y con abundante agua, posteriormente se procedió a seleccionar clasificando los camotes en buen estado y descartando los camotes con deterioro microbiológico, picaduras de insectos o roedores. Los camotes en buen estado pasaron por una desinfección con hipoclorito de sodio al 20 ppm por un periodo de 3 minutos.

- **Pelado y cortado:** Se realizó el pelado de los camotes con la ayuda de una tabla, cuchillo y pelador, donde se obtuvo un 76.69% de pulpa de camote y 23.32%% de cascará. Luego se pasó al troceado en cubos de 3 a 5 cm para facilitar la etapa siguiente.

- **Licuado y dilución:** En esta etapa se utilizó una licuadora industrial por 1:30 min para facilitar la liberación de los gránulos de almidón, para ello se empleó agua en dilución de 1:3 (producto: agua), obteniendo una pasta.

- **Filtrado y lavado:** La pasta se pasó a filtrar con una tela y se lavó con agua en una proporción de 1:2 (pasta: agua), realizando 2 lavadas. En esta operación se añadió el agua de manera constante, exprimiendo la tela para remover y diluir el almidón, obteniendo así dos productos la pulpa y la lechada.

- **Sedimentación:** El líquido filtrado se dejó sedimentar en baldes grandes de capacidad de 20 L, por un tiempo de 12 horas en una cámara frigorífica a una temperatura de 6°C

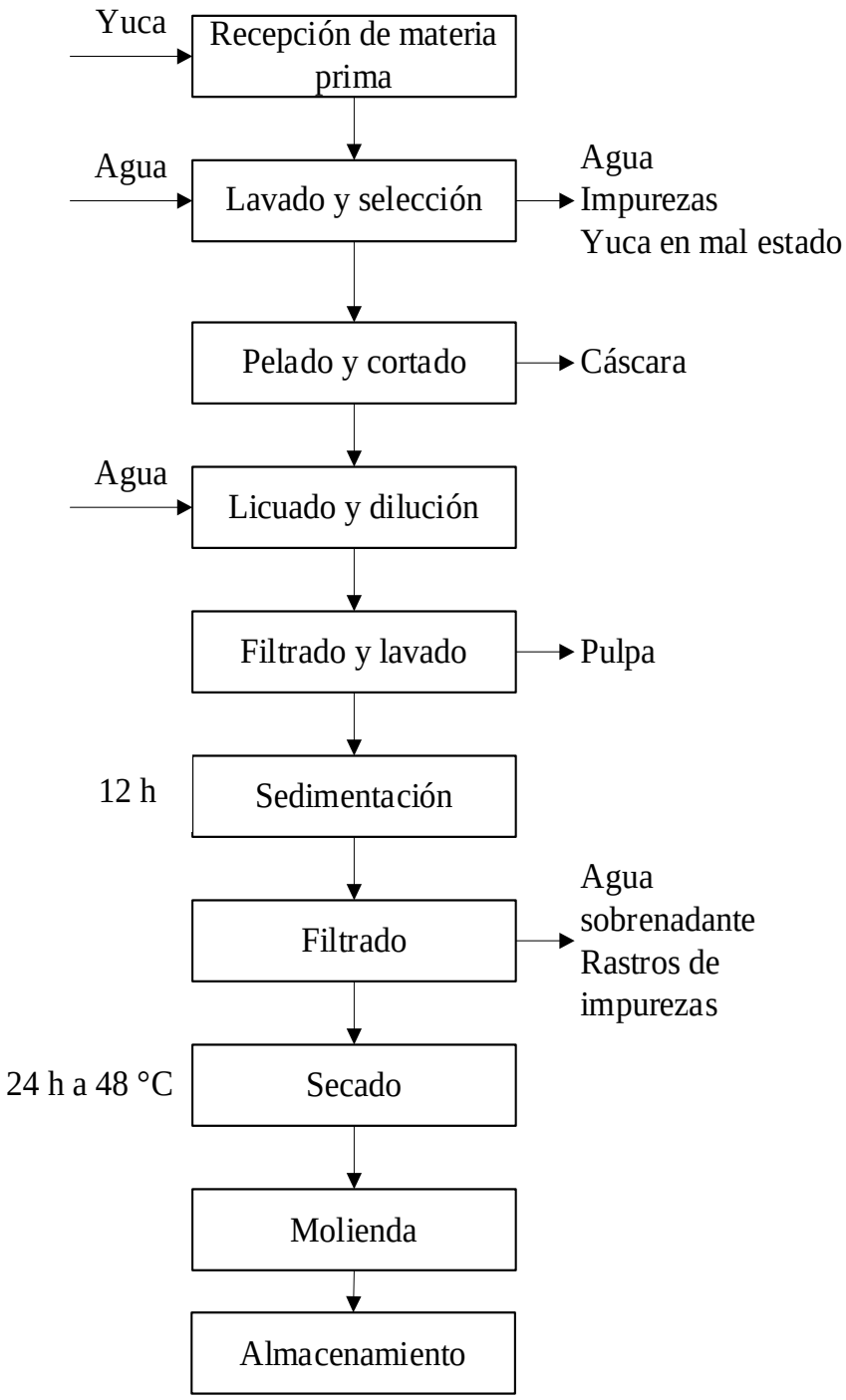
para evitar que se fermente.

- **Filtrado:** Transcurrido el tiempo de sedimentación, se retiró el agua sobrenadante y rastros de impurezas, quedando el almidón sedimentado.
- **Secado:** El almidón húmedo se extendió sobre bandejas de forma uniforme en una capa delgada para su correcto secado, luego las bandejas se pusieron en una estufa marca Thermolyne por un tiempo de 24 h a una temperatura 48° C. Donde se obtuvo un rendimiento de 9.28% de almidón seco.
- **Molienda:** Se retiro el almidón seco de las bandejas y se pasó por un molino industrial para reducir el tamaño de la materia seca.
- **Almacenamiento:** Posteriormente se usó un tamizador en la malla Mesh 125 µm por un tiempo de 10 min a una amplitud de 0.75, el almidón obtenido se envasó en bolsas herméticas (polietileno de alta densidad).

4.1.3. Almidón de yuca

Figura 12

Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de yuca



Para la extracción del almidón de yuca se realizó por molienda húmeda, teniendo como base los procedimientos descritos en García et al (2021).

- **Recepción:** Las yucas frescas fueron obtenidos en el mercado "La perla" de la ciudad de Chimbote y trasladadas a la planta piloto de la UNS, posteriormente fueron pesadas en la balanza RADWAG, para determinar su rendimiento.
- **Lavado y selección:** Las yucas fueron lavadas con ayuda de una escobilla para remover todas las impurezas (pedúnculo o pequeños tallos remanentes y tierra) y con abundante agua, posteriormente se procedió a seleccionar clasificando los camotes en buen estado y descartando las yucas con deterioro microbiológico, picaduras de insectos o roedores. Las raíces en buen estado pasaron por una desinfección con hipoclorito de sodio al 20 ppm por un periodo de 3 minutos.
- **Pelado y cortado:** Se realizó el pelado de las yucas con la ayuda de una tabla, cuchillo y pelador, donde se obtuvo un 65 % de pulpa y 35%% de cascará. Luego se pasó al troceado en cubos de 3 a 5 cm para facilitar la desintegración.
- **Licuado y dilución:** En esta etapa se utilizó una licuadora industrial por 1:30 min para facilitar la liberación de los gránulos de almidón contenidos en las células, para ello se empleó agua en dilución de 1:3 (producto: agua), obteniendo una pasta.
- **Filtrado y lavado:** La pasta se pasó a filtrar con una tela y se lavó con agua en una proporción de 1:2 (pasta: agua), realizando 2 lavadas. En esta

operación se añadió el agua de manera constante, exprimiendo la tela para remover y diluir el almidón, obteniendo así 2 productos la pulpa y la lechada.

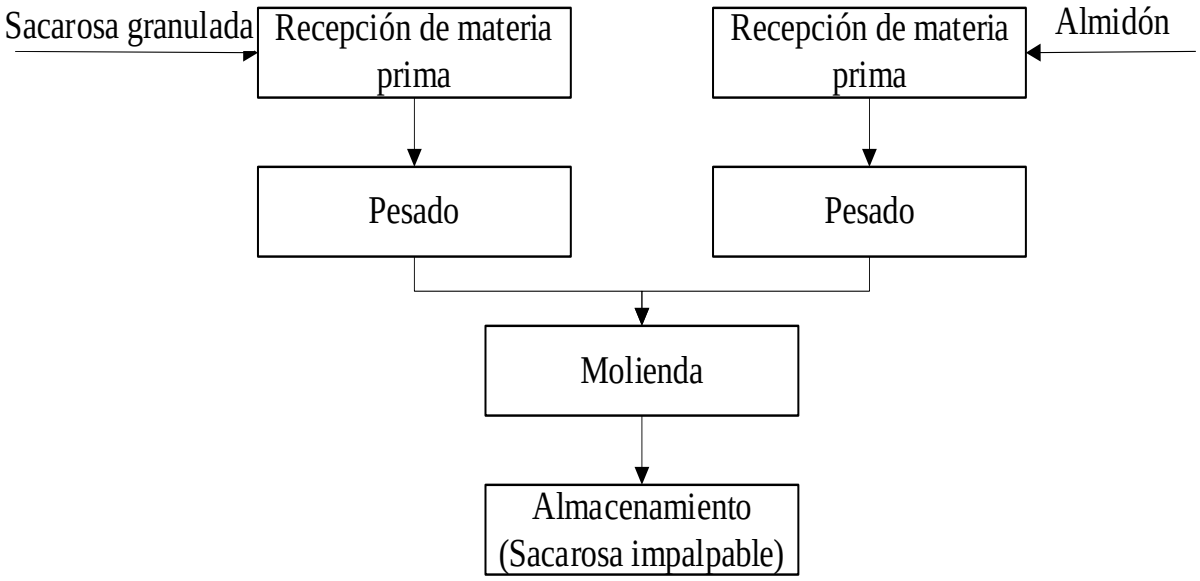
- **Sedimentación:** El líquido filtrado se dejó sedimentar en baldes grandes de capacidad de 20 L, por un tiempo de 12 horas en una cámara frigorífica a una temperatura de 6°C para evitar que se fermente.
- **Filtrado:** Transcurrido el tiempo de sedimentación, se retiró el agua sobrenadante y rastros de impurezas, quedando el almidón sedimentado.
- **Secado:** El almidón húmedo se extendió sobre bandejas de forma uniforme en una capa delgada para su correcto secado, luego las bandejas se pusieron en una estufa marca Thermolyne por un tiempo de 24 h a una temperatura 48° C. Donde se obtuvo un rendimiento de 15.74% de almidón seco.
- **Molienda:** Se retiro el almidón seco de las bandejas y se pasó por un molino industrial para reducir el tamaño de la materia seca.
- **Almacenamiento:** Posteriormente se usó un tamizador en la malla Mesh 125 µm por un tiempo de 10 min a una amplitud de 0.75, el almidón obtenido se envasó en bolsas herméticas (polietileno de alta densidad).

4.2. Proceso de elaboración de la sacarosa impalpable

Una vez obtenido los almidones se pasó a la elaboración de la sacarosa impalpable para ello se siguió el siguiente diagrama de flujo.

