

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

## POSGRADO



## MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**“Elaboración de sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado variedad Super Chola (*Solanum tuberosum* L)”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Autor: María Fernanda Chamorro Lagos.

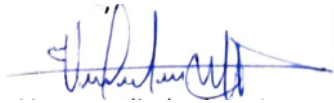
Tutor: Vanessa Elizabeth Cadena Mafla.

Tulcán, 2023

## CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la maestrante Chamorro Lagos María Fernanda con el número de cédula 040166906-4 ha elaborado el trabajo de titulación: “Elaboración de sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado variedad Super Chola (*Solanum tuberosum* L)”.

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuestas en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi con RESOLUCIÓN No. 171-CSUP-2023, por lo tanto, autorizo su presentación para la sustentación respectiva.



.....  
Ing. Vanessa Elizabeth Cadena Mafla MSc.

**TUTORA**

Tulcán, noviembre del 2023

## AUTORÍA DE TRABAJO

El presente trabajo de titulación constituye un requisito previo para la obtención del título de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Yo, Chamorro Lagos María Fernanda, con cédula de identidad número 040166906-4 declaro: que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



.....

Ing. María Fernanda Chamorro Lagos

**AUTORA**

Tulcán, noviembre del 2023

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Chamorro Lagos María Fernanda, declaro ser autora de los criterios emitidos en el trabajo de titulación: “Elaboración de sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado variedad Super Chola (*Solanum tuberosum* L)” y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.



.....  
Ing. María Fernanda Chamorro Lagos

**AUTORA**

Tulcán, noviembre del 2023

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por los perfectos propósitos que me ha encomendados, por la salud y felicidad de mi familia, parte fundamental de mi existencia.*

*Agradezco a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi por permitirme formar parte de la escuela de posgrado y abrirme las puertas para que pueda incrementar mis conocimientos en mi formación profesional.*

*Agradezco también a mi asesora de tesis, Magíster Vanessa Cadena por haberme dado la oportunidad de recurrir a sus conocimientos y experiencia para la realización de este trabajo, por toda la paciencia brindada al guiarme siempre por el mejor camino.*

*A los directivos, docentes, compañeros y amigos que me han apoyado en todo este proceso de aprendizaje y crecimiento personal y profesional, en especial al PhD. Orlando Meneses que con sus conocimientos y consejos brindados contribuyó en gran parte a la culminación de este trabajo de titulación.*

*A mi madre, ejemplo de vida al demostrarme que se puede conseguir todo lo propuesto y finalmente a mi hijo pilar fundamental en mi vida y razón de mis esfuerzos.*

*Ing. María Fernanda Chamorro Lagos*

## **DEDICATORIA**

*Dedico con todo mi corazón este trabajo a mi bella madre Blanca Lagos, porque sin sus palabras de aliento y sus sabios consejos nada de esto hubiese sido posible.*

*A mi hijo Jael Villegas por ser el motor y la motivación para querer superarme día tras día, no solo en el ámbito académico sino como madre y como amiga.*

*Ing. María Fernanda Chamorro Lagos*

## ÍNDICE

RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I .....	1
PROBLEMA .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Preguntas de investigación.....	3
1.4 Objetivos de investigación.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
1.5 Justificación .....	4
CAPÍTULO II.....	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	8
2.1. Antecedentes de investigación.....	8
2.2. Marco teórico .....	12
2.2.1 Composición química del almidón.....	12
2.2.2 Categorización del almidón.....	14
2.2.3 Fuentes convencionales y no convencionales de almidón.....	16
2.2.4 Propiedades de los almidones.....	18
2.2.5 Factores que afectan la retrogradación de los almidones .....	24
2.2.6 Sorbetes comestibles y los retos de la industria alimentaria .....	29
2.2.7 Propiedades reológicas en los sorbetes elaborados con almidón de papa .....	31

2.2.8	Implicaciones sensoriales por evaluar en los sorbetes elaborados a partir de almidón de papa retrogradado. ....	32
2.2.9	Perspectivas y futuras tendencias .....	35
2.3.	Marco legal para la elaboración de sorbetes a partir de almidones .....	36
CAPÍTULO III .....		39
METODOLOGÍA.....		39
3.1.	Descripción del área de estudio .....	39
3.2.	Enfoque y tipo de investigación.....	40
3.2.1	Enfoque cuantitativo.....	40
3.2.2	Tipo de Investigación .....	40
3.3.	Definición y operacionalización de variables .....	41
3.4.	Procedimientos.....	43
3.4.1	Fase 1. Análisis del grado de retrogradación de cada almidón por medio de la capacidad de retención de agua y solubilidad. ....	43
3.4.2	Fase 2. Aceptabilidad de los sorbetes mediante análisis sensorial. ....	45
3.4.3	Fase 3. Tiempo de duración del sorbete comestible mediante pruebas de hidroestabilidad en diferentes bebidas.....	50
3.4.4	Fase 4. Análisis de perfil de textura TPA del mejor tratamiento. ....	51
3.4.5	Fase 5. Cálculo de costos de producción de cada sorbete. ....	51
3.4.6	Análisis estadístico .....	51
CAPÍTULO IV .....		54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		54
4.1	Fase 1. Análisis del grado de retrogradación de cada almidón por medio de la capacidad de retención de agua y solubilidad. ....	54
4.1.1	Capacidad de retención de agua .....	54
4.1.2	Índice de solubilidad en agua .....	56



4.2	Fase 2. Determinación de la aceptación de los sorbetes mediante evaluación sensorial.	59
4.2.1	Análisis microbiológico.....	59
4.2.2	Análisis sensorial.....	59
4.3	Fase 3. Tiempo de duración del sorbete mediante pruebas de hidroestabilidad en diferentes bebidas. ....	64
4.4	Fase 4. Análisis de perfil de textura de los sorbetes que presenten las mejores características sensoriales y de hidroestabilidad .....	70
4.4.1	Dureza.....	71
4.4.2	Cohesividad .....	72
4.4.3	Elasticidad .....	73
4.4.4	Firmeza .....	73
4.4.5	Masticabilidad .....	74
4.5	Fase 5. Cálculo de costos de producción de los sorbetes de almidón retrogradado ..	74
4.5.1	Costos de materia prima .....	74
4.5.2	Costos de mano de obra.....	75
4.5.3	Costos indirectos de fabricación.....	75
CAPÍTULO V .....		77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		77
5.1	Conclusiones .....	77
5.2	Recomendaciones .....	78
CAPÍTULO VI .....		79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		79
ANEXOS .....		90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los parámetros de textura .....	34
Figura 2. Ubicación del lugar donde se va a llevar a cabo el estudio.....	39
Figura 3. Ubicación de la planta productora de almidón de papa .....	40
Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de almidón retrogradado.....	44
Figura 5. Proceso de elaboración de sorbetes de almidón de papa .....	47
Figura 6. Medias capacidad de retención de agua en almidón de papa.....	55
Figura 7. Medias índice de solubilidad en agua en almidón de papa .....	57
Figura 8. Hidroestabilidad de los sorbetes en (a) agua a temperatura ambiente 12 °C, (b) gaseosa a 4 °C, (c) café caliente a 40 °C a los 5, 10, 15 y 20 minutos de inmersión. ....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los gránulos de almidón .....	13
Tabla 2. Composición de los almidones de diferentes procedencias .....	17
Tabla 3. Definiciones según la norma UNE 87001-94 los parámetros obtenidos en el TPA .	32
Tabla 4. Ejemplo de escala hedónica de tres puntos .....	35
Tabla 5. Operacionalización de variables sorbetes de almidón de papa retrogradado .....	42
Tabla 6. Cantidades mínimas y máximas para la elaboración de sorbetes.....	46
Tabla 7. Formulación para la elaboración de los sorbetes.....	46
Tabla 8. Requisitos microbiológicos para galletas sin relleno .....	49
Tabla 9. Puntaje de apreciación hedónica .....	50
Tabla 10. Tipos de bebidas y temperatura para el análisis de hidroestabilidad.....	50
Tabla 11. Factor A: (ciclos de retrogradación del almidón de papa) .....	52
Tabla 12. Factor B: (Porcentaje de almidón y azúcar utilizado en la formulación).....	52
Tabla 13. Combinación de los factores de estudio y tratamientos realizados .....	52
Tabla 14 Capacidad de retención de agua e índice de solubilidad de almidón de papa nativo y retrogradado.....	54
Tabla 15. Análisis microbiológicos de los sorbetes elaborados con almidón de papa retrogradado.....	59
Tabla 16. Resultados obtenidos en la prueba no paramétrica Kruskal Wallis para la evaluación sensorial .....	60
Tabla 17. Comparaciones múltiples en los tratamientos mediante la prueba Wilcoxon.....	60
Tabla 18. Apreciación hedónica de los parámetros evaluados en cada tratamiento expresada en porcentaje.....	61
Tabla 19. Hidroestabilidad en % de los sorbetes en agua en diferentes tiempos .....	64
Tabla 20. Hidroestabilidad en % de los sorbetes en bebida gaseosa en diferentes tiempos....	65
Tabla 21. Hidroestabilidad en % de los sorbetes en café caliente en diferentes tiempos.....	66
Tabla 22. Análisis de perfil de textura (APT) del mejor tratamiento. ....	71
Tabla 23. Costos de materia prima para la elaboración de sorbetes de almidón de papa.....	74
Tabla 24. Cálculo de costos de una jornada ordinaria.....	75
Tabla 25. Costos indirectos de fabricación.....	76
Tabla 26. Costos de producción de sorbetes de almidón de para retrogradado.....	76

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Aval del CIDEN.....	90
Anexo B. Certificado de análisis de perfil de textura (TPA).....	92
Anexo C. Resultados Análisis de Perfil de Textura mejor tratamiento.....	93
Anexo D. Proceso de retrogradación: arriba gelatinización, abajo secado de almidón.....	117
Anexo E. Proceso de elaboración de sorbetes. ....	118
Anexo F. Hidroestabilidad del sorbete: (a) agua 12°C, (b) gaseosa 4°C, (c) café 40°C .....	119
Anexo G. Formato hoja de evaluación sensorial.....	120
Anexo H. Análisis sensorial .....	121

## RESUMEN

Los desechos de sorbetes plásticos son un problema alarmante a nivel mundial, que representa cerca del 0,03% de los desechos totales. Un esfuerzo para reducir este tipo de contaminantes es el uso de sorbetes elaborados con ingredientes naturales, como los almidones procedentes de tubérculos. En el Carchi existe una alta producción de papa variedad Super Chola (*Solanum tuberosum* L) con alto contenido de almidón, que puede modificarse para obtener almidón retrogradado el cual influye en la textura y digestibilidad de los alimentos. El objetivo de la investigación es elaborar sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado de la variedad Super Chola. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar de dos factores: ciclos de calentamiento- enfriamiento del almidón y cantidad de almidón retrogradado con azúcar micro pulverizada. Los resultados mostraron que los ciclos de calentamiento- enfriamiento incrementan la cantidad de almidón retrogradado en comparación con el almidón nativo, para obtener mayor cantidad de almidón retrogradado fueron necesarios más ciclos de calentamiento- enfriamiento. En la elaboración del sorbete la cantidad de almidón y azúcar utilizada no influyó en el color, pero si en su olor, sabor, textura y aceptabilidad. Los sorbetes con mayor cantidad de almidón presentaron menor hidroestabilidad, característica que se evidencio cuando fueron sumergidos en bebidas a temperaturas altas y en bebidas con presencia de gas. De acuerdo con el análisis sensorial e hidro estabilidad se determinó el mejor tratamiento con la formulación de 50% almidón y 50% azúcar con dos ciclos de retrogradación: 24 horas a 4 °C y 24 horas a 25 °C, cuyo perfil de textura mostró valores instrumentales similares a alimentos con texturas rígidas como los conos para helados o galletas duras, mostrando la posibilidad de ser consumido como alimento luego de su uso. Por lo tanto, es posible elaborar sorbetes a partir de almidón retrogradado de papa de la variedad Super Chola, que cumplen las características de funcionalidad de los sorbetes plásticos.

**Palabras clave:** sorbete de almidón, almidón de papa, retrogradación, tubérculos.

## ABSTRACT

Plastic straw waste is an alarming problem worldwide, representing about 0.03% of total waste. An effort to reduce this type of contaminants is the use of straws made with natural ingredients, such as starches from tubers. In the province of Carchi there is a high production of Super Chola variety potatoes (*Solanum tuberosum* L) with high starch content, which can be modified to obtain retrograde starch which influences the texture and digestibility of foods. The objective of the research is to make straws from retrograde potato starch of the Super Chola variety. A completely randomized experimental design of two factors was used: starch heating-cooling cycles and amount of starch retrograded with micro-pulverized sugar. The results showed that heating-cooling cycles increase the amount of retrograded starch compared to native starch; to obtain a greater amount of retrograded starch, more heating-cooling cycles were necessary. In the preparation of the straw, the amount of starch and sugar used did not influence the color, but it did influence its smell, flavor, texture and acceptability. Straws with a greater amount of starch presented lower hydro-stability, a characteristic that was evident when they were immersed in drinks at high temperatures and in carbonated beverages. According to the sensory and hydrostability analysis, the best treatment was determined with the formulation of 50% starch and 50% sugar with two retrogradation cycles: 24 hours at 4°C and 24 hours at 25°C, whose texture profile showed similar instrumental values to foods with rigid textures such as ice cream cones or hard cookies, showing the possibility of being consumed as food after use. Therefore, it is possible to make straws from retrograde potato starch of the Super Chola variety, which meet the functional characteristics of plastic straws.

**Keywords:** starch straw, potato starch, retrogradation, tubers.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

La contaminación ambiental es en la actualidad un tema que causa alarma y preocupación en la mayoría de la población. Según informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2022 casi el 99% de la población a nivel mundial respira aire contaminado, esto debido a que las mediciones de dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> y partículas, las cuales son originadas por actividades humanas relacionadas con la combustión de combustibles fósiles superan los límites recomendados, poniendo en peligro la salud humana y generando cambio climático a nivel mundial (OPS, 2022).

La falta de conciencia del hombre trae como consecuencia diferentes factores que afectan a la capa de ozono, a los océanos y a la tierra en general, siendo este el principal causante de la contaminación ambiental generada (Pretell, 2018). Uno de los principales causantes de la contaminación es la utilización de plásticos de un solo uso de manera desmedida. Los plásticos se consideran uno de los principales promotores de los problemas ambientales, debido a que se recicla únicamente una pequeñísima fracción de estos y la mayoría termina acumulándose en los basureros e inclusive en los océanos (Largo, 2022).

Se calcula que un plástico derivado de petróleo tarda en descomponerse entre 100 y 1000 años, con una media aproximada de 500 años, este tiempo depende del tipo de plástico (Chuiza *et al.*, 2020). Al transcurrir un largo periodo antes de descomponerse en su totalidad, se acumula en mares y océanos causando daño en la biodiversidad, creando islas plásticas y generando micro plásticos, los cuales, por su pequeñísimo tamaño inintencionalmente llegan al estómago de muchos peces, causando enfermedades, alterando su metabolismo e inclusive formando parte de ellos para luego pasar a la cadena alimenticia y llegar hasta el hombre. (Condor *et al.*, 2019; Ecología Verde, 2020). Se estima que para el año 2050 los océanos contendrán mayor cantidad de residuos plásticos con relación a la cantidad de peces existentes en los océanos si no se busca alternativas que aporten al cuidado del planeta, siendo una de las tantas consecuencias de la producción desmedida de plásticos por parte de las industrias. Se considera que la industria de

los productos alimenticios es una de las mayores industrias que genera residuos plásticos y aunque, cada vez se utilice con mayor frecuencia los envases reciclables, solamente el 9% de la cantidad total generada es reciclada. Por otra parte, los bioplásticos que prometen descomponerse en tiempos menores a los plásticos convencionales, tampoco son la mejor alternativa, debido a que la descomposición rápida solo ocurre en condiciones específicas de laboratorio, que muy difícilmente se asemejan a las condiciones que se dan en formas naturales, estos al contener en su composición polímeros derivados del petróleo, se fragmentan con el tiempo y pasan a formar micro plásticos (GreenPeace, 2018).