Figura 13

Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la sacarosa impalpable



- **Recepción de materia prima**

La azúcar granulada blanca fue obtenida en el mercado "La perla" de la ciudad de Chimbote y trasladadas al laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la UNS.

Los almidones obtenidos en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial fueron trasladados al laboratorio de análisis y composición de productos agroindustriales de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la UNS.

- **Pesado**

Se peso la azúcar granulada teniendo en cuenta que el peso del almidón debe estar en un porcentaje de 2, 2.5 y3% del azúcar. Para ello se empleó una balanza gramera y se separó en bolsas

herméticas, bien rotuladas. De acuerdo al diseño son 9 tratamientos, por lo que se obtuvieron 9 bolsas de azúcar granulada de peso constante.

Tabla 8

Codificación de las muestras de acuerdo a la formulación.

Código	Muestra (Sacarosa impalpable)
T1P	Sacarosa + 3% almidón de papa
T2P	Sacarosa + 2.5 % almidón de papa
T3P	Sacarosa + 2 % almidón de papa
T1C	Sacarosa + 3% almidón de camote
T2C	Sacarosa + 2.5 % almidón de camote
T3C	Sacarosa + 2 % almidón de camote
T1Y	Sacarosa + 3% almidón de yuca
T2Y	Sacarosa + 2.5 % almidón de yuca
T3Y	Sacarosa + 2 % almidón de yuca

- **Molienda**

En esta etapa se empleó un molino de cuchillas para reducir el tamaño de partícula del azúcar y mezclar el almidón añadido por cada porcentaje, la molienda se realizó por periodo de 1 minuto, obteniendo así la sacarosa impalpable.

- **Almacenamiento**

La sacarosa impalpable se puso en bolsas herméticas (polietileno de alta densidad) y se almaceno a temperatura ambiente.

4.3. Diseño experimental

En este estudio se determinará el efecto de los antiaglutinantes en las propiedades de flujo de sacarosa impalpable. Para ello se evaluará dos factores: el tipo y la concentración de los almidones para la elaboración de la sacarosa impalpable**,** en tres niveles de variación.

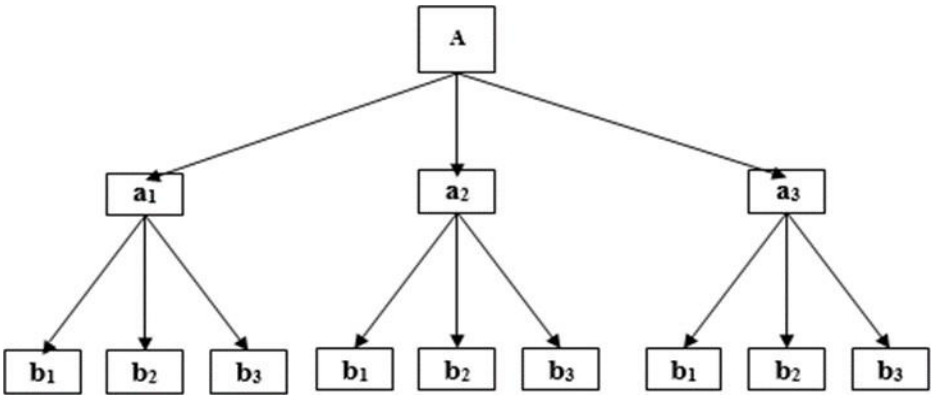
Tabla 9

Simulación de las formulaciones

Factores	**Nivel (-1)**	**Nivel (0)**	**Nivel (+1)**
Tipo de almidón	Almidón de papa	Almidón de camote	Almidón de yuca
Concentración	2%	2.5%	3%

Figura 14

Esquema del diseño experimental



El diseño experimental tiene 9 tratamiento y por triplicado serían un total de 27 corridas experimentales

Tabla 10

Matriz de diseño experimental

Tipo de almidón	Concentración de almidón		
	b0	**b1**	**b2**
	a0b0	a0b1	a0b2
a0	a0b0	a0b1	a0b2
	a0b0	a0b1	a0b2
	a1b0	a1b1	a1b2
a1	a1b0	a1b1	a1b2
	a1b0	a1b1	a1b2
	a2b0	a2b1	a2b2
a2	a2b0	a2b1	a2b2
	a2b0	a2b1	a2b2

Nota. Elaborado sobre el Paquete STATISTICA.

Donde:

A = Tipo de almidón:

a0: almidón de papa

a1: almidón de camote

a2: almidón de yuca

B = Concentración del almidón

b0: concentración de 2%

b1: concentración de 2.5%

b2: concentración de 3%

V. DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño de la investigación de acuerdo al tipo de estudio realizado fue de un Diseño Factorial Multinivel Completamente al Azar (DCA), con arreglo factorial de 1x**3**x3 = 9, donde 1 = azúcar blanca granulada, **3** = es el tipo de almidón (papa, camote y yuca) y 3 = es la concentración del almidón (2%, 2.5% y 3%).

5.1. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_i + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk}: Variable respuesta (Humedad, color, densidad, índice de Hausner, índice de Carr, ángulo de reposo).

μ: Media general

A_i: Efecto del tipo de almidón

B_i: Efecto de la concentración del almidón

$(AB)_{ij}$: Efecto de la interacción del tipo de almidón y la concentración

ε_{ijk}: Error experimental

5.2. Análisis estadístico

Se uso el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION para el procesamiento de los datos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. Caracterización de la materia prima

6.1.1. Rendimiento de los almidones

Se proceso 20 kg de papa, camote y yuca de acuerdo a los diagramas de flujo mostrados en la figura 10, 11 y 12, obtenido los resultados de la Tabla 11 donde la yuca presentó una mayor eficiencia de obtención del almidón con un rendimiento de 15.74%, seguida por el almidón de camote con 9.28% y finalmente el almidón de papa con 5.54%.

Tabla 11

Balance de extracción de los almidones

Operación	Papa (kg)	Camote (kg)	Yuca (kg)
Materia prima	20.049	20.007	20.002
Cáscara e impurezas	3.921	4.663	7.001
Pelado y Cortado	16.128	15.344	13.001
Filtrado (Almidón)	1.987	3.211	5.335
Almidón Seco	1.110	1.856	3.149
Rendimiento de almidón	**5.54%**	**9.28%**	**15.74%**

Con respecto al rendimiento del almidón de papa obtenido (5.54%), este fue superior a lo reportado por Guzmán (2023) que en su investigación obtuvo un rendimiento de 3.92%. Esta variación puede estar debido a que durante el proceso de extracción se redujo la merma, logrando obtener una mayor pulpa aprovechable y el adecuado proceso de lavado aplicado a

la torta, lo cual facilito una mayor liberación de los gránulos de almidón.

Por otro lado, el rendimiento del almidón de camote obtenido (9.28%), fue muy similar a lo obtenido por Coronel y Chipana (2022). Finalmente, el rendimiento del almidón de yuca fue de 15.74%, comparando con los demás almidones podemos ver que en la yuca se obtiene una mayor cantidad de almidón, debido a su elevado porcentaje de carbohidratos siendo la segunda fuente de almidón más importante.

6.1.2. Determinación de la humedad de los almidones

En la Tabla 12 se muestra los resultados obtenidos de humedad de los diferentes almidones (papa, camote y yuca):

Tabla 12

Resultado de humedad de los diferentes tipos de almidón

Almidón	Humedad
Papa	11.56 %
Camote	12.52%
Yuca	12.15%

La humedad del almidón de papa fue de 11.56% y del almidón de yuca fue de 12.15%, estos resultados tienen una ligera variación a lo obtenido por Neeraj et al. (2022) y García et al. (2021) respectivamente. Con respecto al almidón de camote el valor obtenido de humedad fue de 12.52%, teniendo una variación con lo reportado por Murillo et al. (2021). Estos autores mencionan que la variación de la humedad se debe al método empleado para la extracción del almidón, el grado de secado, las condiciones del cultivo y la variedad del tubérculo.

Los resultados de humedad obtenidos de los almidones de papa, camote y yuca están dentro del

rango permitido, ya que mayor al 13% podrían ocasionar crecimiento de mohos y levaduras que genera el deterioro del producto (Murillo et al., 2021). Por otro lado, de acuerdo a las especificaciones técnica de alimentos del Programa de Alimentación Escolar (PAE) – 2026, la humedad del almidón de papa cumple con lo máximo aceptable que es de 21% y del almidón de yuca de 13%, sin embargo, no existen especificaciones nacionales para el contenido de humedad máximo del almidón de camote.

6.1.3. Análisis granulométrico de los almidones

Se realizó el análisis granulométrico para determinar la proporción del tamaño de partículas distintos que se encuentran en el almidón, ya que para ser empleado como un agente antiaglutinante tiene que tener un porcentaje alto de tamaño de partícula menor a 100 µm (Barbosa, 2021), debido a que mientras más pequeños sean los gránulos tienen una mayor solubilidad en agua y una alta capacidad de absorción de agua (Coronel y Chipana, 2022), entonces de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 13, el almidón de papa y camote tienen una proporción de tamaño de partícula menor a 90 µm de 86.22% y 82.29% respectivamente, lo cual es aceptable para ser utilizados como aditivos antiaglutinantes.

Tabla 13

Análisis granulométrico de los almidones.

Tamiz (µm)	N° Tamiz	Almidón de papa	Almidón de camote	Almidón de yuca
250	60	98.48%	97.59%	83.07%
180	80	94.42%	93.60%	51.50%
125	120	91.04%	88.15%	36.49%
90	170	86.22%	82.29%	23.27%
75	200	80.94%	62.86%	17.22%

38	400	25.60%	18.39%	2.08%
38 ≥	Base	0.00%	0.00%	0.00%

En el caso del almidón de yuca, se aprecia que el 51.50% pasa a través de la malla 180 µm (N° 80) siendo retenido una cantidad considerable de 48.50%, lo que demuestra que no es posible realizar un correcto análisis granulométrico, debido a que se generó taponamiento en los tamices afectando así la separación de las partículas por tamaño, esto se atribuye la forma de los gránulos del almidón de yuca (forma truncada) que hace difícil su fluidez (Chamorro et al., 2025).

6.1.4. Color de los almidones

En la Tabla 14 se aprecia los resultados del color en parámetros de L*, a* y b* de los diferentes almidones obtenidos a partir de la papa, camote y yuca.

Tabla 14

Resultado del color de los almidones (L, a* y b*).*

Muestra	L*	a*	b*	Color
Almidón de papa	85.20 ± 0.23	0.56 ± 0.03	6.00 ± 0.05	85.42 ± 0.22
Almidón de camote	92.46 ± 0.27	-0.37 ± 0.02	5.95 ± 0.09	92.66 ± 0.26
Almidón de yuca	93.64 ± 0.31	-0.07 ± 0.02	3.16 ± 0.05	93.69 ± 0.31

Debido a que el almidón es de uso previsto como aditivo antiaglutinante alimentario, el color es muy importante para definir la aceptación del producto final en el mercado. De acuerdo a Vera Bravo y Chavarría Chavarría (2020) el color característico del almidón es de un polvo

blanco y el factor de luminosidad (L*) representa el color blanco. En la Tabla 14, se muestra los resultados del color del almidón, donde en la luminosidad (L*) va disminuyendo de acuerdo al tipo de almidón, siendo el valor de la luminosidad (L*) del almidón de yuca más cercano a 100 (blanco), seguido el almidón de camote con luminosidad de 92.46 y finalmente el almidón de papa con una luminosidad de 85.20. De acuerdo Neeraj et al. (2022), la blancura del almidón disminuye por la presencia de impurezas como la grasa, proteínas, cenizas, humedad y contenido de fibra cruda.

6.2. Caracterización de la sacarosa impalpable

6.2.5. Determinación de humedad y color de la sacarosa impalpable

Se determinó la humedad y color de la sacarosa impalpable empleando agentes antiaglutinante de tres tipos de almidones (papa, camote y yuca) a diferentes concentraciones de 2%, 2.5% y 3%, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 15.

Tabla 15

Resultados de humedad y color de la sacarosa impalpable.

Código	Humedad (%)	L*	a*	b*	Color (Lab)
T1P	0.13 ± 0.03	91.85	-0.92	2.19	91.88 ± 0.19
T2P	0.21 ± 0.03	93.54	-0.94	2.19	93.57 ± 0.11
T3P	0.32 ± 0.08	93.78	-0.91	2.09	93.80 ± 0.13
T1C	0.07 ± 0.04	94.47	-1.02	2.19	94.50 ± 0.04
T2C	0.10 ± 0.08	94.49	-1.04	2.33	94.52 ± 0.21
T3C	0.16 ± 0.00	94.53	-1.03	2.25	94.56 ± 0.04

T1Y	0.27 ± 0.13	94.39	-0.98	2.12	94.41 ± 0.06
T2Y	0.34 ± 0.13	94.39	-0.98	2.07	94.41 ± 0.01
T3Y	0.30 ± 0.19	94.44	-0.96	2.12	94.47 ± 0.06

Nota: 1: concentración 3% 2: concentración 2.5% 3: concentración 2%

En la Tabla 15 se muestran los valores de humedad de la sacarosa impalpable adicionada con almidones de papa, camote y yuca en diferentes concentraciones. Los valores oscilaron entre 0.07% y 0.34%, observándose que la humedad disminuyó conforme se incorporaron los almidones en la formulación de la sacarosa impalpable.

Este comportamiento se explica porque el almidón tiene la función de actuar como barreras protectoras contra la humedad en la superficie de la partícula de la sacarosa impalpable, logrando inhibir el apelmazamiento (Jagannadha Rao et al., 2023). Además, todas las muestras de sacarosa impalpable tienen contenidos de humedad menores al 2% reportados como crítico para la estabilidad de productos en polvo durante el almacenamiento (Irigoiti et al., 2021).

El análisis de varianza determinó que tanto el tipo de almidón como la concentración utilizada en la sacarosa impalpable influyen de manera significativa sobre los valores de humedad, con un valor-P menor que 0.05 (P = 0.0159), con un nivel de confianza del 95% (Anexo 1 y 2). Esto confirma que el tipo de almidón y la concentración empleada son factores significativos en el contenido final de la humedad de la sacarosa impalpable.

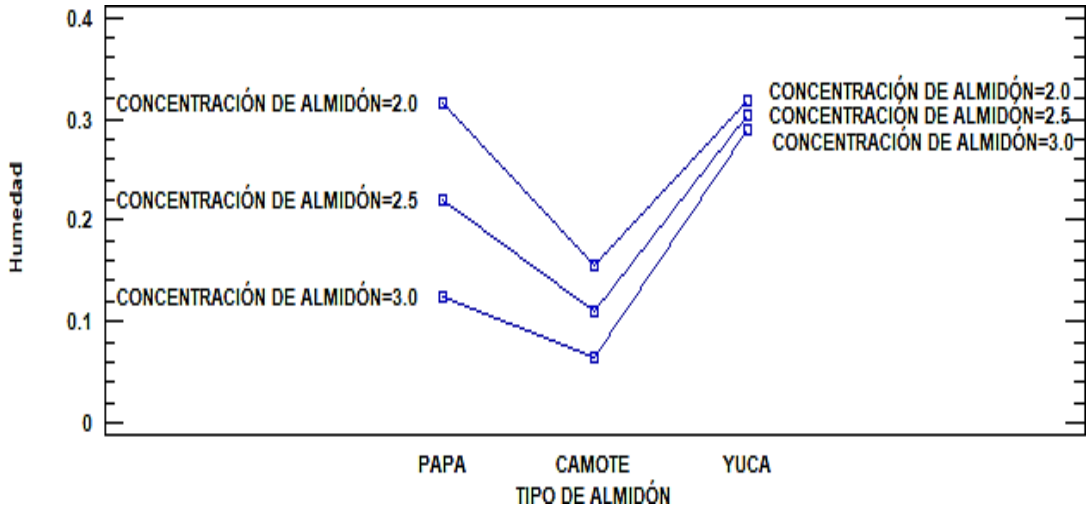
La variación observada entre tipos de almidón se atribuye a las diferencias estructurales de los gránulos. El almidón de camote presenta gránulos más pequeños en comparación con los de papa y yuca (Apriyanto et al., 2022; Ochoa, et al., 2021), lo que permite una distribución

más homogénea en la mezcla y, por ende, una mayor capacidad de retención de agua internamente (Coronel y Chipana, 2022), reflejado en los valores bajos de humedad registrados en las muestras adicionadas con almidón de camote (0.07–0.16%), en contraste con las de yuca (0.27–0.34%), que presentaron los valores más altos y la mayor variabilidad.

Asimismo, las muestras con mayor porcentaje de almidón (3%) bien incorporado redujeron la actividad de agua superficial, lo cual es consistente con lo reportado por Meng et al. (2019) sobre la función de los agentes antiaglutinantes. Sin embargo, en las muestras con almidón de yuca no se evidenció una tendencia clara entre concentración y humedad, posiblemente debido a una menor homogeneidad en la incorporación o a una mayor sensibilidad de este almidón a las condiciones ambientales durante el procesamiento.

Figura 15

Gráfica de interacción de humedad (%)



Nota: *La figura muestra la interacción entre el tipo de almidón (papa, camote, yuca) y la concentración (2.0%, 2.5% y 3.0%) sobre el contenido de humedad de la sacarosa impalpable.*

En la Tabla 15 se presentan las coordenadas de color (L*, a*, b* y Color Lab) de la sacarosa

impalpable adicionada con almidones de papa, camote y yuca en concentraciones de 3%, 2.5% y 2%. Los valores de Color (Lab) oscilaron entre 91.88 y 94.56, indicando que todas las formulaciones produjeron un producto con alta luminosidad.

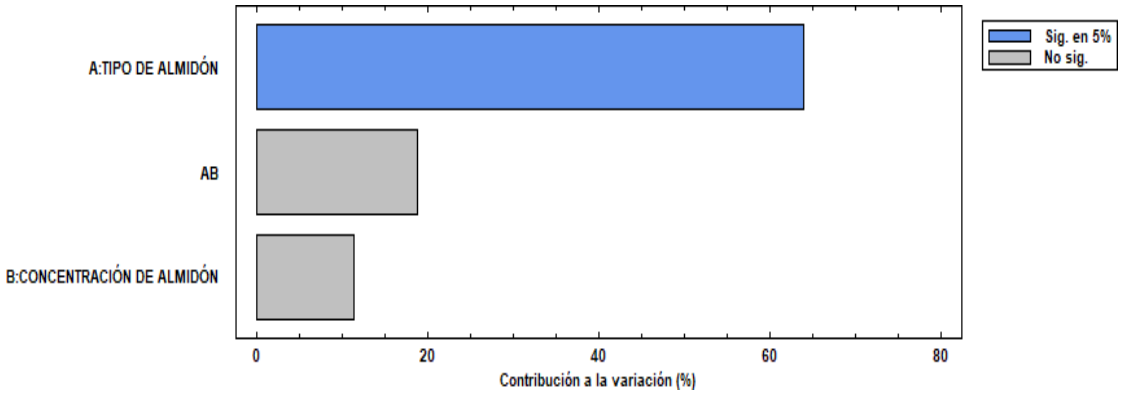
Las coordenadas del color de la sacarosa impalpable mostraron que, a mayor contenido de almidón de papa, camote y yuca, la luminosidad (L*) disminuyó. Estas variaciones se deben a los valores obtenidos de luminosidad (L*) de los almidones empleados como agentes antiaglutinantes (Tabla 14). La sacarosa impalpable tiene la apariencia de un polvo fino con un color blanco con coordenadas de L* = 95.52, a* = -0.447 y b* = 4.07 (Irigoiti et al., 2021) valores cercanos a los obtenidos en las muestras elaboradas con almidones de camote y yuca en el presente estudio.

El análisis de varianza del color (Anexo 3) mostró diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones evaluados (p = 0,0453), con un nivel de confianza del 95 %. Este resultado indica que la adición de los diferentes tipos de almidón, en distintas concentraciones, como agentes antiaglutinantes en la sacarosa impalpable genera diferencias en el color, lo cual puede influir en la aceptación del producto por parte de los consumidores, más no en las propiedades de flujo.

En el diagrama de Pareto (Figura 16) se identificaron los factores con efectos estadísticamente significativos sobre el color, siendo el tipo de almidón el factor principal.

Figura 16

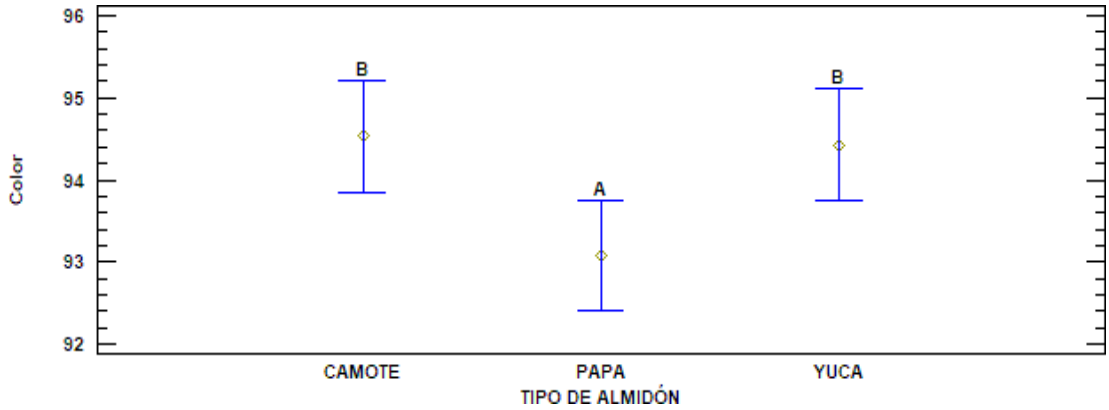
Diagrama de Pareto del color



Para identificar las diferencias entre los tipos de almidón, se realizó una prueba de comparación múltiple de medias mediante el método de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Los resultados mostraron que el almidón de papa difirió estadísticamente de los almidones de camote y yuca, mientras que entre estos dos últimos no se encontraron diferencias significativas (Figura 17). En el caso del almidón de papa, su intervalo no se traslapa verticalmente con ninguna de las otras medias, confirmando una diferencia estadísticamente significativa.