El sistema capitalista actual y el ritmo acelerado de vida favorece el consumo continuo, desmedido y económico, dejando a un lado el cuidado por el ambiente (Ecología Verde, 2020). Gestores de residuos (2018) afirma que, las empresas productoras de alimentos utilizan cantidades alarmantes de plásticos, tanto que, solo en EE. UU. se usan 50 mil millones de botellas plásticas diarias, y un aproximado de 500 millones de sorbetes de plástico, que al finalizar el día pasarán a ser parte de la basura. Por otra parte, Carrizo *et al.*, (2020) establece que unos 36,500 millones de sorbetes son usados en Europa cada año. Con solamente la cantidad de sorbetes que se reparten en restaurantes de comida rápida de Europa en un solo año se podría ir y volver a la luna hasta 10 al ponerlos en fila. España es el país europeo que más sorbetes usa por habitante y año, con un promedio de 110 sorbetes anuales por habitante. Se estima que este tipo de contaminantes representa aproximadamente el 0,03% de los residuos plásticos que causan contaminación en los océanos (Yavagal *et al.*, 2020).

A pesar de que en la capital del Ecuador se han generado políticas gubernamentales para reducir el consumo de plásticos derivados de petróleo de un solo uso, exclusivamente sorbetes plásticos en establecimientos públicos, esta política no es aplicada en su totalidad (Diario el Comercio 2021). En la zona norte del país aún no se han implementado este tipo de medidas que incentiven la reducción de la contaminación generada por plásticos contribuyendo al incremento de la contaminación ambiental. A nivel país no existen cifras exactas sobre el consumo de sorbetes de plástico por parte de la industria de alimentos, ni mucho menos por locales que expenden bebidas, sin embargo, al observar el entorno su uso aún está latente, incrementando las cifras de contaminación. Por lo que, en la actualidad las empresas y cadenas productoras de alimentos y



bebidas buscan la manera de reducir la comercialización y el consumo de estos productos contaminantes (Anaya *et al.*, 2019).

Por otro lado, en la provincia del Carchi la papa es uno de los principales cultivos que generan empleo directo e indirecto en los campesinos de la zona, la producción total se destina en gran porcentaje a la alimentación directa con un 74%, mientras que el 9% se destina a la elaboración de snacks y obtención de almidón 9% y el 17% restante se destina como semilla. Debido a la alta producción de este tubérculo y a la baja industrialización las pérdidas anuales alcanzan hasta un 20% de la producción total, resultado de la carencia de medios adecuados de conservación, manejo inadecuado desde la cosecha hasta la venta ocasionando maltrato e incentivando al rápido deterioro. (Agro Bayer Ecuador, 2022).

## **1.2 Formulación del problema**

Pese a los numerosos esfuerzos para reemplazar los sorbetes de plástico de un solo uso con productos alternativos que reduzcan la contaminación ambiental, aún no se ha conseguido sustituirlos por materiales más amigables con el ambiente. Por lo tanto, existe la necesidad de proponer y producir alternativas adecuadas a los sorbetes de plástico de un solo uso que cumplan con los requisitos en términos ambientales, de higiene, funcionalidad, conveniencia y comodidad. Es necesario buscar y evaluar nuevos materiales alternativos para producir sorbetes, que tengan un menor impacto ambiental y estén integrados dentro de las iniciativas de economía circular.

## **1.3 Preguntas de investigación**

- ¿Cuál es el mejor procedimiento para obtener mayor cantidad de almidón de papa retrogradado?
- ¿Cuáles deben ser las características sensoriales del sorbete elaborado a partir de almidón retrogradado de papa de la variedad Super Chola?
- ¿Cuánto tiempo debe resistir el sorbete dentro de bebidas como café, agua y gaseosa?
- ¿Cuál es el análisis de perfil de textura del sorbete que tenga mejor aceptación en el análisis sensorial y mayor durabilidad dentro de las bebidas?
- ¿Cuál es el costo de producción unitario por sorbete?

## **1.4 Objetivos de investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Elaborar sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado variedad Super Chola (*Solanum tuberosum* L).

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar el grado de retrogradación del almidón por medio de la capacidad de retención de agua y solubilidad de cada tratamiento.
- Determinar la aceptación de los sorbetes de almidón de papa retrogradado mediante evaluación sensorial.
- Establecer el tiempo de duración del sorbete mediante pruebas de hidroestabilidad en diferentes bebidas.
- Realizar un análisis de perfil de textura de los sorbetes que presenten las mejores características sensoriales y de hidroestabilidad.
- Calcular los costos de producción de los sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado.

## **1.5 Justificación**

La papa es considerada el cuarto cultivo alimenticio más importante de todo el mundo después del arroz, el maíz y el trigo. En Ecuador la papa es uno de los principales cultivos tradicionales de clima frío que se destinan a la alimentación directa con un promedio estimado de 30 kg anuales por persona (Agro Bayer Ecuador, 2022). La producción este tubérculo a nivel nacional en el año 2021 fue de 244 749 toneladas, de las cuales provincias como Carchi, Chimborazo y Tungurahua encabezan la lista de mayores productores, el cultivo de papa en la provincia del Carchi representa cerca del 41,27% constituyendo una fuente importante de ingreso y alimentación para las familias campesinas generando empleo directo e indirecto a 250 mil personas aproximadamente. (INIAP, 2022).

En el Ecuador se cultiva un sinnúmero de variedades de papa, considerado el país que posee mayor diversidad de este tubérculo en el mundo con un estimado de 550 variedades nativas y

17 especies silvestres (INIAP, 2022), las variedades que son producidas en mayor proporción en las provincias de la sierra ecuatoriana son: Super Chola, seguido de Gabriela, Esperanza, Roja, Friepapa y María (Vélez, 2018). En la provincia del Carchi la variedad que representa la mayor cantidad de superficie cultivada es la Super Chola, esto debido a que es una variedad resistente a enfermedades y plagas y con un alto índice de producción. La Super Chola en los últimos años ha sido objeto de estudio con la finalidad de ser mejorada genéticamente por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias para incrementar su productividad según lo especifica Diario el comercio (2018).

Generalmente la papa posee en su composición carbohidratos, proteínas y fibra dietética como componentes mayoritarios, mientras que como componentes minoritarios contiene vitaminas del complejo B entre las que destacan la vitamina B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, vitamina C y minerales como magnesio, calcio, hierro, potasio y fósforo (Cerón *et al.*, 2018). El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP (2022), afirma que, la papa es una fuente importante de vitaminas y minerales, abarcando la mayoría de los nutrientes que se requieren diariamente para llevar una dieta balanceada, es un alimento que tiene una composición libre de grasas y proporciona un valor energético bajo, siendo un alimento idóneo para personas que realizan cierto tipo de dietas. Una papa de tamaño medio aporta 26% del requerimiento diario de cobre, 18% de potasio, fósforo, hierro; y entre el 5 al 13% de zinc, magnesio y manganeso y puede contener hasta el 50% de la cantidad de vitamina C requerida diariamente. Al ser un alimento que no contiene en su composición gluten es una excelente opción como ingrediente para realizar un sin número de alimentos como: fideos, canelones y galletas aptas para personas que sufren de la enfermedad celiaca, sensibilidad al gluten no celiaco y alergia a harinas que contienen gluten (Flores, 2017).

Vargas *et al.*,(2016) indican que el almidón de papa representa la principal fuente de almacenamiento de energía, con contenidos que varían del 66 al 80% del contenido total, este porcentaje depende de la variedad y estado de crecimiento de la planta. En la industria alimentaria el almidón es muy utilizado como estabilizante, agente de relleno, adhesivo, ligante, formador de películas, estabilizante de espumas, agente de antienvjecimiento de pan, gelificante, humectante y espesante (Martínez *et al.*, 2019). El uso de almidones obtenidos a partir de tubérculos como materia prima para elaboración de nuevas formulaciones alimenticias

se ha convertido en una forma de incentivar e incrementar la producción y demanda de este tipo de cultivos (Pérez y Pacheco, 2005 citado en Pacheco y Techeira, 2009). Generalmente, el almidón nativo se utiliza por su capacidad de regular y estabilizar la textura de los alimentos y por las propiedades espesantes y gelificantes que confiere a los alimentos al someterse a tratamiento térmico. No obstante, la estructura nativa del almidón en ocasiones resulta poco eficiente, debido a que, en determinadas condiciones, los procesos tecnológicos, como temperatura, pH y presión, reducen su uso en aplicaciones industriales al provocar una baja resistencia a esfuerzos de corte, falla térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Martínez *et al.*, 2019).

La retrogradación es un cambio inevitable que ocurre en alimentos ricos en almidón durante el procesamiento y almacenamiento, en donde el almidón gelatinizado se reorganiza a un estado ordenado, estos cambios influyen en la textura, sabor, digestión y propiedades funcionales de los alimentos que contienen una alta cantidad de almidón en su composición (Chang *et al.*, 2021). En ciertos alimentos procesados como pastas, fideos y cereales, una retrogradación moderada es requerida para mejorar la textura e incrementar la firmeza, transformando el almidón nativo en almidón de tipo resistente por el nivel de reorganización de la amilosa y amilopectina durante el proceso de gelatinización (Pineda, 2019). Este tipo de almidón brinda beneficios a la salud al reestructurarse en almidón de lenta digestión, ya que, al ser consumido parte de este no se digiere y pasa al intestino delgado para finalmente ser fermentado en el intestino grueso actuando como fibra dietética (Lehmann y Robin, 2007).

En Ecuador, la industria de las bebidas y los establecimientos de alimentos de consumo inmediato buscan reemplazar los sorbetes plásticos por productos biodegradables, dicha solución no elimina la contaminación del todo, debido a que estos productos pasan a formar parte de la basura y causan daño a los animales antes de biodegradarse por completo. En el país no existe empresas que elaboren sorbetes con materia prima biodegradable e inclusive en muchos casos comestible, por lo que se propone realizar sorbetes elaborados con almidón de papa retrogradado de la variedad Super Chola. Con dicha propuesta se espera reducir el uso de sorbetes plásticos contaminantes, brindando a las personas productos elaborados de forma natural y saludable, contribuyendo al sector agrícola de la zona norte, incrementando la industrialización de dicho tubérculo, y aportando a los objetivos de desarrollo sostenible ODS.

Objetivo 13. el cual busca adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático con la reducción del uso de plásticos y el objetivo 14, que busca conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, mares y los recursos marinos disminuyendo la basura y contaminación que se origina en suelo terrestre (ODS, 2015). Así como también apoyar el eje económico del sector y del país, haciendo referencia la productividad agrícola que posee el Ecuador, creando nuevas oportunidades laborales al desempeñar una nueva actividad agroindustrial alimentaria de acuerdo con el Plan de Creación de Oportunidades 2021- 2025 (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). Y a la línea 1 de investigación de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, la cual hace referencia a la tecnología, biotecnología, calidad e inocuidad en el procesamiento de alimentos, en la Sublínea 1.3, enfocándose a los procesos biotecnológicos para la producción de alimentos, aportando al plan nacional de seguridad alimentaria.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1. Antecedentes de investigación

La creación de sorbetes no contaminantes y sustitutos de sorbetes plásticos en la actualidad va en aumento, por ello, cada vez existen más investigaciones en las cuales se utiliza materia prima biodegradable e inclusive comestible para su elaboración. Sin embargo, es de suma importancia que la materia prima pueda brindar las características de durabilidad que el sorbete requiere dentro de las bebidas, no permita la migración de olores o sabores provenientes de su formulación y que tenga buenas características sensoriales para que en muchos casos se puedan consumir luego de haberse utilizado.

En este contexto se han realizado estudios como el de Li *et al.*, (2022), en donde patentaron un método para elaborar sorbetes totalmente biodegradables a un bajo costo, para ello usaron gel de konjac desacetilado con almidón de mandioca y malanga y utilizaron un método de reticulación química para obtener sorbetes con altas capacidades de firmeza, mezclada con agentes antibacterianos naturales provenientes de polvo de plantas (ajenojo, residuos medicinales de *Scutellaria baicalensis*, vid de madreelva, polvo de posos de café, polvo de fruta de gardenia, polvo de arroz rojo, polvo de espirulina y polvo de cúrcuma), dando como resultado un producto que no tuvo buena aceptación en los consumidores al adquirir olores y sabores desagradables provenientes del polvo de plantas utilizado como antimicrobiano.

El principal reto de la industria es que los sorbetes presenten resistencia al agua en un determinado tiempo, en ese sentido Yang *et al.*, (2022) realizaron sorbetes a base de celulosa bacteriana comestibles obtenida por biosíntesis con características ultrarresistentes, libres de microplásticos y con recubrimiento de alginato logrando un mejor rendimiento mecánico que los sorbetes biodegradables elaborados con papel y un buen rendimiento integral por parte de la celulosa bacteriana, satisfaciendo los requisitos para un posible uso práctico en sustitución de los sorbetes elaborados a base de polipropileno.

Las investigaciones que tienen como finalidad crear utensilios que se puedan utilizar como sorbetes y luego consumirse son cada vez mayores, en tal sentido Ardiansyah *et al.*, (2019)

elaboraron sorbetes comestibles con algas marinas de tipo *Eucheuma cottoni* provenientes de Indonesia, para ello lavaron las algas con el fin de eliminar suciedad y contaminantes, licuaron y luego añadieron gelatina y agua para obtener una estructura firme y compacta, la mezcla resultante la añadieron en moldes y dejaron secar hasta que endurezca. El sorbete que obtuvieron no presentaba una forma ni tamaño estandarizado debido a las deficiencias que presentaba el molde, por otra parte, su textura no permitía que pueda resistir periodos largos de tiempo sumergido en agua.

Es importante recalcar que para este tipo de investigaciones se ha tomado en cuenta el uso y la disminución de desperdicios frutales aprovechando la materia prima disponible para obtener productos que representen no solo un beneficio para un sector, sino que permitan disminuir la contaminación generada por plásticos. Rohmah *et al.*, (2019) realizaron sorbetes comestibles a partir de pulpa de piña de rechazo, concentraciones de sorbitol (8, 10 y 12%) y carragenina (2, 4 y 6%), para ello obtuvieron la pulpa de la fruta y añadieron carragenina con sorbitol para proceder a realizar el proceso de cocción a 70 °C por 5 min, luego expandieron y secaron la mezcla en una bandeja para finalmente cortarla y formar el sorbete. Los análisis de tracción mostraron mejores resultados con la formulación de 8% de sorbitol y 6% de carragenina con valor de 43,90 N. Los autores concluyeron que un incremento a la cantidad de estabilizante hace que el sorbete tenga mayor resistencia a la tracción.

Se han creado sorbetes a partir de azúcares, los cuales ayudan a compactar los demás ingredientes para obtener una masa manejable y atractiva sensorialmente. Juvíña *et al.*, (2016) patentaron la fabricación de un sorbete comestible elaborado con agua, gelificante, azúcar micropulverizada, estabilizante, espesante y plastificante como ingredientes. La obtención del sorbete se realizó por extrusión de la mezcla entre 5 y 50 °C para luego cortarla en un tamaño deseado y secarla en una estufa entre 40 y 80 °C de dos a tres horas. La cañita resultante mostró rigidez por el tiempo de 1 hora sin deformarse luego de haber sido inmersa en la bebida. Es necesario considerar también que se han elaborado sorbetes a partir de almidones, aprovechando su bajo costo, su facilidad de recuperación y las amplias fuentes de obtención.

Anggraini *et al.*, (2022) elaboraron sorbetes comestibles a partir de almidón gelatinizado a una temperatura de 78 °C de tres tipos de tubérculos (canna, arrurruz, kimpul) en concentraciones

de 4% y gelatina de pescado en concentraciones de 1,3 y 5%, siendo el mejor resultado el que tenía en su composición 4% de almidón de arrurruz y 5% de gelatina de pescado dando como resultado un sorbete con una resistencia al agua de 56,85% y una biodegradación de 93,74%, estos resultados se pueden atribuir al porcentaje de amilopectina del almidón de arrurruz (62,47), el cual es mayor en comparación con los otros almidones evaluados. Las concentraciones más altas de amilopectina disminuyeron la solubilidad en agua, mientras que la concentración más alta de gelatina permitió incrementar la elasticidad del sorbete.

Cui *et al.*, (2023) realizaron la preparación y caracterización de sorbetes comestibles elaborados a partir de almidón de maíz extruido y retrogradado para obtener fuertes propiedades mecánicas, para ello mezclaron partes iguales de agua desionizada y glicerol con almidón de maíz al 10% de humedad a una velocidad de 200 rpm, la mezcla resultante la extruyeron en tres zonas de calentamiento con diferentes temperaturas, luego enfriaron y cortaron en tamaños de 20 cm para luego secarse en un horno a 40 °C y finalmente para retrogradar el almidón ajustaron la humedad al 30% y 40%, luego se retrogradaron por 3, 6, 12 o 24 h a 4 °C, transcurrido este tiempo se volvieron a secar a 40 °C hasta obtener una humedad final de entre 6 y 8%. Los sorbetes que obtuvieron por esta técnica tuvieron buenas características reológicas y de durabilidad en agua, después de usarse en diferentes bebidas durante 30 minutos.

He *et al.*, (2022) elaboraron sorbetes comestibles a partir de almidón mediante una combinación de extrusión, retrogradación y reticulación con trimetafosfato de sodio (STMP). Para ello prepararon las pajillas con almidón extruido, glicerina y agua en una relación de 10:1:1, la mezcla resultante fue moldeada en una extrusora de doble tornillo para luego enfriarla a 4 °C por 6 horas, el proceso de reticulación se dio por la presencia de STMP el cual reacciona con el almidón para proveer un producto con características modificadas. El sorbete extruido y reticulado durante 3 horas mostró una rigidez 1,52 veces mayor después de remojar en agua a temperatura ambiente durante 30 minutos, y en inmersión en agua caliente a 60 °C por 5 minutos con una rigidez 1,88 veces mayor en comparación con el sorbete de almidón elaborada sin el proceso de reticulación, los sorbetes extruidos y reticulados presentaron mejores propiedades mecánicas que los sorbetes elaborados sin el proceso de reticulación.



Cada vez en las investigaciones se utilizan diferentes materias primas y se aprovecha las características que estas presenten para la obtención de alimentos que requieran propiedades específicas. El almidón retrogradado se ha utilizado para un sin número de aplicaciones, no solo en el ámbito alimentario, sino también en la producción de fármacos (Wierik *et al.*, 2017).

En la industria alimentaria se ha realizado investigaciones acerca el comportamiento reológico de almidón gelatinizado y posteriormente retrogradado para elaboración de alimentos. Tal es el caso de Sandoval *et al.*, (2007), en donde se retrogradó almidón de harina de yuca por medio de cocción en agua y vapor de agua, empleando perfiles de tiempo- temperatura de calentamiento a 25 °C por 5 minutos, luego elevando la temperatura a 95 °C a una velocidad de 14 °C/minuto y posteriormente manteniendo a esa temperatura por 4 minutos , seguido de un enfriamiento a 25 °C. Los diferentes tratamientos fueron expuestos a reposos a 5 °C y a -20 °C por 24 horas, así como sin reposo. Los resultados obtenidos presentaron que las temperaturas de reposo no influyen en la cantidad de almidón retrogradado, sin embargo, la cocción mediante vapor fue más efectiva que la cocción en agua.

Los estudios recientes muestran que la retrogradación en el almidón presenta resultados benéficos en la salud de las personas que lo consumen, promoviendo la salud intestinal y mejorando los procesos digestivos (Valdivieso y Mollinedo, 2021). El almidón resistente es considerado un potencial prebiótico al ser catalogado como alimento de digestión lenta. Se han realizado alimentos con almidón resistente de papa, tal es el caso de Iancu, (2015) en donde investigó el efecto de la adición de pulpa de papa sobre las propiedades de la masa, las características sensoriales y el contenido de almidón resistente, para ello reemplazó la harina de trigo por pulpa de papa en concentraciones de 5, 10, 20 y 30%, dando como resultado una masa más blanda, con disminución de capacidad de absorción de agua en un 28% y con un aumento de 5,11 g/100 g de masa en concentraciones de 30% pasta de papa, mientras que en las propiedades sensoriales destacó como mejor tratamiento la concentración de 20% de pulpa de papa. Este tipo de investigaciones muestra las posibles alternativas en la formulación de nuevos productos alimenticios con características nutricionales, sensoriales y de textura que el alimento requiera.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1 Composición química del almidón

Los almidones de manera fisiológica son sustancias de reserva que se encuentran de forma principal en los granos de cereales, tubérculos, en frutas e inclusive en algunas legumbres. (Rembado y Sceni, 2009) .De acuerdo con Badui, (2006), desde sus inicios el almidón ha formado parte indispensable en la dieta de la humanidad, siendo considerado uno de los polisacáridos más abundantes del planeta después de la celulosa.

Pizarro *et al.*, (2016) y Gómez *et al.*, (2019) señalan que en la actualidad a este carbohidrato se le ha otorgado un gran número de usos industriales no solamente para su uso como almidón nativo, sino también modificándolo para obtener derivados para la industria alimentaria como en el caso del jarabe de maíz o como aditivo alimentario para otorgar viscosidad y estabilizar los alimentos. También se lo utiliza para crear productos para la industria del papel, farmacéutica y en la elaboración de biopolímeros biodegradables como un sustituto de plásticos sintéticos derivados de petróleo. Los almidones inclusive son utilizados con fines industriales en la construcción como aditivo en el cemento y en los enlucidos con yeso (Ferrández *et al.*, 2016).

El uso de almidones es destinado en su mayoría al sector industrial con un 75%, siendo la industria de fabricación de papel y cartón la que se encuentra en la cima con un 80% de uso, le siguen la industria textil, adhesivos entre otras, y solamente el 25% restante se utiliza en el sector alimentos como ingrediente de diferentes preparados. (Aristizábal *et al.*, 2007)

El almidón es el resultado de la unión de dos polisacáridos: la amilosa y amilopectina los cuales se unen mediante enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1-4 en la amilosa y en la amilopectina por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1-4 y  $\alpha$ -1-6. Las moléculas de amilosa están conformadas por la unión de entre 200 y 2500 glucosas de forma lineal, estas se alinean de manera paralela para luego enlazarse mediante puentes de hidrógeno por medio de sus hidroxilos y así crear estructuras compactas dentro del gránulo denominadas estructuras cristalinas, en cambio la amilopectina es una molécula que se forma por la unión de glucosas de manera ramificada por enlaces  $\alpha$  (1-6) de cada 15-25 unidades lineales de glucosa y da una formación de árbol (Pinos, 2019). Esta

conformación impide la formación de estructuras de manera ordenada y crea zonas amorfas y más porosas, principal responsable de la sensación de pegajosidad de los almidones.

Los almidones o también denominados féculas en papa, arroz, maíz y trigo, contienen diferentes proporciones de amilosa y amilopectina y como consecuencia de cada proporción su comportamiento en la cocción es distinto, los almidones ricos en amilosa requieren mayor temperatura para que el agua rompa e hidrate la estructura cristalina logrando una penetración en el gránulo, mientras que aquellos con más amilopectina son más abiertos y suministran la fácil entrada del líquido. Entre mayor sea la ramificación, mayor será la solubilidad en agua y más fácil la cocción del almidón. (Badui, 2012). Los dos polisacáridos se agrupan para formar pequeñas partículas denominadas gránulos que tienen tamaños de entre 10 a 70  $\mu\text{m}$ , los cuales presentan diferencia estructural dependiendo de la fuente de extracción, su forma se puede visualizar por medio de microscopía (Rembado y Sceni, 2009).

En general las proporciones de amilosa son del 17 al 27% y el contenido restante corresponde a la amilopectina, sin embargo, estas proporciones dependen de la procedencia y naturaleza del almidón. Según Makroo *et al.*, (2021), las características fisicoquímicas de la amilosa y amilopectina se diferencian de una manera considerable debido la conformación de sus estructuras. La amilosa es insoluble en agua y ayuda a incrementar la capacidad de gelatinización del almidón, mientras que la amilopectina tiene mayor capacidad de disolverse en agua, mostrando características de adherencia. En la tabla 1 se pueden evidenciar las características que posee tanto la amilosa y la amilopectina en los diferentes tipos de almidones y como su composición varía de acuerdo con su procedencia.

**Tabla 1.**  
*Características de los gránulos de almidón*

<b>Propiedad</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>
Estructura	Lineal	Ramificada
Longitud promedio de la cadena	Aprox. 1000	20-25
Peso molecular	40 000 hasta $10^6$	200 000 hasta $10^9$
Grado de polimerización	Aprox. 1000	10 000-100 000
En solución	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
Estabilidad en soluciones acuosas	Retrogradada	Estable
Acomplejamiento	Con facilidad	Con dificultad

Retrogradación	Rápida	Muy lenta
Gel	Firme e irreversible	Suave y reversible
Formación de complejos	Favorable	Desfavorable
Patrón de rayos X	Cristalino	Amorfo
Digestibilidad de la beta amilasa	Casi completa	Cerca de 60%
Reacción con yodo	19-20%	5-9%
Color con la solución de yodo	Azul profundo	Violeta
Longitud de onda máxima	Aprox. 660	530-550

Fuente: (Aristizábal *et al.*, 2007)

### 2.2.2 Categorización del almidón.

La clasificación del almidón se puede realizar según la difracción de rayos X producida y por las características nutricionales que este posee, los almidones se clasifican de acuerdo con la siguiente categoría.

- Tipo A en la cual los almidones tienen amilopectina con una longitud de cadena de 23 a 29 unidades de glucosa, es el almidón que consta de cadenas ramificadas más cortas, por ejemplo, almidón de cereal.
- Tipo B en el cual la amilopectina tiene longitudes de cadena de 30 a 44 unidades de glucosa, por ejemplo, tubérculos y almidones ricos en amilosa.
- Tipo C es una mezcla del tipo A y B, que comprende amilopectina con una longitud de cadena de 26–29 moléculas de glucosa, por ejemplo, almidón de leguminosas.
- Tipo V el cual está presente en gránulos hinchados y se forma tras la gelatinización. Característico de la amilosa, ácidos grasos y monoglicéridos.

Los diferentes patrones de rayos X formados se pueden atribuir a la presencia de agua ligada dentro de la estructura cristalina, a la longitud de la cadena de amilopectina y la compacidad de su empaquetamiento dentro de los gránulos. El tipo A es más denso comparado con el tipo B, por lo que retiene menos agua. Mientras que el tipo A y B tienen una estructura casi cristalina, el tipo C es una mezcla de partículas cristalinas y amorfas. (Bashir y Aggarwal, 2019)

Dependiendo de las características nutricionales, el almidón se puede clasificar en tres grupos:

- **Almidón de digestión rápida (RDS):** se compone principalmente de almidón amorfo y está ampliamente presente en alimentos cocidos como papas, pan, etc. Se mide químicamente como almidón, es decir, se convierte en glucosa después de 20 minutos de ingestión por enzimas.
- **Almidón de digestión lenta (SDS):** consiste en estructuras cristalinas de tipo A y C junto con regiones amorfas. La digestión lenta se atribuye a la complejidad en su estructura. Se mide químicamente como el almidón que se convierte en glucosa después de 100 minutos de ingestión.
- **Almidón resistente (RS):** Se denomina a este almidón como la suma de todos los productos de degradación de los almidones no absorbidos en el intestino delgado (Villaruel, Gómez, Vera, *et al.*, 2018), este tipo de almidón no se digiere incluso después de 120 min de ingestión. Sin embargo, puede apoyar el crecimiento de la microflora intestinal en los intestinos, por lo que también se lo conoce como almidón dietético (Bashir y Aggarwal, 2019). El almidón resistente se subdivide en cinco categorías las cuales se muestran a continuación:
- **Almidón resistente tipo I.** Este se compone por gránulos de almidón los cuales están rodeados por una matriz indigerible, es almidón aparentemente inaccesible. Componente estable al calor en la mayoría de las operaciones normales de cocción, permitiendo su uso como ingrediente en una amplia variedad de alimentos convencionales. De manera natural se encuentra en granos enteros y legumbres.
- **Almidón resistente tipo II.** Está representado por gránulos de almidón resistente a la digestión enzimática, ya que en los gránulos de almidón crudo la estructura compacta limita la accesibilidad de las enzimas digestivas. Se encuentra en alimentos crudos como papas y plátanos verdes.
- **Almidón resistente tipo III.** También conocido como almidón retrogradado formado durante el enfriamiento del almidón luego de haber sido procesado. La formación de este almidón retrogradado se ha atribuido a la reorganización molecular de la amilosa (amilosa retrogradada) procedente de un proceso de gelatinización. Se ha demostrado que los ciclos de calentamiento/refrigeración aumentan la formación de almidón retrogradado en leguminosas, cereales y tubérculos, pero también se puede obtener almidón retrogradado por recristalización durante el almacenamiento. La retrogradación

de la amilosa se considera como un proceso rápido completado en 48 horas, luego del procesamiento a temperaturas que van de 120 a 170 °C. Los principales factores que determinan la retrogradación y que, por tanto, podrían influir en el contenido de almidón retrogradado son la composición del almidón, el producto de la matriz y el contenido de humedad.

- **Almidón resistente tipo IV.** Son almidones modificados químicamente, donde los nuevos enlaces químicos son formados a través de esterificación, reticulación o transglucosilación y no pueden descomponerse, ya que el proceso de modificación hace que la estructura sea inaccesible a la digestión por amilasas. Estos almidones se usan como aditivos en gran variedad de productos alimentarios para mejorar la viscosidad y otras características tecnológicas y sensoriales
- **Almidón resistente tipo V.** Consiste en complejos lípido-amilosa que se forman cuando la amilosa y las largas cadenas ramificadas de amilopectina interactúan con ácidos grasos y alcoholes. Estos complejos pueden formarse durante el procesamiento/cocción como el pan que contiene como grasa, o artificialmente y de esta forma ser agregados a los alimentos, como almidones altos en amilosa acomplejados con ácidos grasos.

Uno de los principales beneficios que aporta este tipo de almidones es que puede ser utilizado como ingrediente para reforzar las características tecnológicas en los alimentos. De acuerdo con Escarpa y González (1997) el almidón resistente tipo III es considerado uno de los almidones con mayor importancia debido a que se encuentra en la mayoría de los almidones que han pasado por procesos térmicos. Este tipo de almidones aporta beneficios tecnológicos en los alimentos, debido a que posibilita la generación de productos con una mejor textura, sin afectar su sabor, olor o coloración, así como las posibles relaciones con la salud intestinal (Villarroel, Gómez, & Vera, 2018)

### **2.2.3 Fuentes convencionales y no convencionales de almidón**

El almidón, uno de los polímeros más abundantes del planeta se encuentra disponible en varias partes de la planta, desde las raíces, hojas, frutas y semillas (Mendoza *et al.*, 2017). De manera morfológica puede adoptar varias formas, desde esféricas, poligonales, reticulares, ovalada y hasta divididas. Su forma depende de la procedencia de donde se lo extraiga, por ejemplo, el

almidón obtenido del plátano muestra una forma ovalada, mientras que el que se obtiene del fruto de mango posee una forma esférica. (Bello *et al.*, 2006; Makro *et al.*, 2021), Por otra parte, Baidu, (2006) asegura que se puede encontrar distintos tipos de gránulos en un mismo cereal, siendo los de la zona más exterior del endospermo de forma poliédrica, mientras que los que se encuentran más al interior del grano presentan forma redondeada.