Figura 17

Gráfico de media del color de cada uno de los niveles de tipo de almidón



Los resultados del color de la muestra elaborada con almidón de papa a diferentes concentraciones tuvieron mayor variación en comparación con los resultados obtenidos de las muestras elaboradas con almidón de camote y yuca, esto es debido a que el color del almidón de papa reportado en esta investigación fue de 85.42 ± 0.22, valor que influye en el color de la sacarosa impalpable conforme se aumente la concentración, dando valores más bajos de luminosidad. De acuerdo Neeraj et al. (2022) el color a blanco disminuye por la presencia de impurezas en la muestra, lo cual es consistente con el comportamiento observado en las formulaciones con almidón de papa.

6.2.6. Análisis granulométrico de la sacarosa impalpable

Se realizó el análisis granulométrico de la sacarosa impalpable elaborado con tres de tipos de agentes antiaglutinantes (almidón de papa, camote y yuca) a diferentes concentraciones. En la Tabla 16 se presentan los porcentajes de sacarosa impalpable que pasa por cada malla, donde la formulación T2C (camote al 2.5%) registro el mayor porcentaje de partículas menores a 125 µm, seguida T3C, T1C, T1Y, T1P y con un menor porcentaje la formulación T3P.

Tabla 16

Análisis granulométrico de la sacarosa impalpable – % que pasa por la malla.

Tamiz (µm)	**N° Tamiz**	**T1P**	**T3P**	**T1C**	**T2C**	**T3C**	**T1Y**
355	**45**	83.16%	56.32%	90.26%	95.68%	93.04%	85.14%
250	**60**	72.46%	47.34%	78.18%	84.84%	82.34%	75.62%
180	**80**	58.68%	37.40%	63.50%	70.72%	68.22%	62.30%

125	**120**	45.18%	28.20%	49.20%	55.40%	54.16%	48.28%
90	**170**	22.40%	13.28%	23.92%	14.66%	9.70%	16.64%
38 ≥	**Base**	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

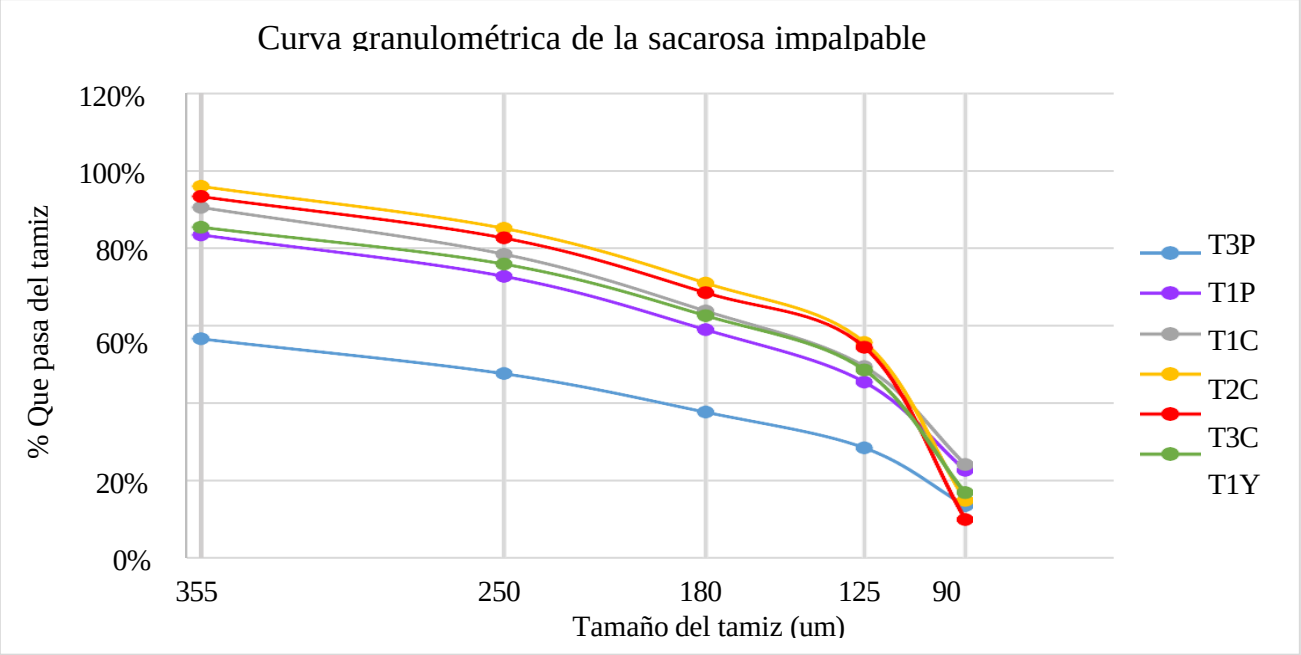
Nota: 1: concentración 3% 2: concentración 2.5% 3: concentración 2%

Los materiales en polvo con tamaños de partículas menores a 200 µm presentan mayor cohesión y tendencia apelmazarse afectando así la fluidez (Barbosa, 2021). Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que la sacarosa impalpable elaborada presenta un alto porcentaje de partículas menores a 200 µm, lo cual justifica la necesidad de adicionar almidón como agente antiaglutinante para prevenir el apelmazamiento y mejorar la fluidez del producto.

En la presente investigación, los resultados del análisis granulométrico evidenciaron diferencias en la distribución de tamaños de partícula de las formulaciones de sacarosa impalpable elaboradas con almidones de papa (P), camote (C) y yuca (Y). En el tamiz de 90 µm, los porcentajes variaron entre 9,70 y 23,92 %, registrándose valores mayores en T1C y T1P. Estas diferencias pese a que se prepararon a partir de una misma sacarosa previamente pulverizada, está relacionado con la incorporación de los almidones, debido a la estructura de los gránulos (Apriyanto et al., 2022; Ochoa et al., 2021) su distribución en la formulación y la posible formación de aglomerados.

Figura 18

Curva granulométrica de la sacarosa impalpable



En la Figura 18 se presenta la curva granulométrica de las formulaciones de sacarosa impalpable elaboradas con almidones, donde se observa una disminución del porcentaje acumulado de paso conforme se reduce la abertura de los tamices, comportamiento esperado en el análisis granulométrico, debido a que las partículas de mayor tamaño tienen menor posibilidad de atravesar las mallas de menor abertura.

El tamaño de partícula constituye una propiedad física importante de la sacarosa impalpable, debido a su influencia en la cohesión y la fluidez del producto. Según Suhag et al. (2024), la reducción del tamaño de partícula puede disminuir la fluidez de los polvos alimentarios debido al incremento de las interacciones cohesivas entre partículas, asociado con el aumento del área superficial. De acuerdo a McGuire et al. (2022) en su investigación evaluó la sacarosa en diferentes tamaños de partículas de 12 µm a 450 µm indica que este factor es uno de los principales a considerar durante la evaluación de la de la estabilidad en el almacenamiento de

la sacarosa.

6.2.7. Determinación de la densidad vertida y compactada de la sacarosa impalpable

En la presente investigación, se observa en la Tabla 17 los valores altos de la densidad vertida en las muestras T2P con 0.64 ± 0.01 g/ml y T1P con 0.63 ± 0.04 g/ml, mientras que el valor más bajo se registró en la muestra T1C con 0.57 ± 0.02 g/ml. De acuerdo a Barbosa (2021) esta variación puede estar debido a que la densidad está relacionada con el tamaño de la partícula de sacarosa impalpable, ya que las partículas de mayor tamaño ocupan un volumen superior y generan poros más grandes en comparación con los más pequeños. Asimismo, la forma de las partículas influye en esta propiedad debido a que las formas esféricas reducen el espacio intersticial. Esta reducción del espacio permite alcanzar una alta densidad, una característica ideal para optimizar el almacenamiento y minimizar los costos de transporte y empaque (Vera et al, 2022).

Se realizó el análisis de varianza de los resultados obtenidos de la densidad vertida para comparar las medias de la sacarosa impalpable donde en el Anexo 4 se reporta que los valores-P son mayores al 0.05 (0.2052 > 0.05), determinando que no hay diferencias estadísticamente significativas de cada uno de los factores sobre la densidad vertida, es decir el tipo de almidón (papa, camote y yuca) y las concentración empleadas para la elaboración de la sacarosa impalpable no influyeron en los resultados de la densidad vertida.

Tabla 17

Resultados de la densidad vertida y compactada de la sacarosa impalpable

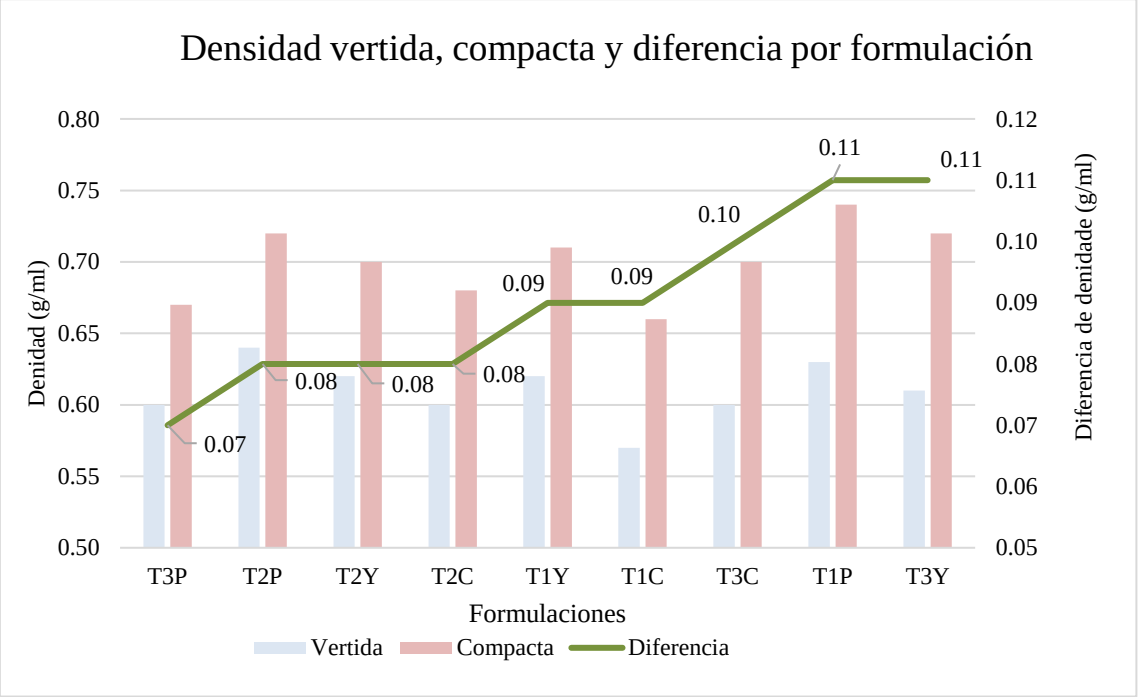
Código	Densidad vertida (g/ml)	Densidad compactada (g/ml)
T1P	0.63 ± 0.04	0.74 ± 0.03
T2P	0.64 ± 0.01	0.72 ± 0.01
T3P	0.60 ± 0.01	0.67 ± 0.02
T1C	0.57 ± 0.02	0.66 ± 0.02
T2C	0.60 ± 0.01	0.68 ± 0.01
T3C	0.60 ± 0.01	0.70 ± 0.01
T1Y	0.62 ± 0.01	0.71 ± 0.02
T2Y	0.62 ± 0.01	0.70 ± 0.01
T3Y	0.61 ± 0.01	0.72 ± 0.02

Nota: 1: concentración 3% 2: concentración 2.5% 3: concentración 2%

Asimismo, en la Tabla 17 podemos observar que los resultados obtenidos de la densidad compacta son mayores a la densidad vertida, con valores de 0.74 ± 0.03 g/ml (T1P) hasta 0.66 ± 0.02 g/ml (T1C), destacando la formulación con mayor densidad compacta a la sacarosa impalpable elabora con almidón de papa. Esto es debido a que esta propiedad está relacionada con la porosidad ya que a medida que pasa el tiempo, el movimiento de partículas hace que se reduzca los espacios (porosidad) y por ende el volumen, generando que la densidad compacta aumente (Barbosa, 2021).