El almidón se obtiene con mayor frecuencia de fuentes convencionales con mayor importancia como el maíz, trigo, arroz, sorgo, mandioca y tubérculos como papa, yuca y en menor proporción se extrae de fuentes menores o poco convencionales como en el caso de algunos frutos como mango y plátano o de tubérculos como el makal, camote y sagú. Este ingrediente se utiliza ampliamente para mejorar las características de diversos alimentos y para elaborar productos alimenticios donde forme parte del ingrediente principal (Makroo *et al.*, 2021). Las características reológicas de los almidones utilizados con varios fines en la industria de los alimentos dependen fundamentalmente de su estructura, del tamaño del gránulo, así como también de la forma que presente cada tipo de almidón (Casarrubias *et al.*, 2012)

En la tabla 2 se resume la cantidad de almidón presente en algunos cereales y tubérculos empleados con mayor frecuencia, así como la forma de su estructura y el porcentaje de amilosa y amilopectina presente.

**Tabla 2.**  
*Composición de los almidones de diferentes procedencias*

<b>Fuente</b>	<b>Cantidad por 100 g</b>	<b>% amilosa</b>	<b>% amilopectina</b>	<b>Forma</b>
Maíz	71	28,3	71,7	Poligonal
Papa	82	21	79	Oval, esférica
Trigo	74	24	76	Esférica, lenticular
Arroz	89	17	83	Esférica
Camote	65	19,6	80,4	Esférica
Yuca	77	17	83	Esférica, truncada
Sagú	65	22,7	77,3	Poligonal
Sorgo	75	28	72	Esférica, Oval

Fuente: (Badui, 2006; Hernández *et al.*, 2008)

#### **2.2.4 Propiedades de los almidones**

Las propiedades de los almidones están influenciadas estrechamente por su procedencia y estructura, el uso de almidón en formulaciones y aplicaciones industriales depende directamente de propiedades fisicoquímicas como: gelatinización, retrogradación y las propiedades funcionales como: solubilidad, poder de hinchamiento, capacidad de retención de agua, sinéresis y comportamiento reológico. (Hernández *et al.*, 2008; Granados *et al.*, 2014)

A continuación se describen las propiedades fisicoquímicas:

##### **Gelatinización**

La gelatinización es un proceso en donde el almidón nativo transforma sus gránulos semi cristalinos y ordenados a un estado más amorfo (Ai y Jane, 2015). Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, esto se debe a que posee una estructura muy organizada y una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes. Al ser sometidos a un proceso de calentamiento se inicia un proceso lento de absorción de agua en las zonas inter micelares amorfas las cuales presentan menor organización y mayor accesibilidad, esto se debe a que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene mayor cantidad de agua y el gránulo empieza a hincharse y por ende a incrementar su volumen, una vez que la parte amorfa se ha hidratado de una manera completa, la zona cristalina inicia un proceso semejante, pero con mayor requerimiento energético. (Badui, 2006)

Al alcanzar temperaturas cercanas a 65°C aproximadamente, el granulo mezclado con agua u otros plastificantes alcanza su máximo volumen y se hincha, si la temperatura se incrementa el granulo hinchado no es capaz de retener líquidos y se rompe de manera parcial, dispersando a la amilosa y amilopectina hidratadas en el seno de la disolución. En este punto se pierden la estructura original y la birrefringencia del gránulo; esto va junto a un aumento de la viscosidad. Aproximadamente un 30% de la amilosa se encuentra en solución. A todo este proceso se le llama gelatinización, y es una transición de un estado ordenado a otro desordenado en el que se absorbe calor. Es decir, la gelatinización transforma los gránulos de almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual.



La birrefringencia indica la capacidad que tienen los almidones para refractar la luz de manera bidireccional, es decir, posee dos índices de refracción, por lo que cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la llamada “cruz de malta”, presentando en su centro un hilo, el cual indica un alto grado de orden molecular dentro del grano, sin hacer referencia a ninguna forma cristalina. El grado de gelatinización en el almidón va a depender de la temperatura a la que sea expuesto, su humedad, presión y de la presencia de otros compuestos como sales, azúcares y grasas, los cuales actúan como barrera impidiendo que el almidón absorba agua y se hinche. (Calabokis, 2021).

La temperatura que se debe suministrar para que inicie el proceso de gelatinización depende del tipo de almidón, por ejemplo, en el almidón de papa se requiere una temperatura mínima de 58,2°C, mientras que la temperatura mínima para iniciar la gelatinización en el almidón de trigo y en el almidón de maíz normal es de 57,1°C y 64,1°C respectivamente (Ai & Jane, 2015). Al seguir incrementando la temperatura, los gránulos ya hidratados se rompen para liberar las cadenas de amilosa y amilopectina formando una red coloidal e incrementando la viscosidad del sistema.

### **Retrogradación**

La retrogradación se da cuando las moléculas en los gránulos de almidón que se han gelatinizado se han liberado y comienzan a re asociarse en una estructura ordenada (Sandoval *et al.*, 2007). Se define a este fenómeno como la insolubilización y precipitación espontánea, de principal manera en las moléculas de amilosa, esto se debe a que sus cadenas lineales que la conforman se orienten de manera paralela, reaccionando entre sí por medio de puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos. Si una solución concentrada de amilosa se calienta y luego esta se enfría rápidamente hasta llegar a la temperatura ambiental, se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar de una manera lenta.

Cada almidón muestra tendencias diferente a retrogradar, relacionándose con su contenido de amilosa y por ende es de mayor dificultad desarrollarlo con la amilopectina esto se debe a que sus ramificaciones imposibilitan la formación de puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes; sin embargo, si las soluciones de almidón se congelan y se descongelan de manera

continua, se produce una insolubilización de la amilopectina. Las fracciones de amilosa y amilopectina que han retrogradado forman zonas con una organización cristalina bastante rígida que para romperse y permitir la gelatinización del almidón se requiere mucha energía (Badui, 2006).

La retrogradación del almidón posee importancia biológica debido a que el almidón retrogradado es menos digerible que el almidón que no se ha retrogradado, es por eso que al consumirlo este llega hasta el colon sin haber sido digerido, sirviendo de sustrato a las bacterias, funcionando como prebiótico y generando ácidos grasos de cadena corta como el ácido propiónico y el ácido butírico que actúan como fuente de energía para las células del colon (coloncitos) y actúa como fibra insoluble en la prevención de cáncer de colon, mejorando la salud intestinal (Bello *et al.*, 2002; Paredes *et al.*, 2009). Las enzimas amilolíticas presentes en el sistema digestivo del ser humano no atacan las zonas cristalinas que se producen con la retrogradación, en este sentido, se disminuye el valor calórico de los alimentos.

La retrogradación también se ve afectada por factores internos y externos, entre los primeros incluyen los constituyentes del almidón (amilosa y amilopectina) y como factores externos son otros ingredientes alimentarios (agua, lípidos, proteínas, carbohidratos y iones de sal) y las condiciones de procesamiento como temperatura, tiempo y patrón de retrogradación (Chang *et al.*, 2021).

Las propiedades funcionales en el almidón comprenden:

### **Poder de hinchamiento**

Producido durante la gelatinización, donde los gránulos de almidón se hinchan causando una ruptura y liberando al exterior sus constituyentes, que se encontraban formando una red tridimensional dentro del gránulo. Esta propiedad depende de las características de la amilosa y la amilopectina, su peso molecular, grado de ramificación, longitud y conformación de las moléculas, y la formación de complejos amilosa-lípidos, los cuales restringen el poder de hinchamiento y la solubilidad en almidones (Mercedes, 2017). Ruales *et al.* (1993) mencionan que el índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento se usan para medir la capacidad

de retención de agua del almidón después de tratamientos térmicos siendo este índice importante por la incidencia sobre la palatabilidad de los alimentos.

El poder de hinchamiento del almidón es representativo de las interacciones no covalentes dentro de las moléculas de almidón y está en función de su tamaño y la presencia de los grupos -OH que pueden interactuar con las moléculas de agua. En estudios recientes se han usado especies de *Zingiberaceae*, plantas usadas de manera convencional en la medicina tradicional, en donde fueron aislados almidones no convencionales para posteriormente determinar sus propiedades de hinchamiento, obteniendo un incremento en el poder de hinchamiento de forma lineal respecto con la temperatura sometida al proceso, la cual oscilaba entre 60 y 90°C en todos los almidones.

En almidones de papa obtenidos de variedades Aguila y Shuita se determinó que el poder de hinchamiento depende de la temperatura, obteniendo valores mayores a 90°C con resultados de 27,31 y 27,96 g agua/g almidón (Mercedes, 2017). Los resultados obtenidos concuerdan con el resultado obtenido por Martínez *et al.*, (2015), quien establece que el poder de hinchamiento del almidón en nueve variedades de papa estudiadas se correlaciona directamente con el incremento de la temperatura de preparación del gel, como resultado de la ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas, que permiten una absorción irreversible y progresiva del agua.

El contenido de amilosa en el almidón influye directamente en el comportamiento de hinchamiento de los almidones, es decir a mayor capacidad de amilosa, menor capacidad de hinchamiento, esto se debe a que la propiedad de hinchamiento de los almidones es el resultado del contenido de amilopectina, en cambio el contenido de amilosa inhibe la absorción de agua en presencia de lípidos, lo que retrasa el comportamiento de hinchamiento (Bashir y Aggarwal, 2019; Lescano, 2010; Mercedes, 2017). El poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de retención de agua y depende del tamaño del gránulo de almidón, temperatura de gelatinización y organización supramolecular de los componentes del almidón. (Granados *et al.*, 2014)

## **Solubilidad**

De manera similar al poder de hinchamiento, la solubilidad está relacionada directamente con la temperatura, esto debido a que una mayor solubilidad del almidón puede atribuirse a una mayor solubilización de polímeros a partir de gránulos de almidón con rigidez más débil, cuando se calientan a alta temperatura. Esto coincide con los resultados obtenidos por (Mercedes, 2017) en las dos variedades de papas nativas, alcanzando un máximo de solubilidad de 4,53 y 5,25% a temperaturas de 90°C, presentando diferencias estadísticamente significativas a partir de los 80°C. Estos resultados coinciden con la investigación realizada por Martínez *et al.*, (2015) en donde se determinó las características funcionales de nueve variedades de papa peruana obteniendo el mayor valor de solubilidad en la papa PI con un máximo de 20,24% de solubilidad a 90°C.

La solubilidad y el comportamiento de hinchamiento del almidón extraído se ven afectados por las condiciones de procesamiento empleadas. Por ejemplo, se ha determinado que después de un proceso de irradiación en el almidón, este presenta índice de hinchamiento más bajo, esto se debe a la destrucción de la estructura de la amilopectina por la generación de radicales libres en el procesamiento. Los resultados antes descritos fueron confirmados por Sudheesh *et al.* (2019) donde se irradió almidón de la planta de kithul (*Caryota urenus*) a 10 KGy, dando como resultado un índice de hinchamiento más bajo en comparación de los tratamientos sin irradiación empleados.

## **Capacidad de retención de agua**

La capacidad de retención de agua en los almidones es una propiedad funcional importante, que determina su uso específico en los diferentes productos a los que se lo quiera destinar. Las propiedades del almidón se relacionan con la absorción de agua o el hinchamiento dependen en gran medida de la fuente, la modificación, el tamaño y la estructura de los gránulos de almidón (Makroo *et al.*, 2021).

La afinidad de los gránulos de almidón al hinchamiento puede aumentar la absorción de agua sin comprometer la integridad estructural. Esto, a su vez, puede dar como resultado una sinéresis en la que la amilosa puede filtrarse al medio circundante, lo que facilita una mayor absorción

de agua y conduce a una mejor retención de agua por parte de los gránulos (Chang *et al.*, 2021). El aumento de la temperatura entre 25 y 75 °C para diferentes especies de curcumina aumentó su capacidad de retención de agua a 29 %, lo que se explica por la propiedad de gelatinización del almidón, de la misma manera, se compararon las propiedades fisicoquímicas del almidón de calabaza con el almidón de maíz y papa; e informaron que el valor del almidón de calabaza de viscosidad máxima es casi 3 veces mayor que el del almidón de maíz y casi 3 veces menor que el del almidón de patata.

### **Comportamiento reológico**

La viscosidad máxima en el almidón es una función de una multitud de factores tales como el comportamiento de hinchamiento, el complejo amilosa-lípido, la fricción granular, la lixiviación de la amilosa durante la gelatinización y la competencia entre los gránulos no gelatinizados y las moléculas de amilosa lixiviada por las moléculas de agua. Además, se informó un nivel mucho más bajo de retrogradación (45 %) en las pastas de almidón de calabaza en comparación con el almidón de papa y maíz que mostró una retrogradación de 60-70 %, lo que lo convierte en una fuente adecuada de almidón para las industrias alimentarias.

El comportamiento pastoso de los almidones no convencionales se modifica en presencia de proteínas y lípidos. Kumar *et al.* (2018) informaron un índice de hinchazón reducido en el almidón de avena cuando se pegaba con concentrado de proteína de suero y leche descremada en polvo (SMP). Además, SMP también resultó en una mayor sinéresis de almidón de avena. Sin embargo, la capacidad de retención de agua del almidón de avena junto con SMP y WPC fue del 100 al 121%. Este aumento en la capacidad de retención de agua del almidón de avena en presencia de proteínas de la leche se debió a la presencia de sitios de retención de agua en él y la tendencia de absorción de agua de la proteína de la leche. Esto también fue demostrado por Considine *et al.*, (2011) quienes sustituyeron el almidón por componentes de la leche para aumentar su capacidad de retención de agua debido a la adsorción física de proteínas en los gránulos de almidón.

### **2.2.5 Factores que afectan la retrogradación de los almidones**

La amilosa y amilopectina son los dos constituyentes principales en el almidón, su composición depende de la procedencia botánica de la cual se extrae influyendo en sus propiedades y por ende en la retrogradación. La amilosa y la amilopectina poseen diferentes movilidades, dependiendo de si tienen una estructura lineal o multi ramificada (Chang *et al.*, 2021). En general los almidones que tienen mayor cantidad de amilosa o con cadenas de glucano menos ramificadas y más largas son más propensos a la retrogradación que los almidones que tienen mayor cantidad de amilopectina.

Durante la gelatinización, la amilosa posee una mejor capacidad de reordenamiento que la amilopectina esto se debe a que su estructura lineal requiere relativamente poco espacio para el reordenamiento, por ende, es más fácil que esta forme una doble hélice o cristal que la amilopectina (Ai y Jane, 2015). Por el contrario, la amilopectina tiene una gran cantidad de ramificaciones y la distribución de sus cadenas se desordena luego de la gelatinización, lo que dificulta su reordenamiento y recuperación de su estructura ordenada. La amilopectina también puede retrogradar, aunque este proceso requiere más tiempo que la amilosa (Vamadevan y Bertoft, 2018). Por lo tanto, la retrogradación a corto plazo desde las primeras horas hasta varias decenas de horas después generalmente se atribuye a la reorganización de la amilosa, mientras que la retrogradación a largo plazo se atribuye a la reorganización de la amilopectina.