Figura 19

Gráfica de comparación de la densidad vertida, compactada y su diferencia (g/ml)



La Figura 19 muestra el comportamiento de la densidad vertida y compacta en las nueve formulaciones evaluadas, en las cuales el almidón cumple la función de agente antiaglutinante. En todos los casos, la densidad compacta superó a la vertida, confirmando que, aun con la presencia del almidón como antiaglutinante, el fenómeno de apelmazamiento no se elimina por completo. Las diferencias oscilaron entre 0.07 y 0.11 g/ml, siendo T3P la formulación con menor diferencia, lo que sugiere que la combinación de almidón de papa a concentración 2% favorece una mayor eficacia del antiaglutinante, reflejada en una menor cohesión entre partículas y mejor fluidez. En contraste, T1P y T3Y presentaron las mayores diferencias (0.11 g/ml), evidenciando que, bajo esas combinaciones, el antiaglutinante no logró contrarrestar eficazmente la tendencia al apelmazamiento.

Estos resultados son coherentes con el análisis de varianza (Anexo 5), que mostró un efecto estadísticamente significativo de las concentraciones y el tipo de almidón sobre la densidad

compacta ($p = 0.0423 < 0.05$), lo cual indica que, incluso en presencia de antiaglutinante, la formulación sigue siendo un factor determinante en el comportamiento de fluidez del producto. Este hallazgo coincide con lo reportado por Vera et al. (2022), quienes señalan que la densidad compacta permite cuantificar objetivamente la tendencia de un polvo a compactarse y que la eficacia de los antiaglutinantes está condicionada por el tipo de agente empleado y su concentración en la formulación.

6.2.8. Determinación del índice Hausner y el índice de Carr de la sacarosa impalpable

De acuerdo con Farshchi et al. (2024), los parámetros del índice de Carr (IC) y el índice de Hausner (IH) permiten evaluar las características de fluidez de un polvo mediante la relación entre su densidad vertida y su densidad compactada. En función de ello, en la Tabla 18 se reportan los valores de IH obtenidos para las diferentes formulaciones de sacarosa impalpable, los cuales oscilaron entre 1.12 (T3P) y 1.18 (T3Y), valores considerados indicativos de un buen flujo. Asimismo, los valores de IC variaron entre 10.81 % (T3P) y 15.11 % (T3Y), lo que corresponde a polvos con una fluidez que va de excelente a buena y con baja tendencia de pegajosidad, según los criterios de interpretación previamente detallada en la Tabla 4. Entre todas las formulaciones evaluadas, destacó la muestra T3P.

Tabla 18

Resultados del índice de Hausner (IH) y el índice de Carr (IC)

Código	IH	IC (%)
T1P	1.17	14.56
T2P	1.13	11.26
T3P	1.12	10.81

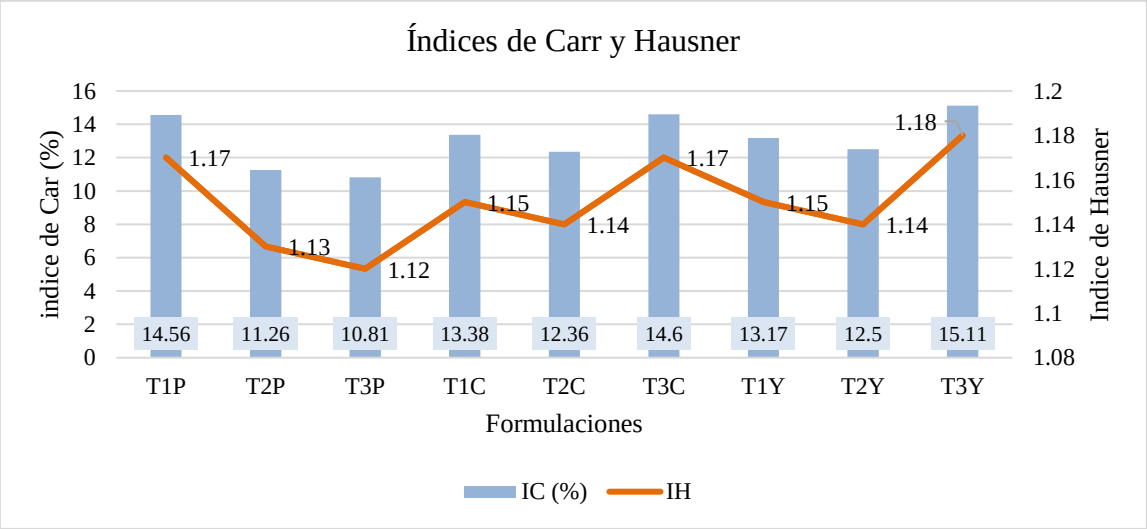
T1C	1.15	13.38
T2C	1.14	12.36
T3C	1.17	14.6
T1Y	1.15	13.17
T2Y	1.14	12.5
T3Y	1.18	15.11

Nota: 1: concentración del 3 %; 2: concentración del 2.5 %; 3: concentración del 2 %. P: Papa; C: Camote; Y: Yuca.

Como se observa en la Figura 20, el comportamiento de ambos índices es plenamente concordante. Todas las formulaciones se mantuvieron por debajo o al ras de los límites críticos establecidos para polvos con buena capacidad de flujo (IC ≤ 15 % e IH ≤ 1.18) (Muhammad et. 2020). Donde se evidencia que la muestra T3P (2 % almidón de papa) exhibió el valor más bajo de toda la serie para el índice de Hausner (1.12) e índice de Carr.

Figura 20

Comparación de los índices de Carr (IC) y Hausner (IH) según el tipo y concentración de almidón



Nota. Las barras azules corresponden al Índice de Carr (%) leídas en el eje vertical izquierdo.

La línea naranja representa el Índice de Hausner leído en el eje vertical derecho. Ambas variables muestran un comportamiento equivalente en la caracterización de la fluidez del polvo. Al evaluar el IC y el IH en un rango de concentración del 2 % a 3 %, se determinó que los tres almidones actúan eficazmente como agentes antiaglutinantes, clasificando a todas las mezclas dentro de un rango de fluidez de muy buena a buena. Se observó un comportamiento dependiente de la concentración y del tipo de almidón: el almidón de papa presentó una mejora lineal en la fluidez al disminuir la concentración, alcanzando su punto óptimo al 2 % de almidón (T3P; IC = 10.81 %, IH = 1.12).

Este comportamiento se atribuye a que el almidón de papa posee gránulos de mayor tamaño, que oscilan entre 15 y 75 µm, con formas predominantemente ovaladas y esféricas (Apriyanto et al., 2022; Ochoa et al., 2021), factores que reducen la fricción interpartículares y favorecen la capacidad de flujo. En esta misma línea, Barbosa (2021) señala que las muestras con mayor tamaño de partícula una menor área superficial específica y, por ende, una menor fuerza de cohesión. Esto concuerda con el análisis granulométrico previo, donde la muestra T3P concentró la mayor proporción de partículas de mayor tamaño en comparación con las demás formulaciones

Por otra parte, Irigoiti et al. (2021) reportaron valores de IC para sacarosa cocristalizada con propóleo (CP20 = 13.94 %; CP30 = 15.62 %) y para sacarosa pura (9.09 %), estos corresponden a una matriz y un proceso distintos al de la presente investigación. No obstante, el valor de IC obtenido para T3P (10.81 %) resulta cercano al de la sacarosa pura reportada por dichos autores, lo que sugiere que la adición física de 2 % de almidón de papa no compromete la fluidez de la sacarosa impalpable, sino mejora respecto a formulaciones cocristalizadas.

En cuanto a la comparación con otros agentes antiaglutinantes, Nurhadi et al. (2020) evaluaron

el fosfato tricálcico (TCP) como antiaglutinante en azúcar de coco, encontrando mejoras en la fluidez similares a las observadas en el presente estudio. Sin embargo, a diferencia del TCP, que es un agente inorgánico, el almidón de papa empleado en esta investigación constituye una alternativa natural y de grado alimentario, lo que resulta ventajoso desde el punto de vista de la formulación limpia y la aceptación del consumidor.

Finalmente, respecto al índice de Hausner y al índice de Carr, el análisis de varianza indicó que el tipo de almidón y las concentraciones empleadas en la elaboración de la sacarosa impalpable no tuvieron un impacto significativo en los valores obtenidos ($p > 0.05$) (Anexos 6 y 7). Esto sugiere que, dentro del rango evaluado (2 % a 3 %), los tres almidones (papa, camote y yuca) ejercen un efecto antiaglutinante similar, y que la ligera superioridad numérica de T3P no alcanza significancia estadística. No obstante, desde el punto de vista tecnológico, la formulación T3P resulta la más conveniente por requerir la menor concentración de almidón para alcanzar la mejor fluidez.

6.2.9. Determinación del ángulo de reposo

De acuerdo con Vera et al. (2022), el ángulo de reposo permite identificar la relación de la fricción y la cohesión de los polvos en condiciones de flujo libre. En la Tabla 19 se presentan los resultados del ángulo de reposo de la sacarosa impalpable, cuyos valores oscilaron entre 42.60° y 54.27°. El menor valor correspondió al tratamiento T3P (42.60 ± 0.68°), seguido de T3C (44.77 ± 1.12°) y T2P (45.39 ± 0.39°), mientras que el mayor se registró en T3Y (54.27 ± 0.99°). Estos resultados evidencian variaciones numéricas entre las formulaciones evaluadas.

Para la interpretación del ángulo de reposo, se consideraron los intervalos de clasificación del ángulo de reposo citados por Irigoiti et al. (2021), quienes establecen que los valores

comprendidos entre 30° y 45° indican que el material posee la capacidad de fluir libremente; el rango de 45° a 60° corresponde a polvos con una fluidez aceptable, mientras que los valores superiores a 60° son indicativos de materiales estrictamente cohesivos. Entonces la muestra T3P (2 % almidón de papa), al registrar un ángulo de 42.60 ± 0.68°, se clasificó dentro del rango de flujo libre. Por su parte, el resto de las muestras (que oscilaron entre 44.77° y 54.27°) se clasificaron con una fluidez aceptable, sin que ninguna formulación alcanzara el umbral crítico de los materiales cohesivos (> 60°).

Tabla 19

Resultado del ángulo de reposo en las formulaciones de la sacarosa impalpable

Código	Ángulo de reposo (°)
T1P	52.24 ± 0.47
T2P	45.39 ± 0.39
T3P	42.60 ± 0.68
T1C	50.57 ± 0.79
T2C	51.77 ± 1.73
T3C	44.77 ± 1.12
T1Y	52.10 ± 0.34
T2Y	53.13 ± 1.20
T3Y	54.27 ± 0.99

Nota. Los valores representan la media de tres repeticiones ± desviación estándar (DS). 1: concentración del 3 %; 2: concentración del 2.5 %; 3: concentración del 2 %. P: Papa; C:

Camote; Y: Yuca.

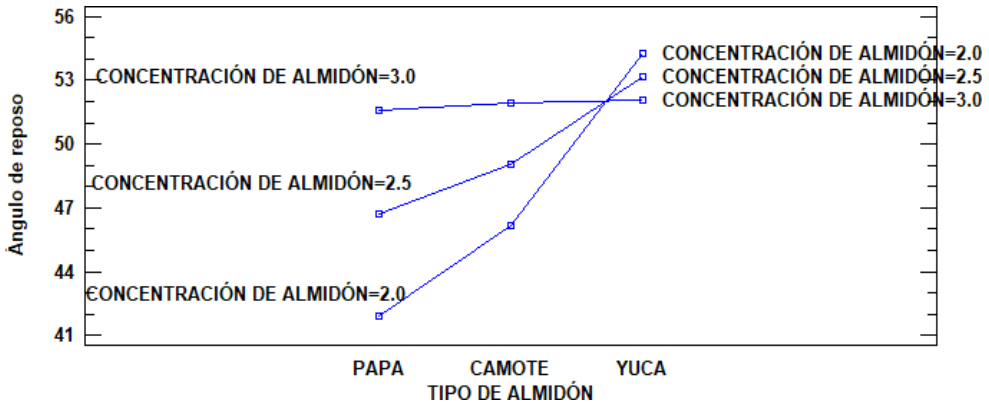
De acuerdo con Suhag et al. (2024), la fluidez de los alimentos en polvo está relacionada con propiedades físicas como el tamaño y la forma de las partículas, el contenido de humedad y las fuerzas de interacción entre ellas. Asimismo, McGuire et al. (2022) estudiaron la influencia del tamaño de partícula y la composición sobre el comportamiento de flujo de distintos polvos alimentarios, incluida la sacarosa. Estos antecedentes permiten considerar que las características físicas de los componentes de la sacarosa impalpable podrían contribuir a las variaciones observadas en el ángulo de reposo de las formulaciones elaboradas con almidón de papa, camote y yuca.

Sin embargo, en el Anexo 8 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) de los resultados del ángulo de reposo, indicó que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las formulaciones ($p = 0.0944 > 0{,}050$); dado que los resultados del presente estudio no demostraron diferencias estadísticamente significativas, no es posible atribuir las variaciones numéricas exclusivamente al tipo o a la concentración del almidón.

En la Figura 21, en las formulaciones con almidón de papa, el ángulo de reposo disminuyó a medida que la concentración del antiaglutinante se redujo del 3 % al 2 %, mientras que en las formulaciones que contenían almidón de camote, el ángulo de reposo con menor valor se halló en la muestra T3C (concentración 2 %) con 44.77 ± 1.12°. Esto puede deberse a la distribución granulométrica y a la cantidad de partículas finas en la muestra; tal como señala Barbosa (2021), a menor tamaño de partícula, el área superficial específica se incrementa, elevando la fricción interna y reduciendo el flujo libre del polvo.

Figura 21

Grafica de interacción para el ángulo de reposo



6.3. Determinación de la formulación con mejores propiedades de flujo

Se determinó que la formulación T3P, constituida por sacarosa impalpable y un 2 % de almidón de papa como agente antiaglutinante, presentó el comportamiento más favorable entre las formulaciones evaluadas en los indicadores relacionados con la fluidez. Esta muestra registró los menores valores del índice de Carr (10.81 %) y del índice de Hausner (1.12), así como el menor ángulo de reposo (42.60 ± 0.68°), atribuidos al mayor tamaño y morfología de los gránulos de la fuente botánica. Asimismo, al lograr mejorar sus propiedades con una menor concentración, representa la alternativa una ventaja potencial en términos de consumo de agente antiaglutinante.

Asimismo, realizando la optimización de los resultados en el programa STATGRAPHICS CENTURION, de las variables respuestas. Las características óptimas de los factores experimentales han sido determinadas como se precisa en el Tabla 20, donde la sacarosa elaborada con almidón de papa a una concentración del 2% tienen mejores resultados en las variables analizadas. Con estas características, las variables respuesta generan un índice de deseabilidad de 81.95%.

Tabla 20

Factores establecidos y óptimo de la formulación para la elaboración de la sacarosa impalpable

Factor	Establecimiento
Tipo de almidón	PAPA
Concentración de almidón (%)	2.0

6.3.1. Isoterma de sorción de agua de la sacarosa impalpable

El estudio de la isoterma de sorción es fundamental para predecir la vida útil y la estabilidad de los alimentos en polvo durante el almacenamiento, ya que relaciona la actividad de agua (a_w) con el contenido de humedad de equilibrio (X_e) a una temperatura constante (Farshchi et al. 2024). En esta investigación, se evaluó la formulación T3P (sacarosa impalpable con 2% de almidón de papa) por ser la de mejores propiedades de flujo. En la Tabla 21 se presentan los resultados experimentales, observándose un incremento progresivo de X_e desde 0.00055 hasta 0.01504 g/g b.s. a medida que la a_w aumentó de 0.14 a 0.61. De acuerdo Iji et al. (2025) este comportamiento se debe al proceso de sorción impulsado por la transferencia de masa el cual continúa hasta un punto en el que no se observa variación en el peso de la muestra, momento en el cual la muestra alcanza el equilibrio dinámico.

Tabla 21

Contenido de humedad de equilibrio de la sacarosa impalpable

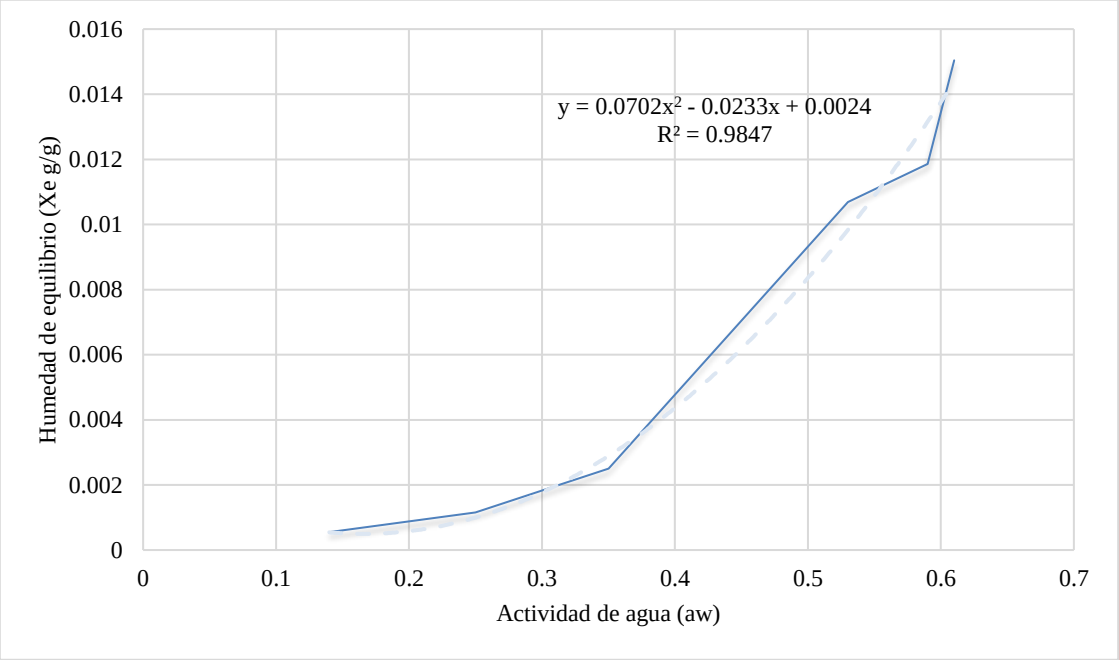
Sales Saturadas	Actividad de agua experimental (a_w)	Humedad de equilibrio (Xe g/g bs) - T3P
Cloruro de litio	0.14	0.00055

Acetato de potasio	0.25	0.00115
Cloruro de magnesio	0.35	0.00250
Nitrito de sodio	0.53	0.01069
Cloruro de sodio	0.59	0.01186
Cloruro de potasio	0.61	0.01504

A partir de los datos experimentales, se realizó la gráfica de la Figura 22, la isoterma presentó una forma cóncava hacia arriba, clasificándose como una isoterma de Tipo III, de acuerdo con Iji et al. (2025), este tipo de isoterma es característica de sustancias cristalinas, lo que concuerda con la naturaleza de la sacarosa. Se observó una baja adsorción en el rango de $a_w < 0.35$, lo que indica que el producto es estable en ambientes secos, este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza higroscópica del almidón de papa, el cual compite por el agua disponible. Sin embargo, a partir de $a_w > 0.53$, se evidencia un incremento abrupto en la ganancia de humedad, lo que sugiere que la exposición a humedades relativas altas genera un incremento de la cohesión y la formación de puentes líquidos, afectando negativamente su fluidez (Suhag et al. 2024)

Figura 22

Isoterma de sorción de la sacarosa impalpable elaborado con almidón de papa al 2%, con los datos experimentales



Para modelar matemáticamente este comportamiento, se evaluaron distintos modelos, seleccionando el de GAB (Guggenheim-Anderson de Boer**)** por presentar el mejor ajuste a los datos experimentales, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9847. Este modelo es ampliamente recomendado para alimentos con altos contenidos de azúcares, ya que describe con precisión el comportamiento en un amplio rango de a_w (hasta 0.95), a diferencia del modelo de BET que se limita a $a_w < 0.50$ (Paredes, 2022).

En el Tabla 22 se detallan los parámetros estimados por el modelo GAB. El contenido de la humedad de la monocapa (Xm) de la sacarosa impalpable con almidón de papa al 2%, fue de 0.0426 g/g bs, valor que indica el punto óptimo de estabilidad de la sacarosa impalpable, donde el agua está fuertemente adsorbida en la superficie, evitando alguna reacción de deterioro. Este resultado es muy similar al reportado por Nurhadi et al. (2020) para azúcar de coco en

polvo convencional (0.042 g/g b.s.).