La retrogradación de los almidones es un proceso complejo, el cual es influenciado por factores tanto internos como externos, así como por los componentes que forman el alimento (Karim *et al.*, 2000; Chang *et al.*, 2021). Los factores internos presentes en el alimento que influyen en el proceso de retrogradación del almidón se resumen a continuación:

#### **Contenido de agua**

El contenido de agua en alimentos con alta cantidad de almidón juega un papel sumamente importante en los procesos de gelatinización y retrogradación de almidón, estos procesos solamente ocurren cuando el contenido de agua alcanza un determinado nivel. Durante el proceso de gelatinización, el agua contribuye al desenrollamiento de la doble hélice y promueve la creación de una sola cadena, mientras que un bajo contenido de agua puede conducir a un

proceso de gelatinización incompleta. En los almidones nativos, muchas cadenas de almidón se combinan entre sí mediante enlaces de hidrógeno para formar una doble hélice, lo que limita la movilidad de las cadenas de almidón.

Para que el proceso de gelatinización se inicie son indispensables temperaturas de calentamiento y contenido de agua necesario. Con el calentamiento se desestabiliza y daña los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de almidón, mientras que el agua, como plastificante, puede combinarse preferentemente con cadenas de almidón despolimerizadas y, por lo tanto, mejorar la movilidad de las cadenas de almidón. La presencia de agua también hace que el gránulo de almidón incremente su volumen y se hinche, proporcionando así un mayor espacio para el movimiento de las cadenas de almidón.

La retrogradación del almidón se produce cuando el gel se enfría con una consecuente reorganización de las cadenas de almidón, principalmente por las fuerzas de Van der Waals. Este proceso va acompañado de una liberación de calor con la nueva formación de enlaces de hidrógeno entre las cadenas presentes. Cuando el almidón se gelatiniza en diferentes proporciones almidón- agua, el espacio entre las cadenas varía a medida que cambia su contenido de agua. Esto significa que la situación de retrogradación será completamente diferente cuando la entalpía del sistema almidón-agua reduce, con la probabilidad de que las cadenas de almidón se vuelvan a enredar a medida que el agua interactúa con otras cadenas de almidón libres, dificultando la interacción de los grupos hidroxilo por la distancia entre las cadenas de almidón en altos contenidos de humedad.

Por el contrario, si el proceso de gelatinización se produce con un bajo contenido de agua, la amilosa en estado amorfo del almidón original no se puede disolver lo suficiente y parte de la estructura cristalina se mantendrá. Esto se debe a que el contenido de agua insuficiente puede inhibir la lixiviación de amilosa y, por lo tanto, frenar la formación del núcleo cristalino, así como la expansión y maduración del cristal. La recristalización del almidón solo ocurre en un cierto rango de contenido de humedad (20–90%) (Chang *et al.*, 2021).

El grado de recristalización del almidón aumenta en cierta medida con un aumento del contenido de agua (del 20 al 50 %) y luego disminuye con un nuevo aumento del contenido de agua (del 50 al 90 %). A medida que aumenta el contenido de agua, aumenta el espacio disponible para

el movimiento de las cadenas de almidón y su movilidad y cuando el contenido de humedad es superior a un cierto límite, la distancia excesiva aumenta la dificultad de la polimerización cruzada.

### **Presencia o ausencia de proteínas**

En su composición los alimentos ricos en almidón contienen también proteína en la mayoría de sus estructuras las cuales pueden afectar a las propiedades del almidón durante su procesamiento y su almacenamiento (Chang *et al.*, 2021). Cuando un alimento contiene proteínas en su composición, estas se agrupan impidiendo la retrogradación del almidón (Badui, 2006), sin embargo no todas las proteínas disminuyen el proceso de retrogradación, debido a que la presencia de algunas proteínas promueven la cristalización de la amilosa, esto es aseverado por Xijun *et al.*, (2014), en donde se evaluaron los efectos de las proteínas albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas de la harina de trigo en la retrogradación de los almidones, los resultados que obtuvieron fue un retraso en la retrogradación solamente cuando existe presencia de gluteninas, mientras que en presencia de albúminas, globulinas, y gliadinas el proceso de retrogradación es promovido dentro de un cierto rango de concentración, por ejemplo en bajas concentraciones de albúmina se obtuvo mejores resultados que en altas concentraciones, esto debido a que las temperaturas de auto clavado pueden precipitar la albúmina, mientras que la retrogradación en presencia de globulina y gliadina incrementa conforme aumenta la concentración utilizada.

### **Lípidos**

Los lípidos pueden coexistir con el almidón para formar un complejo lípido-almidón. El almidón se aísla del tejido vegetal, que siempre contiene lípidos. Además, los lípidos se agregan comúnmente a los alimentos ricos en almidón procesados. Los lípidos pueden formar complejos almidón-lípido con cadenas simples de almidón (principalmente amilosa) a través de un efecto hidrofóbico el cual disminuye el grado de retrogradación de los almidones (Chang *et al.*, 2021). Al añadir lípidos a un almidón, se produce una lixiviación de la amilosa y disminuye su solubilización, impidiendo que se desarrolle de manera correcta la gelificación, evento sumamente importante previo a la retrogradación (Costa & Landi, 2014).



## **Carbohidratos**

El efecto de los carbohidratos sobre la retrogradación del almidón puede ser positivo, negativo, o incluso insignificante (Chang *et al.*, 2021). De acuerdo con Ahmad y Williams, (1999) el uso de azúcares aumentan la temperatura de gelatinización del almidón, en el orden que se especifica a continuación: solamente agua < ribosa < fructosa < glucosa < maltosa < sacarosa, Los efectos de este tipo de carbohidratos depende de la concentración, sus propiedades, y las condiciones en las cuales se produce la retrogradación. Por ejemplo, Guo y Du, (2014) evidenciaron que la adición de azúcares como glucosa, fructosa o maltosa pueden disminuir la temperatura de transición vítrea del almidón y en diferente medida promover o disminuir la retrogradación del almidón dependiendo de la temperatura a la cual se efectúe. Por otro lado, Luo *et al.*, (2017) demostraron que la adición de inulina polimerizada en diferentes grados y concentraciones influye en los efectos de gelatinización y retrogradación del almidón, siendo un factor importante que determina la retrogradación, este tipo de fibra inhibe la retrogradación de la amilosa, pero incrementa el grado de retrogradación en la amilopectina.

## **Iones de sal**

Los iones de sal tienen un efecto significativo en la gelatinización, retrogradación, propiedades térmicas y propiedades fisicoquímicas del almidón. El almidón es una sustancia débilmente ácida que puede liberar iones de hidrógeno en el solvente hasta alcanzar un potencial de equilibrio cuando este equilibrio se da el almidón se carga de forma negativa, mientras que la solución acuosa se carga positivamente y es débilmente ácida debido al aumento de la concentración de iones de hidrógeno. Por ejemplo, cuando el cloruro de sodio se disuelve en una solución, como electrolito fuerte, se ioniza en cationes y aniones.

El almidón cargado negativamente tiende entonces a atraerse y unirse al catión. Este proceso cambia la fuerza repulsiva de la capa interna del almidón y cambia el pH del solvente, lo que puede interferir con las propiedades del almidón. (Chang *et al.*, 2021), se ha encontrado efectos en la adición de sal en la retrogradación del almidón, los efectos dependen de la temperatura en la que se esté retrogradando (Guo y Du, 2014). A 4°C, Na<sup>+</sup> reemplazó los iones de hidrógeno e interactuó con las cadenas de almidón y creó un potencial de Donnan, que mejoró la repulsión mutua entre las cadenas de almidón, inhibiendo así la reasociación del almidón, mientras que a

– 22°C, NaCl se ionizó en Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en la solución máximamente concentrada por congelación, lo que hace que las moléculas de agua no puedan mantener una estructura tetraédrica.

El efecto de los iones de sal en la retrogradación del almidón se puede explicar utilizando la serie de Hofmeister, la misma que clasifica los iones en caótropos y cosmótropos en función de su capacidad para cambiar la red de enlaces de hidrógeno del agua. Los caótropos se definen como "rompedores de la estructura del agua" y pueden desestabilizar la estructura de las macromoléculas y causar un efecto de salazón. Los cosmótropos se definen como "creadores de la estructura del agua" y están fuertemente hidratados, pueden estabilizar las macromoléculas y crear un efecto de salinidad. Aunque la serie de Hofmeister se usa principalmente para explicar el efecto de las sales en la desnaturalización de proteínas, tiene una regularidad similar cuando se aplica para explicar el efecto de los iones en el comportamiento del almidón. Los iones caótropos pueden reducir la retrogradación del almidón, mientras que los iones cosmótropos pueden promover la retrogradación del almidón. El efecto promotor o retardador de los iones sobre la retrogradación puede influir tanto en el almidón de maíz nativo como en el almidón de maíz hidroxipropilado.

En lo que respecta a las condiciones externas, la retrogradación del almidón está influenciada por varios factores externos, como: tiempo, temperatura, patrón de retrogradación y tasa de cambio de temperatura (Chang *et al.*, 2021).

### **Tiempo de retrogradación**

La retrogradación se puede dar en dos fases, retrogradación a corto plazo generada por la amilosa y la retrogradación a largo plazo por la amilopectina. Generalmente el grado de retrogradación incrementa durante el paso del tiempo, aunque a veces el grado de retrogradación permanece sin cambios conforme aumenta el tiempo.

### **Temperatura de retrogradación**

La temperatura es otro factor que influye en el proceso de retrogradación del almidón. El grado y la velocidad de retrogradación son diferentes dependiendo de la temperatura. Se ha encontrado que 4°C puede promover la formación de un núcleo cristalino, pero la temperatura no es adecuada para el crecimiento del cristal, mientras que una temperatura alrededor de la

temperatura ambiente (25°C) es desventajoso para la formación de un núcleo cristalino, pero es bueno para el crecimiento del almidón. Un ciclo de temperatura promueve la formación de almidón de digestión lenta porque se forman cristales más imperfectos en tales condiciones.

Xie *et al.*, (2014) encontró que la retrogradación en intervalos de temperatura de 4 a 25°C podría impulsar la formación de almidón resistente, porque los gránulos de almidón a estas temperaturas eran propensos a formar cristales imperfectos. Sin embargo, los cristales imperfectos que se forman a 4°C son propensos a derretirse a 30°C, y así disminuir la entalpía total de fusión. Esto puede considerarse como un parámetro que influye en el grado de retrogradación. Al comienzo del proceso de retrogradación, el núcleo cristalino es pequeño e inestable. Los cristales en esta etapa son vulnerables a la fusión. Después de que continúa la retrogradación, el cristal crece a un tamaño mayor y su estructura interna se reorganiza hacia un patrón más ordenado. Se ha demostrado que temperaturas entre 20 o 25°C son mejores temperaturas para la retrogradación. La razón que influyó en el alto nivel de RS fue principalmente la estabilidad de los cristalitas según las condiciones de temperatura.

### **Patrón de retrogradación**

La tasa de cambio de temperatura también puede afectar la retrogradación del almidón, se encontró que el grado de retrogradación del almidón disminuye si la velocidad de enfriamiento es demasiado rápida. Esto se debe a que una velocidad de enfriamiento rápida restringe el tiempo disponible para que el almidón se reorganice. Además, después de ser congelado a una temperatura inferior a 0°C, es difícil que las cadenas de almidón sufran más reordenamientos, incluso cuando se les da suficiente tiempo (Chang *et al.*, 2021).

#### **2.2.6 Sorbetes comestibles y los retos de la industria alimentaria**

Según el diccionario de americanismos de la Asociación de Academias de la lengua española (ASALE), los sorbetes o también denominados pajillas, con forma indistinta a la caña delgada o tubo artificial de forma similar, son utensilios que sirve para sorber líquidos, especialmente bebidas. Generalmente, representan un tubo de forma cilíndrica y alargada por el cual se puede canalizar una bebida líquida desde el envase hasta la boca de un consumidor (Carrizo *et al.*, 2020). Los sorbetes más primitivos fueron elaborados por los sumerios a partir de tallos de

plantas. En diversas culturas se utilizaron cañas secas y huecas, para propósitos similares, siendo los tallos o pajas de trigo, cebada o centeno entre otras, los más utilizados, y de ahí el nombre de pajillas.

El uso de este tipo de utensilios se remonta a la antigüedad, bastante tiempo atrás de lo que muchas personas piensan. Según los historiadores, fueron los egipcios las primeras personas en usar sorbetes para beber cerveza y así evitar tragar los residuos provenientes de la levadura. Este tipo de utensilios estaban compuestos de metal para el uso de personas de la realeza y de centeno o caña para los plebeyos.

Mucho tiempo después, Marvin Stone fabricante de cigarrillos, solía beber whisky con menta y hielo en los meses de verano con ayuda de una caña de centeno, siendo la primera persona en aproximarse al concepto de sorbete actual, debido a que el sabor del centeno le desagradaba, Stone tuvo la idea de forrar un lápiz con papel, para luego quitar el lápiz y finalmente pegar el cilindro de papel hueco con pegamento, inventando así el sorbete para beber y patentándolo el 3 de enero de 1888,

El siguiente personaje que destacó en la historia del sorbete fue Joseph Friedman, quien con la dificultad que tenía su hija para beber un batido, decidió implantar un tornillo en la parte superior de este, después lo giró y retiró el tornillo, para poder doblar la punta del sorbete y facilitar la bebida. En 1937 se patentó el sorbete flexible elaborado de cartón y cubierto con parafina para otorgar mayor resistencia frente a los líquidos y sus temperaturas. Los sorbetes, aun así, seguían teniendo una corta vida, ya que eran de usar y desechar.

En la década de los años 60 se empieza a comercializar los sorbetes de plástico, cuya duración era más larga, produciendo así el boom del uso de este tipo de utensilios plásticos, que venían a sustituir a los sorbetes de cartón, siendo más baratos y duraderos (Carrizo *et al.*, 2020). Los sorbetes convencionales son productos de plástico que se utilizan con mucha frecuencia en la industria de los servicios alimenticios, restaurantes, bebidas refrescantes e inclusive en bebidas alcohólicas (Cui *et al.*, 2023). Debido a la alta demanda, con un promedio anual de 110 sorbetes de un solo uso por habitante, en la actualidad existe cada vez mayor preocupación por reemplazar este tipo de elementos contaminantes, por elementos biodegradables e inclusive comestibles.

De acuerdo con Carrizo *et al.*, (2020), los sorbetes de plástico se han convertido en uno de los mayores exponentes de la contaminación provocada por productos plásticos. Julio Barea lo cataloga en un artículo publicado en la web de Greenpeace como:

“Un objeto cotidiano, con unos pocos minutos de uso y que puede tardar hasta 500 años en descomponerse en nuestro medio ambiente, causando gravísimos daños en los ecosistemas marinos”

Los sorbetes elaborados con materia prima procedente de alimentos representan una iniciativa que evita el uso de sorbetes de plástico, pudiendo consumirse o desecharse luego de su utilización. Al ser elaborados con ingredientes naturales su biodegradabilidad se obtiene en cortos lapsos de tiempo (Clarín, 2018). En la actualidad se han patentado sorbetes comestibles elaborados a partir de agua, gelificante, azúcar, un agente estabilizante o espesante, y un agente plastificante o humectante.

### **2.2.7 Propiedades reológicas en los sorbetes elaborados con almidón de papa**

#### **Análisis de perfil de textura**

La textura en los alimentos es uno de los atributos con mayor importancia, los cuales ayudan a determinar su identidad (Nogales, 2018). El análisis de perfil de textura TPA es un análisis de las características texturales de un alimento, sus atributos mecánicos, geométricos, perfil de grasa y humedad, entre otros. El TPA es una prueba de compresión doble que varía entre el 25 y el 90% de compresión de la muestra, para determinar propiedades texturales de los alimentos. Esta prueba resulta casi siempre en la ruptura del alimento, proporcionando información sobre cómo se comportan las muestras cuando se mastican.