Tabla 22

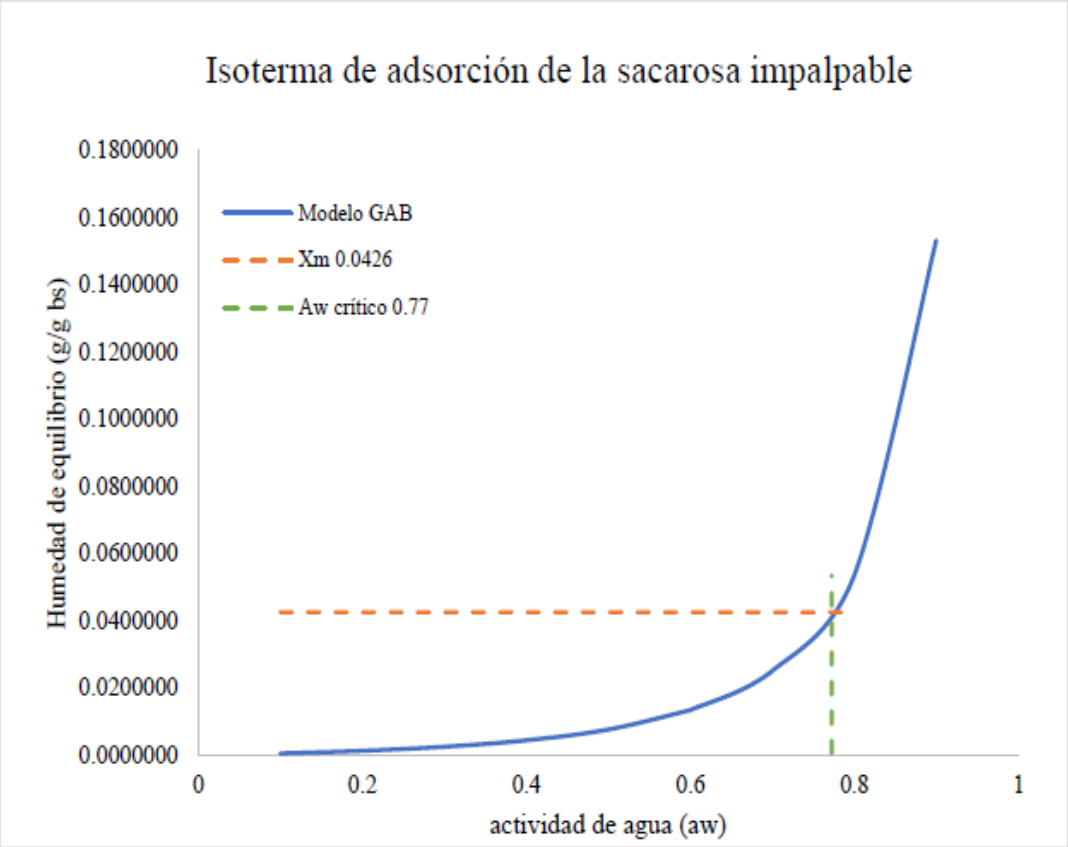
Parámetros de GAB estimado para la sacarosa impalpable (T3P)

Muestra	Parámetros	Valor
T3P	**Xm (g/g bs)**	0.0426
	C	0.1063
	K	0.9767
	R^2	0.9960

En la Figura 23 se aprecia la curva ajustada por el modelo GAB, la isoterma de sorción obtenido fue de tipo III o forma de "J" que generalmente se muestra en los alimentos hidrosolubles como lo es la sacarosa impalpable, donde se aprecia que al iniciar hay poca adsorción del agua debido a que el agua solo se asocia a los grupos hidroxilo (-OH) de la superficie. Esta débil interacción inicial se ve reflejada en el bajo valor del parámetro C (0.1063); pero a medida que la actividad de agua aumenta se genera que los azúcares se disocien obteniendo una solución, fenómeno que se ve reflejado en el parámetro K (0.9767), el cual, al ser cercano a 1, indica que el agua en las capas superiores se comporta termodinámicamente como agua líquida pura. En consecuencia, esto genera el incremento abrupto de la humedad en el producto (Paredes, 2022).

Figura 23

Isoterma de sorción de la sacarosa impalpable elaborado con almidón de papa al 2%.



La actividad de agua crítica obtenido en esta investigación fue de 0.77, donde la sacarosa por encima de este presenta problemas de apelmazamiento e inicia el proceso de delicuescencia (sólido a liquido). Los alimentos con alto contenido de azúcar mantienen una humedad casi constante hasta alcanzar este punto crítico (Clément et al., 2018).

Al comparar este resultado con lo reportado por Hernández-Reyes et al. (2022), quienes indican que la sacarosa con partículas superiores a 0.425 mm se apelmaza a una humedad relativa del 67.89% a 30°C (equivalente a una a_w de 0.68), se observa que la formulación T3P presenta una mayor resistencia a la humedad (a_w crítica de 0.77) a pesar de poseer un tamaño de partícula mucho menor (sacarosa impalpable). Esta diferencia evidencia el efecto

protector del almidón de papa al 2%, el cual actúa como una barrera física que recubre los cristales de sacarosa y compite por la humedad disponible, retrasando así el inicio de la delicuescencia.

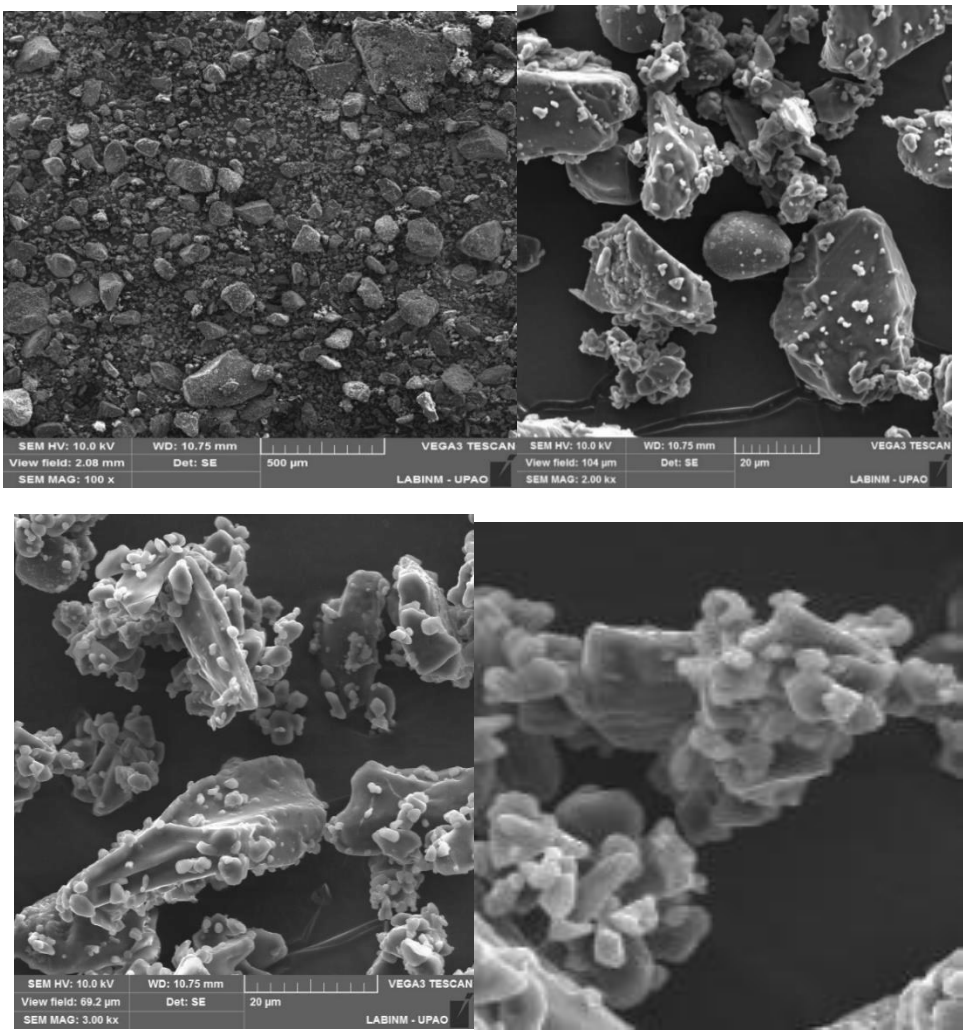
Asimismo, con Nurhadi et al. (2020), reportaron el inicio de la delicuescencia a una a_w de 0.75 para muestras de azúcar de coco con antiaglutinante, resultado muy cercano al obtenido en esta investigación. Este retraso en el punto crítico se debe a que los agentes antiaglomerantes evitan el apelmazamiento mediante mecanismos de competencia por la humedad, creando barreras o recubriendo las superficies disponibles sin experimentar pegajosidad (Ueda et al., 2023).

6.3.2. Micrografía electrónica de barrido

En la Figura 24 se presentan las micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). En la imagen de la izquierda (menor aumento), se observa la morfología irregular de los cristales de sacarosa impalpable. En las imágenes de la derecha (mayor aumento), se evidencia claramente la adherencia de los gránulos de almidón de papa, los cuales, al poseer un menor tamaño, se incrustan y distribuyen sobre la superficie rugosa del cristal de azúcar. Esta disposición física actúa como una barrera protectora contra la humedad, evitando que la sacarosa entre en contacto directo con el vapor de agua y retrasando así el apelmazamiento (Meng et al., 2019).

Figura 24

Morfología superficial de la sacarosa impalpable



Por otro lado, Farshchi et al. (2024) emplearon el SEM para analizar la química superficial y el comportamiento de apelmazamiento de los cristales de azúcar. Sus hallazgos demostraron que las irregularidades e impurezas en la superficie del cristal actúan como sitios de nucleación para la humedad, lo que incrementa la higroscopicidad y promueve la formación de puentes sólidos entre las partículas. Esta evidencia resalta la importancia de evaluar la superficie de la sacarosa cuando se le incorporan aditivos.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se logro determinar el rendimiento de los almidones obteniendo un mayor porcentaje en el almidón de yuca con 15.74%, luego el almidón de camote y papa con 9.28% y 5.54% respectivamente, asimismo se determinó la humedad de los almidones donde los valores obtenidos están dentro del rango permitido, es decir menor al 13% para evitar la proliferación de mohos y levaduras. Con respecto al tamaño de partícula el almidón de papa y camote tienen una proporción de tamaño de partícula menor a 90 μm con 86.22% y 82.29% respectivamente, lo cual es aceptable para ser utilizados como aditivos antiaglutinantes. También se determinó el color de los almidones determinado por el resultado del factor de luminosidad (*L) obteniendo resultados cercanos a 100 (blanco) siendo el más cerca el almidón yuca.

- Se logro determinar la humedad de la sacarosa impalpable donde se observó que a medida que la concentración del almidón aumenta, la humedad disminuye, debido a que el almidón actúa como barreras protectoras contra la humedad en la superficie de la sacarosa impalpable, logrando inhibir el apelmazamiento. También se determinó el color la sacarosa impalpable donde los valores de la coordenada L* son cercanos a 100 (blanco) donde hubo diferencia significativa ($p<0.05$) por el tipo de almidón empleado en la muestra, se realizó el análisis de tamaño de partícula donde las muestras T1P, T1Y y las muestras que contienen almidón de camote, están dentro de los parámetros por literatura de la sacarosa impalpable.

- Se logro determinar las propiedades de flujo de la sacarosa impalpable mediante el índice de Hausner, Carr y ángulo de reposo, dando como resultado de una buena fluidez y poca pegajosidad destacando las formulaciones T3P, T1P, T2C y T2Y.

- Se determinó la formulación con mejores propiedades de flujo mediante optimización de las variables respuestas concluyendo que la sacarosa elaborada con almidón de papa a una concentración del 2% tienen mejores resultados en las variables analizadas el cual tiene un contenido de humedad de monocapa de 0.0426 g/g bs siendo este el punto óptimo de estabilidad para la muestra con una actividad de agua critica de 0.77.

7.2. Recomendaciones

- Realizar la molienda en equipos más sofisticados para obtener gránulos más pequeños. y homogéneos como el molino de agata
- Para la construcción de isoterma usar más puntos para tener un mejor ajuste y realizar la prueba de una muestra sin adición de agentes antiaglutinantes, para poder hacer la comparación con los datos experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aditivos alimentarios. (2022). *Aditivos alimentarios – antiaglomerante.* https://cutt.ly/YIEJCq2

Apriyanto, A., Compart, J., y Fettke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer – Struture, metablism and in planta modifications. *Plant Science*, 318, Artículo 111223. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111223

Aslan Türker, D., Göksel Saraç, M., y Doğan, M. (2020). Influence of sucrose reduction and starch type on bulk and powder properties of ready to use powdered dessert. *European Food Research and Technology*. DOI:10.1007/s00217-020-03638-1

Barbosa, G. V. (2021). *Food powders properties and characterization.* DOI: 10.1007/978-3-030-48908-3

Chamorro, A. F., Palencia, M., y Lerma, T. A. (2025). Physicochemical characterization and properties of cassava starch: A review. *Polymers*, *17*(12), 1663. https://doi.org/10.3390/polym17121663

Clément, Y.B.Y., Clément, A.D. y Kablan, T. (2018). La predicción de la isoterma de adsorción de humedad para sacarosa en polvo en Côte d'Ivoire. *Revista internacional de investigación y gestión científica*. https://ijsrm.in/index.php/ijsrm/article/view/1395

Comisión del Codex Alimentarius. (2022). *Norma para los azúcares* (CXS 212-1999, enmendada en 2001, 2019, 2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Organización Mundial de la Salud. fao.org

Coronel, A. y Chipana, G. (2022). Extracción de almidón de papa (Solanum tuberosum), YUCA (Manihot esculenta), CAMOTE (Ipomoea batatas). AGRO-VET, 6(1), 7.

Farshchi, A., Guo, M., Gardy, J., y Naderi, M. (2024). The effect of surface chemistry on the caking behaviour of sucrose crystals. *Journal of Food Engineering , 389* (112386). https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112386

García Mendoza, J.; Zambrano Mendoza, M.; Vargas Zambrano, P.; Muñoz Murillo, J. y Párraga Alava, R. (2021). Almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta Cranzt*) como agente ligante en la producción de mortadela tipo bologna. *Manglar*, 18(1).

Gonzáles Valarezo, H. M. (2020). *Efecto de la adición de diferentes cantidades de almidón de maíz en la densidad de las sopas instantáneas*. [Universidad Técnica de Machala]. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16339

Guzmán Valverde, D. (2023). Efecto de gelatinización y retrogradación en las características funcionales y reológicas de almidones de papa (*Solanum Tuberosum*) precocidas. [Tesis]. https://acortar.link/OiSbYm

Hernández-Reyes, M. L., Hidalgo-Contreras, J. V., Hernández-Cázares, A. S., *y* Pascual-Ramírez, J. (2022). Factors influencing caking of cane sugar. *Agro Productividad*, *15*(3), 13–19. https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.1992

IANSA. (2017). *Especificaciones técnicas de producto – Azúcar flor impalpable prime.*

Iji, S. I., Inyang, U. E., y Etuk, B. R. (2025). Models for the development of sortpion isothems: A review. *American Journal of Food Science and Technology, 13*(2), 27-37. DOI:10.12691/ajfst-13-2-2

Instituto Nacional de Calidad. (2024). *Azúcar. Definición y clasificación* (NTP 207.001:2011, revisada el 2024). Sala de Lectura Virtual INACAL. inacal.gob.pe

Irigoiti, Y., Yamul, D. y Navarro, A. (2021). Co-crystallized sucrose with propolis extract as a

food ingredient: Powder characterization and antioxidant stability. *Food Science and Technology*. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111164

Jagannadha Rao, P. V. K., Das, M., Das, S. K., Kiranmayi, K., y Sivamma, P. (2023). Effect of anti-caking agents on handling characteristics of cane and palm jaggery granules. *Journal of Agricultural Engineering*. https://doi.org/10.52151/jae2023603.1823

McGuire, C., Siliveru, K., Ambrose, K., y Alavi, S. (2022). Food powder flow in extrusion: Role of particle size and composition. *Processes, 10(1),* Artículo 178. https://doi.org/10.3390/pr10010178

Meng, X., Ji, J., Qi, X. y Nie, X. (2019). Efecto de los agentes antiaglomerantes sobre el endurecimiento y la agregación proteica inducida por Maillard en barras nutritivas ricas en proteínas formuladas con concentrado de proteína de suero. *LWT – Food Science and Technology. DOI*: 10.1016/j.lwt.2019.03.077

Muhammad Ali K., Muhammad Zubair A., Mushtaq K., Syed I. y Badar R. (2020). An experimental investigation on accuracy of Hausner Ratio and Carr Index of powders in additive manufacturing processes. Metal power Report. DOI: 10.1016/j.mprp.2020.06.061

Murillo Martínez, M.; Alvis Bermúdez, A.; Arrazola Paternina, G. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata (Ipomoea batatas). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.

Neeraj; S Siddiqui; N Dalal; B Bindu y Srivastva. (2022). Características morfológicas, fisicoquímicas y de color del almidón fresco y curado en variedades de papa. Journal of Horticultural Sciences. DOI: 10.24154/jhs.v17i1.1312

Nurhadi, Nandi Sukri, Rudy Adi Saputra, Fatonah Isnaini Wandhani, Afifah Indah Nurlita, (2020). Physical Characteristics of Amorphous and Crystalline Coconut Sugar Powder with the Addition of Tricalcium Phosphate (TCP) as an Anticaking Agent. *Revista Internacional de Ciencia de los Alimentos.* DOI: 10.1155/2020/5320173

Ochoa Martínez, L. A., Luna Solies, H. A. y Bermúdez Quiñonez, G. (2021). Almidón de camote: Modificaciones enzimáticas, físicas y químicas: Una revisión. DOI: 10.54167/tecnociencia.v15i3.854

Paredes Pozo, S. (2022). Estimación de las isotermas de adsorcion y del calor isostérico para zanahoria (*Daucus carota L.*) deshidratada. [Tesis]. https://acortar.link/qe1xfa

Paternina J. (2014). *Preventing moisture caking, the unwanted agglomeration.* CSC Publishing

Sapailla Arcos Arcos R. M. (2020). Estimación de las isotermas de adsorción y caracterización de la sangre de pollo (*Gallus domesticus*) deshidratada. [Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

Suhag, R., Kelli, A., y Razem, M. (2024). Factors Influencing Food Powder Flowability. *Powders*, 3(1), 6-25. https://doi.org/10.3390/powders3010006

The Business Research Company. (2026). *Powdered Sugar Global Market Report 2026*. https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/powdered-sugar-global-market-report [1]

Ueda, J. M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Ferreira, A., Barros, L., Carocho, M., y Heleno, S. A. (2023). Powdered foods: Structure, processing, and challenges: A review. *Applied Sciences, 13*(22), artículo 12496. https://doi.org/10.3390/app132212496

Vera Bravo, A. F. y Chavarría Chavarría, M. A. (2020). Extracción y caracterización del almidón de papa *(solanum tuberosum)* variedad leona blanca. *El higo.* DOI: https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10550

Vera Orezzoli A., Lindsay Rojas, M., Lescano L., Sánchez-González J., Linares G. (2022). Characterization and Rheological Classification of Powdered Products to Improve Productivity in the Packaging Process. DOI: 10.18687/LACCEI2022.1.1.773

ANEXOS

Anexo 1

Análisis de varianza de la humedad (%) de la sacarosa impalpable elaborado con tres tipos de almidones a diferentes concentraciones (2, 2.5 y 3%).

	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	0.0789722	5	0.0157944	20.4532	0.0159
Residual	0.00231667	3	0.000772222		
Falta de ajuste		3			
Error puro		0			
Total (corregido)	0.0812889	8			

Nota: Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05)

Anexo 2

Análisis de efectos de los factores sobre la humedad %.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
A	0.0564222	2	0.0282111	36.5324	0.0078
B	0.0160167	1	0.0160167	20.741	0.0198
AB	0.00653333	2	0.00326667	4.23022	0.1339

Nota: Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05) A = Tipo de almidón; B = Concentración del almidón (%)

Anexo 3

Análisis de varianza del color de la sacarosa impalpable elaborado con tres tipos de almidones a diferentes concentraciones (2, 2.5 y 3%).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	5.75287	5	1.15057	9.69766	0.0453
Residual	0.355933	3	0.118644		
Falta de ajuste		3			
Error puro		0			
Total (corr.)	6.1088	8			

Nota: Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05)

Anexo 4

Análisis de varianza de la densidad vertida de la sacarosa impalpable elaborado con tres tipos de almidones a diferentes concentraciones (2, 2.5 y 3%).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	0.00281667	5	0.000563333	2.89714	0.2052
Residual	0.000583333	3	0.000194444		
Falta de ajuste		3			
Error puro		0			
Total (corregido)	0.0034	8			

Nota: Valores estadísticamente no significativos al 5% de significancia (p>0.05)

Anexo 5

Análisis de varianza de la densidad compacta de la sacarosa impalpable.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	0.0051	5	0.00102	10.2	0.0423
Residual	0.0003	3	0.0001		
Falta de ajuste		3			
Error puro		0			
Total (corr.)	0.0054	8			

Nota: Valores estadísticamente significativos al 5% de significancia (p<0.05)

Anexo 6

Análisis de varianza de la razón de Hausner de la sacarosa impalpable.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	0.00236667	5	0.000473333	1.704	0.3506
Residual	0.000833333	3	0.000277778		
Falta de ajuste		3			
Error puro		0			
Total (corregido)	0.0032	8			

Nota: Valores estadísticamente no significativos al 5% de significancia (p>0.05)

Anexo 7

Análisis de varianza del índice de Carr % de la sacarosa impalpable.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	13.1217	5	2.62434	1.60083	0.3707
Residual	4.91808	3	1.63936		
Falta de ajuste		3			
Error puro		0			
Total (corr.)	18.0398	8			

Nota: Valores estadísticamente no significativos al 5% de significancia (p>0.05)

Anexo 8

Análisis de varianza del ángulo de reposo de la sacarosa impalpable.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	129.215	5	25.8429	5.55525	0.0944
Residual	13.9559	3	4.65198		
Falta de ajuste		3			
Error puro		0			
Total (corregido)	143.171	8			

Nota: Valores estadísticamente no significativos al 5% de significancia (p>0.05)

Anexo 9

*Evidencias de la **e**xtracción del almidón de papa, camote y yuca*



Anexo 10

Evidencias de la caracterización del almidón y de la sacarosa impalpable