Para determinar cada uno de los atributos evaluados en un análisis de perfil de textura se utilizan instrumentos que permitan simular procesos básicos como el de la masticación realizada al ingerir determinado alimento (García *et al.*, 2017). El equipo que se utiliza para medir parámetros texturales como dureza, gomosidad, masticabilidad, elasticidad, cohesividad, adhesividad y fracturabilidad es el texturómetro, dichos parámetros se definen en la tabla 3.

**Tabla 3.**

*Definiciones según la norma UNE 87001-94 los parámetros obtenidos en el TPA*

<b>Atributo</b>	<b>Definición</b>	<b>Ejemplo</b>
Fragilidad	Relacionada con la cohesión y con la fuerza necesaria para romper un producto en trozos.	Crujiente (papas chips)
Dureza	Relativa a la fuerza necesaria para deformar el alimento o hacer penetrar un objeto en él.	Duro (azúcar caramelizado)
Cohesión	Relativa al grado de deformación de un producto antes de romperse.	
Adhesividad	Relativa al esfuerzo requerido para separar la superficie del alimento de otra superficie.	Pegajoso (arroz sobrecocido)
Elasticidad	Relativa a la rapidez de recuperación de la deformación después de la aplicación de una fuerza y al grado de dicha recuperación.	Plástico(mantequilla)
Gomosidad	Relativa a la cohesión de un producto blando.	Gomoso (gelatina)
Masticabilidad	Relacionada con la cohesión y el tiempo necesario o el número de masticaciones requeridas para dejar un producto sólido en las condiciones necesarias para su deglución.	Masticable (caramelos de goma)

Fuente: (Talens, 2017)

### **2.2.8 Implicaciones sensoriales por evaluar en los sorbetes elaborados a partir de almidón de papa retrogradado.**

El análisis sensorial es el examen de las propiedades organolépticas de un producto, la cual se realiza por medio de los sentidos humanos, los atributos que se evalúan son: color, olor, sabor, textura, apariencia en un alimento o en la materia prima. Hoy en día este tipo de análisis es reconocido como una de las formas más importantes de determinar la aceptación o rechazo por parte del consumidor (García *et al.*, 2017). Los sentidos pueden evaluar más de una propiedad sensorial, por ejemplo, el sentido de la vista puede evaluar el color, la apariencia y la rugosidad (Anzaldúa, 2010).

#### **Color**

Esta propiedad es la percepción de la luz de una cierta longitud de onda la cual es reflejada por un objeto, por ejemplo, un cuerpo rojo refleja su color con la longitud de onda del color rojo y absorbe la luz de todas las demás longitudes de onda del espectro visible. La medición de color

en el análisis sensorial puede llevarse a cabo utilizando escalas de color. Las escalas verbales o descriptivas se usan de manera más común en pruebas de medición, para control de calidad de productos, evaluación de procesos o desarrollo de nuevos productos (Anzaldúa, 2010).

### **Olor y aroma**

El olor es la percepción de sustancias volátiles que se liberan de los objetos y se receptan por medio de la nariz. En el caso de los alimentos esta propiedad es diferente para cada uno, siendo difícil normalizar el olor que cada alimento debe poseer. Por otro lado, el aroma es la percepción de las sustancias volátiles presentes en un alimento luego de haber sido ingresadas a la boca. Estas sustancias se disuelven a través de la mucosa del paladar, y la faringe para pasar por la trompa de Eustaquio hacia los centros sensores del olfato.

### **Sabor**

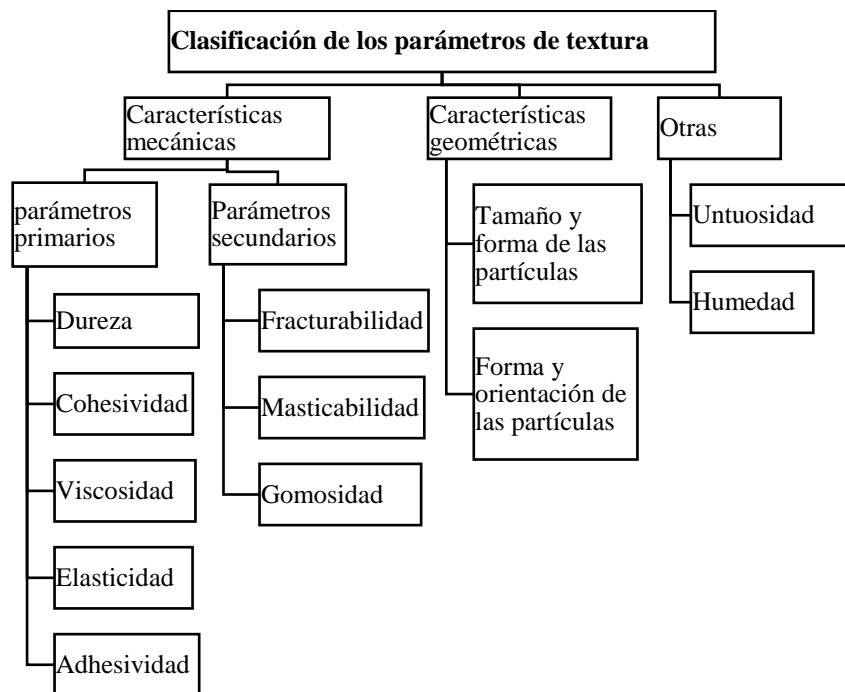
Es un atributo de los alimentos muy complejo, debido a que combina las propiedades de olor, aroma y gusto. Por ello su medición depende de los tres factores. Este atributo es influenciado por el color y la textura, por lo que cuando se desea evaluarlo, se deben enmascarar las otras propiedades antes mencionadas, esto evitará una influencia errónea de los demás atributos en una percepción.

### **Textura**

Es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada mediante los sentidos del tacto, vista, oído y que se manifiesta una vez que el alimento ha sufrido una deformación. (Anzaldúa, 2010). La textura no puede ser percibida si el alimento no ha sufrido una deformación. La textura corresponde a la suma de diferentes parámetros evaluados una vez que se mastica y se deglute el alimento. Tanto los alimentos sólidos como los alimentos líquidos tienen textura, en el caso de los líquidos se habla de viscosidad y en el caso de los semisólidos se habla de consistencia.

No se puede referir a la textura como un único atributo, debido a que como se evidencia en la figura posterior, los atributos de textura corresponden a un sin número de propiedades que en conjunto contribuyen a darle al alimento una textura agradable o desagradable.

**Figura 1.**  
*Clasificación de los parámetros de textura*



Fuente: (Díaz 2012 citado en García *et al.*, 2017)

### **Pruebas de evaluación sensorial- Pruebas afectivas**

Son pruebas que se realizan con personas no entrenadas, es decir estas personas son escogidas como consumidores reales del producto que se quiere evaluar. Este tipo de pruebas se pueden realizar en condiciones similares al lugar en donde se consuma el producto, por ejemplo, en supermercados, escuelas, plazas, etc. Este tipo de pruebas son aquellas en las cuales el juez expresa una reacción subjetiva hacia el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza o si tiene preferencia por otro.

El cuestionario que se va a emplear es otro elemento que debe ser analizado con rigor, para evitar que este introduzca errores en los resultados obtenidos. El mismo no debe ser muy extenso para evitar fatigar a los jueces o provocar rechazo a realizar la prueba, además debe ser fácil de responder, para ello se debe redactar de manera clara con preguntas de fácil comprensión que sea legible. De acuerdo con Manfugás, (2020), el número de jueces que se recomienda emplear debe ser mayor de 80, generalmente entre 100 y 150, aunque mientras mayor cantidad se emplee se logra una mejor representatividad de la población. Si la investigación es a nivel laboratorio puede utilizarse de 25 a 30 jueces.



## Prueba hedónica

Este tipo de pruebas utilizan escalas hedónicas para calificar cada uno de los atributos en el alimento, se utiliza este tipo de pruebas cuando se desea evaluar más de dos muestras a la vez y se requiere obtener más información acerca el producto que se está evaluado. Generalmente los parámetros a evaluar son color, olor, sabor, textura y aceptabilidad. Un ejemplo de escala hedónica utilizada en el análisis sensorial se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.**  
*Ejemplo de escala hedónica de tres puntos*

Descripción	Valor
Me gusta	+1
Ni me gusta ni me disgusta	0
Me disgusta	-1

Fuente: (Anzaldúa, 2010)

Para realizar esta prueba el juez debe calificar mediante escalas hedónicas las cuales representan una calificación que el evaluador luego de realizar el análisis calificará con el objetivo de realizar la interpretación de los resultados. Este tipo de escalas son las más fáciles de usar, cuando se va a evaluar de una a dos muestras, cuando las muestras son más de dos, se debe usar escalas de más de tres puntos, ampliando a cinco, siete o nueve puntos. No es recomendable utilizar escalas de más de nueve puntos debido a que tienden a confundir al evaluador incrementando el nivel de error de las respuestas (Anzaldúa, 2010).

### 2.2.9 Perspectivas y futuras tendencias

Las industrias alimenticias en la actualidad buscan satisfacer los requerimientos metabólicos y nutricionales en los consumidores, y que con dichos productos los consumidores puedan mejorar su salud gozando de un alimento con buenas características sensoriales (Pineda, 2019). El almidón resistente es considerado hoy en día un importante ingrediente en la creación y elaboración de nuevos productos alimenticios con características funcionales, esto debido a su capacidad de resistir a la digestión y mantenerse íntegro a lo largo del tracto gastrointestinal (De México, 2020; Villarroel, Gómez, Vera, *et al.*, 2018). En diversos estudios se está empezando a utilizar el almidón resistente de diferentes fuentes botánicas para el enriquecimiento de productos alimenticios existentes. El almidón resistente tipo III o también almidón retrogradado

posee buenas características de sabor, apariencia y textura, en comparación de las fibras insolubles utilizadas en la industria alimentaria, en este sentido Pineda, (2019) realizó la adición de almidón resistente tipo III en un postre lácteo presentando buenas características sensoriales, demostrando que puede ser utilizado como ingrediente funcional en la elaboración de productos alimenticios ya existentes o en la formulación de nuevos productos.

El uso de almidones de diferentes fuentes cada vez va en incremento, esto se debe a las características, como un ejemplo el uso de almidones por sus características plastificantes, en donde se puede obtener bioplásticos y así disminuir el uso de plásticos derivados de petróleo ayudando a combatir la contaminación ambiental. Actualmente, las investigaciones están enfocadas en el desarrollo de nuevos materiales biodegradables dosificados con polisacáridos obtenidos de fuentes renovables y que en medio de compostaje se comportan totalmente como biodegradables (Pinos, 2019).

### **2.3. Marco legal para la elaboración de sorbetes a partir de almidones**

En la presente investigación se ha contemplado leyes de organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas ONU y de manera local la Constitución Política de la República del Ecuador (2008) las cuales se mencionan a continuación:

La Organización de Naciones Unidas (ONU, 2015) en su agenda para el desarrollo sostenible para reducir la pobreza y disminuir el cambio climático afirma que:

La construcción de una economía global más sostenible ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. Por lo tanto, es de vital importancia que la comunidad internacional cumpla con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, y también los objetivos de reducir las emisiones establecidos en el Acuerdo de París de 2015.

Se afirma que el desarrollo sostenible y la acción climática están estrechamente vinculados siendo vital para el bienestar presente y futuro de la humanidad. De manera similar en el ámbito nacional se trabaja para promover el cuidado del ambiente por tal motivo los artículos de la Constitución de la República del Ecuador (2008) que se presentan a continuación son los que se enfocan en el cuidado del planeta.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración...En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas. (Constitución del Ecuador, 2008, p.36)

Art. 73.- “El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales...”(Constitución del Ecuador, 2008, p.36)

De manera similar se hace énfasis en la sustentabilidad, respetando la biodiversidad y el ecosistema como se afirma a continuación.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

Numeral 1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras. (Constitución del Ecuador, 2008)

Numeral 3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales. (Constitución del Ecuador, 2008)

Por otro lado, en el ámbito local la Constitución de la República del Ecuador (2008), establece el uso de alimentos producidos preferiblemente a nivel local, así lo especifica en el capítulo segundo, sección primera, Art. 13.

“Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales” (p,13).

La normativa citada anteriormente promueve la investigación y el desarrollo de nuevos productos alimenticios saludables, elaborados con productos cultivados en la zona,

incrementando su consumo y contribuyendo al ambiente disminuyendo la contaminación ambiental generada por la utilización de plásticos de un solo uso.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

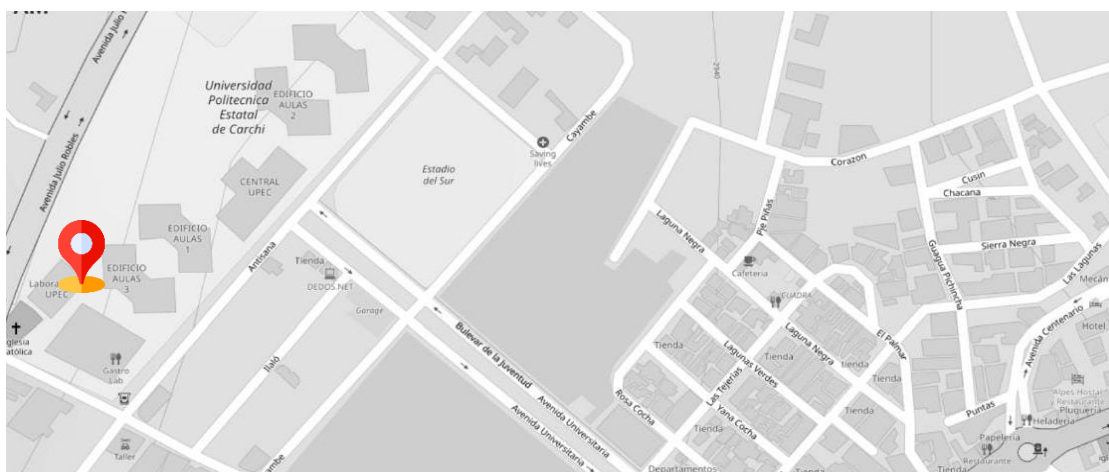
#### 3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC) ubicada en la ciudad de Tulcán provincia del Carchi de la siguiente manera:

- La retrogradación del almidón y su evaluación se realizaron en los laboratorios de microbiología y análisis de calidad.
- La elaboración de los sorbetes se la realizó en los laboratorios harinas y cereales.
- Para la determinación de la hidroestabilidad se utilizó el laboratorio de análisis de calidad
- Los análisis de perfil de textura (TPA) se realizaron en un laboratorio externo al no contar con el equipo necesario en la universidad.

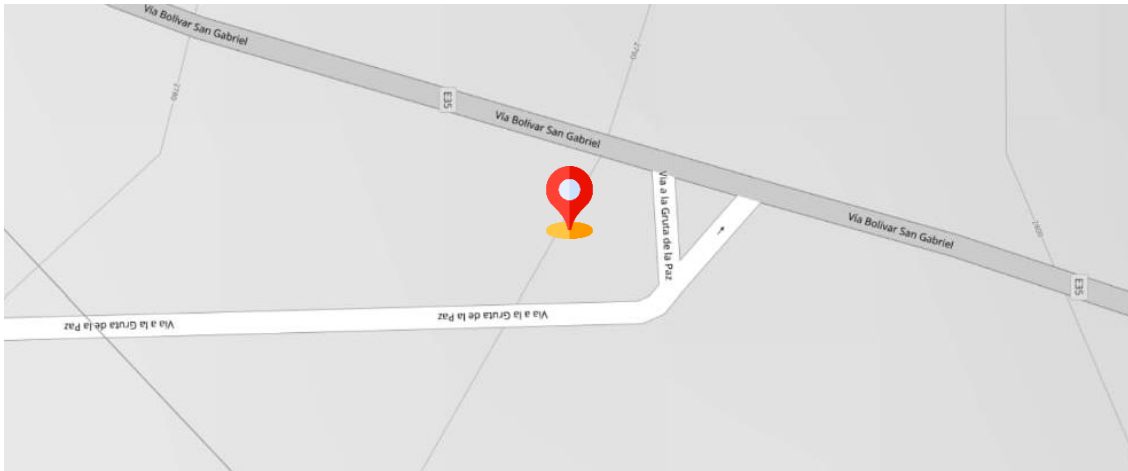
#### Figura 2.

*Ubicación del lugar donde se va a llevar a cabo el estudio.*



Para la adquisición de la materia prima en la elaboración de los sorbetes se tomó en cuenta el almidón de papa producido en la empresa Indproalpa S.A, planta ubicada en la panamericana norte sector del Capulí, provincia del Carchi. Los ingredientes restantes se los adquirió en la ciudad de Tulcán-Ecuador y los aditivos empleados en la ciudad de Ipiales- Colombia.

**Figura 3.**  
*Ubicación de la planta productora de almidón de papa*



## **3.2. Enfoque y tipo de investigación**

### **3.2.1 Enfoque cuantitativo**

Otero (2018) indica que el enfoque cuantitativo se concentra en las mediciones numéricas, utilizando la observación del proceso en forma de recolección de datos para luego analizarlos y llegar a responder las incógnitas presentes en la investigación. El enfoque que se utilizó en la siguiente investigación es de tipo cuantitativo debido que, al realizar diferentes formulaciones para obtener el sorbete con almidón de papa modificado, vamos a obtener diferentes propiedades texturales y sus parámetros sensoriales van a variar dependiendo de la formulación realizada. Con los datos recolectados y mediante el análisis estadístico se obtuvo una respuesta a nuestra investigación para determinar si el producto cumple o no con los requerimientos técnicos necesarios para ser utilizado en bebidas.

### **3.2.2 Tipo de Investigación**

#### **Exploratoria**

De Acuerdo con Hernández *et al.*, (2016), las investigaciones de tipo exploratorio se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado temas similares. La elaboración de sorbetes a partir de almidón de papa modificado es un tema poco o casi nada estudiado debido que este tema aun no es abordado ampliamente y no existe fundamentación teórica suficiente, por lo que para

obtener una buena formulación en la elaboración de estos productos se debe realizar múltiples ensayos.

## **Experimental**

Como lo manifiesta Murillo (2011), la investigación de tipo experimental se fundamenta en la manipulación de una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. La formulación de este estudio se basó en una patente con modificaciones en la cantidad de azúcar micropulverizada y la utilización de almidón de papa retrogradado en un ciclo y dos ciclos de la variedad Super Chola, variables de las cuales dependen las características reológicas, sensoriales y de textura del sorbete. Con los parámetros evaluados se determinó la mejor formulación y el mejor proceso para retrogradar el almidón de papa nativo y de esta manera obtener un producto que cumpla con parámetros técnicos que el mercado actual exige. Las variables manipuladas influyen directamente en las características sensoriales y el tiempo de resistencia del sorbete dentro de diferentes bebidas.

### **3.3. Definición y operacionalización de variables**

#### **Variable independiente**

- Grado de retrogradación del almidón
- Porcentaje de almidón retrogradado y de azúcar micropulverizada utilizada en la formulación.

#### **Variable dependiente**

- Características sensoriales
- Hidroestabilidad
- Características texturales

**Tabla 5.**  
Operacionalización de variables sorbetes de almidón de papa retrogradado

Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
VI	Retrogradación del almidón	Ciclos de enfriamiento/calentamiento (4°C por 24 horas y 25°C por 24 horas) 1 repetición (4°C por 24 horas y 25°C por 24 horas) 2 repeticiones	Metodología empleada por Pineda, (2019).	Artículo científico (Pineda 2019).
	Porcentaje de almidón y azúcar	Porcentaje Almidón retrogradado 25%, azúcar 75% Almidón retrogradado 50%, azúcar 50% Almidón retrogradado 75%, azúcar 25%	Metodología empleada por Juviña <i>et al.</i> ,(2016)	Patente (Juviña <i>et al.</i> , 2016)
	Calidad Sensorial	Características sensoriales Color Olor Sabor Textura Aceptabilidad en general	Prueba hedónica de aceptabilidad	Hoja de catación con una escala de 5 puntos (Anzaldúa, 2010).
VD	Hydroestabilidad	Lixiviación del sorbete dentro de la bebida Porcentaje de materia seca retenida.	Metodología empleada por Obaldo <i>et al.</i> (2002)	Artículo científico (Obaldo <i>et al.</i> , 2002).
	Calidad textural	Características texturales Dureza Cohesividad Elasticidad Firmeza Masticabilidad	Prueba de análisis de perfil de textura (TPA)	Tesis Maestral (Calabuig, 2012).



### **3.4. Procedimientos**

La presente investigación consta de cinco fases, la primera representa la retrogradación de almidón y su evaluación, la segunda fase la evaluación de los parámetros sensoriales del sorbete, para ello se realizó su formulación y determinación de inocuidad de cada tratamiento, la tercera fase representa los análisis para determinar el tiempo de resistencia del sorbete dentro de diferentes bebidas mediante pruebas de lixiviación, la cuarta etapa es el análisis de perfil de textura del mejor tratamiento obtenido a partir de los resultados de análisis sensorial y de hidroestabilidad y la quinta etapa el cálculo de costos unitarios del mejor tratamiento.

#### **3.4.1 Fase 1. Análisis del grado de retrogradación de cada almidón por medio de la capacidad de retención de agua y solubilidad.**

Para evaluar el grado de retrogradación de cada tratamiento previamente se retrograda el almidón nativo. El proceso de retrogradación consiste en el reordenamiento de los constituyentes del almidón desde un estado desordenado formado en el proceso de gelatinización, a un proceso más ordenado que modifica las características reológicas, de textura y dureza. (Sandoval et al., 2007). Para retrogradar el almidón se debe gelatinizar previamente. Para que este proceso se lleve a cabo es de suma importancia las condiciones creadas por la gelatinización (Chang et al., 2021).

Para obtener almidón retrogradado de papa se tomó la metodología empleada por Pineda, (2019) y Rodríguez *et al.*, (2014): Se preparó soluciones al 20% de almidón p/v en agua, (20 g de almidón en 80 ml de agua). Para esto, se pesó 200 g de muestra de almidón de papa variedad Super Chola en una balanza analítica marca Citicen CX 220 y en un matraz se aforó con agua destilada hasta 1000 ml, esta solución se calentó a 60 °C en una parrilla durante 15 min, para realizar un pre-hinchamiento inicial en el almidón, una vez transcurrido este tiempo dicha solución se autoclavó por 30 min a una temperatura de 120 °C, esta operación se realizó para las 6 muestras por triplicado.

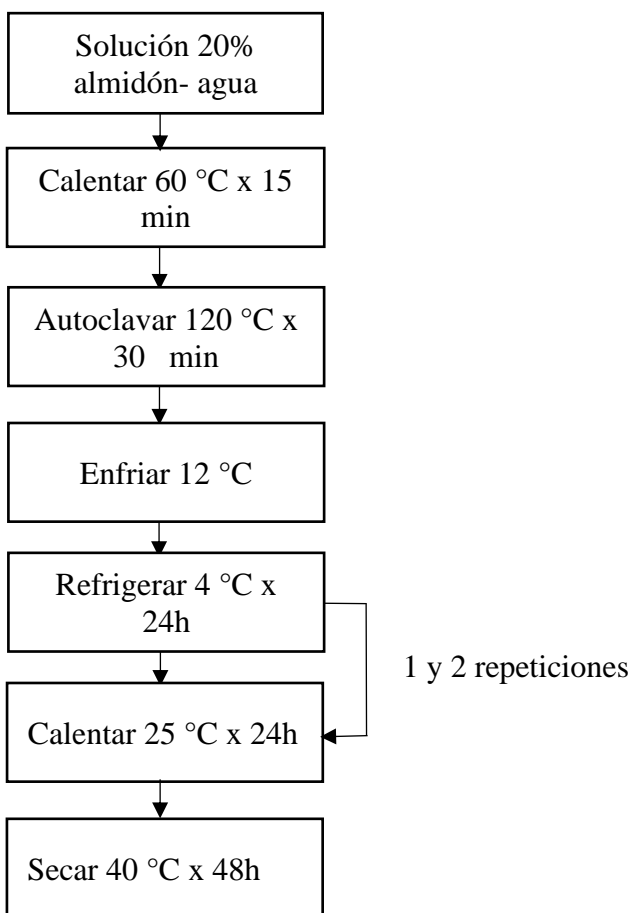
Luego de gelatinizar el almidón se enfrió las muestras a temperatura ambiente para someterlas a refrigeración a una temperatura de 4 °C por 24 h y luego a un calentamiento en baño maría a 25 °C por 24 h, este proceso se repitió uno y dos ciclos de calentamiento/enfriamiento los cuales

se los denominó A1 y A2 para los almidones retrogradados en un ciclo y dos ciclos respectivamente.

Una vez culminado la etapa de retrogradación en los diferentes tratamientos, se procedió a secar el almidón a una temperatura de 40 °C por 48 h, para luego ser molido y tamizado. Previo a su utilización se guardó en fundas con cierre hermético para protegerlo de la humedad ambiental hasta su posterior uso. En la figura 4 se resume la obtención de almidón retrogradado a partir de almidón de papa nativo.

**Figura 4.**

*Diagrama de flujo para la obtención de almidón retrogradado*



La determinación de capacidad de retención de agua e índice de solubilidad en agua de los almidones nativo y retrogradado en uno y dos ciclos se determinó mediante la metodología descrita por Pozo Chamorro *et al.*, (2022).

Una vez obtenido cada tratamiento de almidón retrogradado en uno y dos ciclos, se procedió a pesar 1,25 g de almidón retrogradado en una balanza analítica marca Citicen CX 220, esta muestra se agregó junto con 30 ml de agua destilada en un tubo de centrífuga falcón, se agitó por 30 s en un vórtex y posteriormente se colocó el tubo en un baño de agua caliente a una temperatura de 70 °C por 30 min, transcurrido este tiempo se colocó la muestra en un baño de agua fría por 15 min. Una vez que las muestras se enfriaron por completo, se centrifugaron a 4900 r.p.m. por un tiempo de 30 min.

Para determinar la capacidad de retención de agua se decantó previamente el líquido del tubo falcón en un crisol seco, y se procedió a pesar el gel formado por el almidón para realiza el cálculo respectivo.

$$C.R.A = \frac{\textit{peso de la muestra seca}}{\textit{peso del gel formado}}$$

Para obtener el índice de solubilidad en agua se midió la cantidad de sobrenadante obtenido y se tomó 10 ml de este para proceder a secarlo en una estufa a 70 °C por 24 horas. La solubilidad en cada tratamiento se calculó como el peso de los sólidos del sobrenadante por el volumen obtenido y por 10, entre el peso de la muestra seca.

$$I.S.A = \frac{\textit{peso solubles} * \textit{volumen obtenido} * 10}{\textit{peso muestra}}$$

Cos datos obtenidos se determinó la capacidad de retención de agua y el índice de solubilidad de cada tratamiento, estos datos indican el grado de organización de la estructura interna del almidón (Pineda, 2019), debido a que en el proceso de retrogradación el comportamiento de los almidones cambia, modificando la capacidad de retención de agua y la solubilidad en agua de los almidones, los cuales dependen del grado de retrogradación (Sandoval *et al.*, 2007).

#### **3.4.2 Fase 2. Aceptabilidad de los sorbetes mediante análisis sensorial.**

Para determinar la aceptabilidad de los sorbetes elaborados con almidón de papa retrógrado variedad Super Chola previamente se realizó el producto y se verificó su inocuidad mediante análisis microbiológico como lo especifica la normativa nacional NTE INEN 2085 (2005).

## Formulación del sorbete

La formulación del sorbete se basó en la patente de Juvia *et al.*, (2016) en donde indica los ingredientes básicos que se debe utilizar para la elaboración de sorbetes y las cantidades mínimas y máximas que este puede poseer en su composición para obtener un producto con buenas características de durabilidad y textura, dichas cantidades se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6.**

*Cantidades mínimas y máximas para la elaboración de sorbetes*

Ingrediente	Ejemplo	Cont. mínimo %	Cont. máximo %
Agua	Agua, zumo de fruta	3,0	15,0
Agente gelificante	Gelatina, corregento, agar, pectina	0,5	2,0
Agente edulcorante	Azúcar micro pulverizada	75,0	90,0
Agente estabilizante/espesante	Carboximetilcelulosa, xantana, goma guiar, tara, almidones pregelatinizados	0,5	2,0
Agente plastificante/humectante	Glicerina, propilenglicol, jarabe de glucosa, sorbitol líquido	0,1	1,5

Fuente: Juvia *et al.*, (2016)

En base a los contenidos mínimos y máximos establecidos en la tabla anterior, se planteó la formulación con la cual se realizó el sorbete con variaciones en la cantidad de azúcar micro pulverizada y con adición de almidón de papa retrogradado en un ciclo y dos ciclos para cada uno de los tratamientos establecidos la cual se especifica en la tabla 7.

**Tabla 7.**

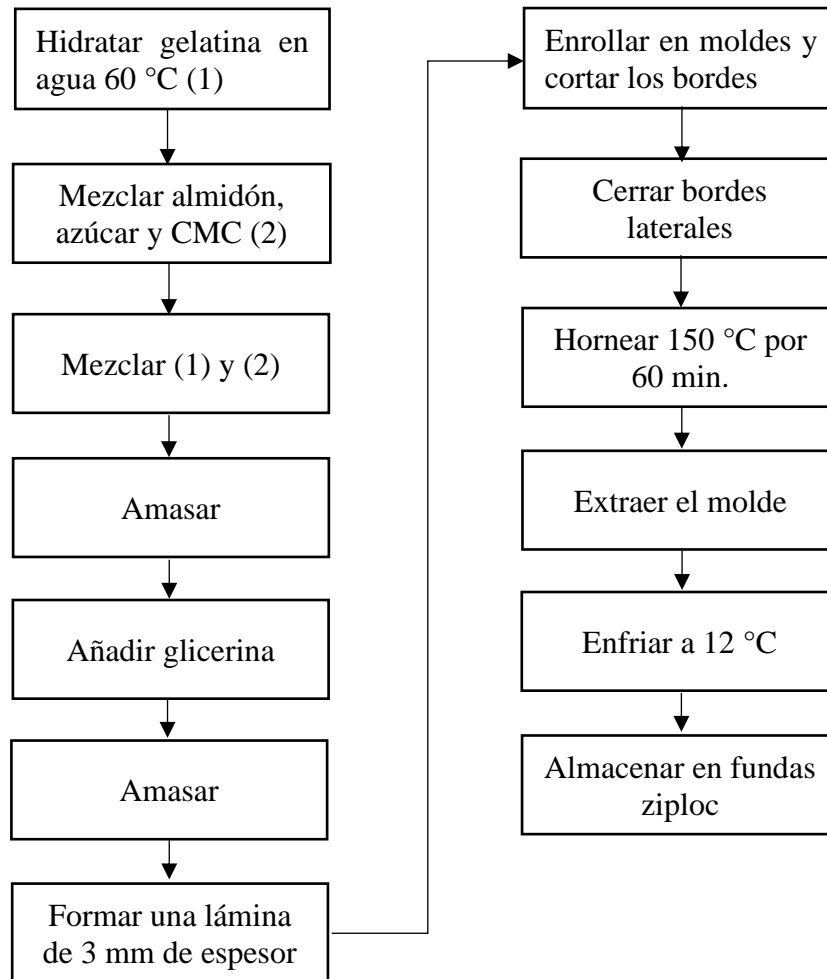
*Formulación para la elaboración de los sorbetes*

Ingredientes	Cantidad en %
Agua	16,0
Gelatina sin sabor	2,0
Azúcar micro pulverizada	80,0
Glicerina	1,0
Carboximetilcelulosa	1,0
Total	100,0

Para realizar los sorbetes se realizó el proceso descrito por Guazalo *et al.*, (2021) el cual se resume en la figura 5.

**Figura 5.**

*Proceso de elaboración de sorbetes de almidón de papa*



### **Análisis microbiológicos**

Una vez se obtuvo los sorbetes de almidón de papa retrogradado variedad Super Chola de cada tratamiento y tomando en cuenta su composición se le realizó análisis microbiológicos basándose en la normativa NTE INEN 2085: 2005 para productos de galletería simples, debido a que los sorbetes de almidón de papa retrogradado de la variedad Super Chola son un producto nuevo que no cuentan con requisitos microbiológicos propios para su producción y comercialización, pero al ser realizados con ingredientes naturales se pueden consumir o no luego de haberse utilizado siendo necesario demostrar su inocuidad previo a su consumo.

- **Preparación de la muestra**

Se tomó una unidad de muestra de 10 g para cada tratamiento, se trituró en un mortero con pistilo esterilizado con anterioridad, y se añadió dentro de una funda ziploc con cierre hermético junto con 90 ml de agua peptona al 0,1% preparada con anterioridad. Con ayuda del stomacher 400 se homogeneizó cada muestra por separado por el tiempo de 1 min, una vez obtenido las muestras preparadas se realizó diluciones a  $10^{-3}$  para proceder a realizar las siembras microbiológicas.

- **Recuento de aerobios mesófilos**

Para realizar este análisis se tomó en cuenta en la norma técnica nacional INEN 1529-5, (2006), con la modificación del uso de placas petrifilm RAC - Placa Rápida 3M™ Petrifilm™ Aerobios Mesófilos. Para ello se tomó 1 ml de la dilución de la muestra con ayuda de una micropipeta y se dejó caer en el centro del círculo de la película inferior, luego se soltó la película superior de la placa y con el dispensor se presionó sobre la placa para esparcir la muestra en toda la superficie. La incubación de las placas petrifilm se realizó a una temperatura de 30 °C por 48 h, todos los tratamientos se sembraron por triplicado. Una vez transcurrido el tiempo de incubación se realizó el recuento microbiológico con ayuda del contador de colonias.

- **Recuento de mohos y levaduras**

Se lo realizó de acuerdo con la norma INEN 1529-10, (2013), con la modificación del uso de placas petrifilm RYM - Placa Rápida 3M™ Petrifilm™ Hongos y Levaduras, la siembra se la realizó de la misma manera que para el recuento de aerobios mesófilos con la diferencia en la temperatura de incubación de 25 °C por 5 días.

- **Presentación de resultados.**

Para calcular el número de microorganismos en los dos recuentos realizados se utilizó la ecuación a continuación:

$$N_E = \frac{\sum c}{V * n * d}$$

En donde:

$\Sigma c$ : Suma de las colonias en las tres placas

$V$ : Volumen inoculado en placa Petri

$n$ : Número de placas seleccionadas (3)

$d$ : factor de dilución de la suspensión inicial o de la primera dilución inoculada o seleccionada.

Los resultados se redondearon a dos cifras significativas, expresando el resultado en unidades formadoras de colonias por gramo o por ml de siembra.

Para demostrar inocuidad en los sorbetes de almidón de papa retrogradado de la variedad Super Chola los resultados de los recuentos microbiológicos deben cumplir con los requisitos que se muestran en la tabla a continuación:

**Tabla 8.**  
*Requisitos microbiológicos para galletas sin relleno*

Requisito	N	M	M	C	Método de ensayo
R.E.P. ufc/g	3	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^4$	1	NTE INEN 1529-5
Mohos y levaduras ufc/g	3	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	1	NTE INEN 1529-10

Fuente: (INEN 2085, 2005)

En donde  $m$ , representa el nivel de aceptación,  $M$  representa el nivel de rechazo en las muestras evaluadas y  $c$  representa el número de unidades entre  $m$  y  $M$ .

### **Análisis sensorial**

Para determinar la aceptación de los sorbetes elaborados con almidón de papa retrogradado variedad Super Chola se planteó el uso del análisis sensorial. Según Argumenta Liria (2007) para determinar la aceptabilidad es necesario emplear pruebas afectivas, las cuales son evaluadas por consumidores, en ellas se evidencia la aceptación, el rechazo o preferencia por determinado tratamiento mediante calificaciones evaluadas por medio de los sentidos.

Para la preparación de la prueba sensorial se tomó una muestra de cada tratamiento y se lo codificó con una numeración al azar de tres dígitos los cuales constaban en la hoja de catación. Una vez preparadas las muestras se realizó una inducción a los catadores para dar a conocer la

forma en la que se evaluará cada atributo (color, olor, sabor, textura y aceptación), después de evaluado cada tratamiento los catadores enjuagaron su boca con agua para olvidar el sabor de la muestra anterior. Cada catador calificó cada atributo en cada tratamiento evaluado con las escalas que se presentan en la tabla 9 de acuerdo con su apreciación.

**Tabla 9.**  
*Puntaje de apreciación hedónica*

Apreciación hedónica	Puntaje
Me disgusta mucho	1
Me disgusta	2
No me gusta ni me disgusta	3
Me gusta	4
Me gusta mucho	5

### 3.4.3 Fase 3. Tiempo de duración del sorbete comestible mediante pruebas de hidroestabilidad en diferentes bebidas.

La prueba de hidroestabilidad es una técnica que consiste en la determinación de la resistencia de un producto al entrar en contacto con el agua a disolverse, este tipo de técnicas es muy utilizado en el control de calidad de productos balanceados peletizados. Para determinar el tiempo de duración de los sorbetes mediante las pruebas de hidroestabilidad, se sumergió el sorbete en diferentes bebidas como lo especifica la tabla 10.

**Tabla 10.**  
*Tipos de bebidas y temperatura para el análisis de hidroestabilidad*

Tipo de bebida	Temperatura
Agua	12°C (ambiente)
Gaseosa	4°C (refrigeración)
Café	40°C (caliente)

Para determinar la hidroestabilidad de los sorbetes se realizó el procedimiento descrito por Obaldo *et al.* (2002), con pruebas de lixiviación por triplicado a cada uno de los tratamientos para determinar el porcentaje de materia seca retenida (MSR), después de 5, 10, 15 y 20 minutos de inmersión en diferentes bebidas, Para ello, se colocó un sorbete que fue pesado con anterioridad dentro de un vaso con una de las bebidas especificadas en la tabla 6. Una vez



transcurrido el tiempo establecido se retiró el sorbete del líquido y se lo secó en una estufa a 105 °C por 40 min. Se volvió a pesar el sorbete y con los datos obtenidos se determinó el porcentaje de materia seca retenida (MSR) del sorbete dentro de las bebidas con la siguiente fórmula.

$$MSR (\%) = \frac{\text{Peso seco del alimento residual}}{\text{Peso seco del alimento inicial}} * 100$$

#### **3.4.4 Fase 4. Análisis de perfil de textura TPA del mejor tratamiento.**

Para la evaluación de los parámetros de dureza, cohesividad, masticabilidad, elasticidad y firmeza de los tratamientos que tuvieron mejor ponderación en los análisis sensoriales y de hidroestabilidad se enviaron muestras de 200 g por triplicado al laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato (LACONAL) para su realización y posterior interpretación de los resultados obtenidos, debido a que la universidad Politécnica Estatal del Carchi aún no cuenta con este tipo de equipos para realizar dichos análisis.

#### **3.4.5 Fase 5. Cálculo de costos de producción de cada sorbete.**

Para conocer el costo unitario de producción se calculó los costos de materia prima, mano de obra y costos indirectos por gastos de fabricación de acuerdo con la metodología empleada por Chacón, N. (2017). Con los parámetros que se describen a continuación:

- Materia prima utilizada para la formulación del sorbete de almidón de para retrogradado
- Mano de obra directa utilizada para la elaboración de los sorbetes
- Costos indirectos de fabricación en los cuales se toma en cuenta los gastos indirectos generados en la realización del sorbete.

El análisis de costos para la obtención de sorbetes se los realizó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel tomando en cuenta las especificaciones mencionadas anteriormente.

#### **3.4.6 Análisis estadístico**

Para la tabulación de datos se utilizó un diseño experimental completamente al azar (ANOVA) con un arreglo factorial A x B en donde el factor A representó el grado de retrogradación del

almidón y el factor B representó el porcentaje de almidón retrogradado y azúcar micropulverizada utilizada en la formulación. Los resultados de la capacidad de retención de agua e índice de solubilidad de los almidones, así como los resultados de hidroestabilidad y de textura se evaluaron por medio de una prueba de diferenciación de medias Tukey, mientras que en los análisis sensoriales al tener rangos de calificaciones en cada atributo se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para determinar si existe o no diferencias entre cada atributo evaluado. Las pruebas estadísticas paramétricas se realizaron en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 2, y la prueba no paramétrica se realizó en el programa estadístico R Studio.

Los factores de estudio tipo A y B se presentan en la tabla 11 y 12 respectivamente.

**Tabla 11.**

*Factor A: (ciclos de retrogradación del almidón de papa)*

Factor A	Repeticiones
A1. Ciclo de enfriamiento/ calentamiento	1 repetición
A2. Ciclo de enfriamiento/ calentamiento	2 repeticiones

**Tabla 12.**

*Factor B: (Porcentaje de almidón y azúcar utilizado en la formulación)*

Factor B	Porcentaje %
B1: Almidón retrogradado - Azúcar micro pulverizada	25-75
B2: Almidón retrogradado- Azúcar micro pulverizada	50-50
B3: Almidón retrogradado- Azúcar micro pulverizada	75-25

En la tabla 13 se presenta los tratamientos realizados para la elaboración de sorbetes con almidón de papa retrogradada de la variedad Super Chola, el total de tratamientos al combinar los factores A y B son 6 tratamientos con 3 repeticiones cada uno que corresponde a 18 unidades experimentales. El tamaño de la unidad experimental fue de 0,5 kg.

**Tabla 13.**

*Combinación de los factores de estudio y tratamientos realizados*

Tratamiento	Combinación	Descripción
T1	A1 B1	Retrogradación un ciclo - Almidón 25% - Azúcar micropulverizada 75%
T2	A1 B2	Retrogradación un ciclo - Almidón 50% - Azúcar micropulverizada 50%

---

T3	A1 B3	Retrogradación un ciclo - Almidón 75 % - Azúcar micropulverizada 25%
T4	A2 B1	Retrogradación dos ciclos - Almidón 25% - Azúcar micropulverizada 75%
T5	A2 B2	Retrogradación dos ciclos - Almidón 50% - Azúcar micropulverizada 50%
T6	A2 B3	Retrogradación dos ciclos - Almidón 75% - Azúcar micropulverizada 25%

---

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Fase 1. Análisis del grado de retrogradación de cada almidón por medio de la capacidad de retención de agua y solubilidad.

La tabla 14 muestra los resultados de la capacidad de retención de agua y el índice de solubilidad del almidón de papa en estado nativo y de los tratamientos R1 y R2 para el almidón retrogradado en un ciclo y en dos ciclos de calentamiento y enfriamiento, respectivamente.

**Tabla 14**

*Capacidad de retención de agua e índice de solubilidad de almidón de papa nativo y retrogradado*

Tratamiento	C.R.A (g gel /g muestra)	I.S.A (g solubles /g muestra)
R0	16,190±0,365 <sup>b</sup>	5,380±0,010 <sup>a</sup>
R1	12,723±0,708 <sup>a</sup>	6,403±0,005 <sup>b</sup>
R2	11,716±1,132 <sup>a</sup>	6,413±0,005 <sup>b</sup>
<b>P- valor</b>	0,001	0,000

Nota: R0=almidón nativo, R1=almidón retrogradado en un ciclo enfriamiento-calentamiento, R2=almidón retrogradado en dos ciclos de enfriamiento-calentamiento, C.R.A= capacidad de retención de agua, I.S.A= índice de solubilidad en agua. Letras minúsculas iguales en la misma fila no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

##### 4.1.1 Capacidad de retención de agua

El almidón de papa nativo presentó valores de capacidad de retención de agua mayores con una media de 16,19 g gel /g muestra y el tratamiento con valor más bajo de capacidad de retención de agua fue R2 con dos ciclos de calentamiento- enfriamiento en la etapa de retrogradación con un valor de 11,72 g gel /g muestra, lo que representa un 27,63% menos en comparación con el testigo. Por el contrario, R1 mostró un 21,42% menos en comparación con el testigo. Los tratamientos R1 y R2 presentaron el mismo rango de homogeneidad en comparación con el testigo. El P-valor es menor a 0,05 lo que significa que existen diferencias estadísticamente significativas entre el testigo y los tratamientos R1 y R2 con un nivel de significancia del 95%.

Los almidones insolubles en agua fría incrementan la capacidad de absorción de agua una vez que se les suministra calor, las zonas amorfas del gránulo son las más accesibles y menos organizadas en donde no existen numerosos puentes de hidrógeno y son las primeras en

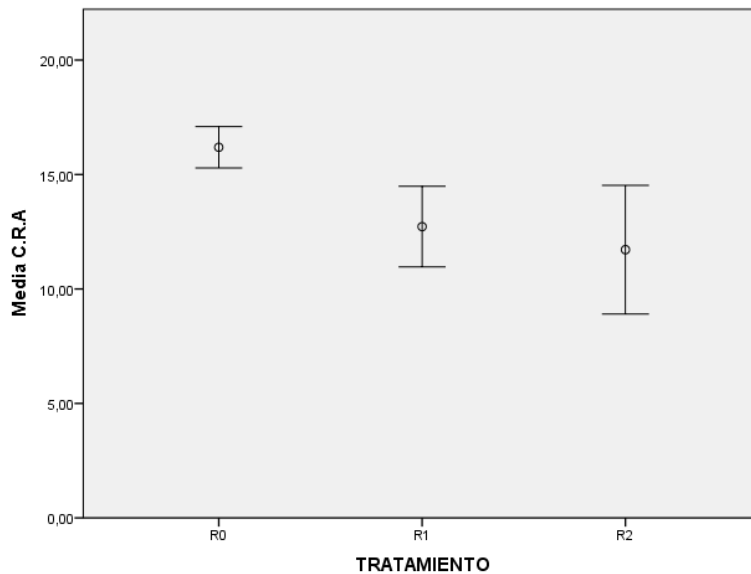
hidratarse (Badui, 2006). Una vez que se ha completado dicho proceso se empiezan a hidratar las zonas cristalinas del gránulo dando paso a la gelatinización. Este proceso trae consigo una desorganización del gránulo al hidratar las zonas amorfas y cristalinas permitiendo una lixiviación de la amilosa al medio acuoso, una vez que el gel se enfría las moléculas se reasocian de manera lineal con una formación de enlaces hidrógeno (Andino, 2008).

Los datos obtenidos se asemejan a los resultados de Solarte-Montúfar *et al.*, (2019) en donde especifican que los valores de referencia para el índice de absorción de agua para almidones de papa criolla se encuentran en promedio de 15.52 g gel/g muestra, valores que coinciden con los obtenidos por Pozo *et al.*, (2022) para almidones de papa super chola con valores de entre 11,80 a 20,68 g gel/ g muestra, a temperaturas desde 60 a 90°C, siendo el valor de capacidad de retención de agua obtenido dependiente de la temperatura.

La figura 6 muestra la prueba de medias de Tukey para conocer la agrupación de los datos en los tres tipos de almidones (R0, R1 y R2), en donde se muestra una disminución de la capacidad de retención de agua de los tratamientos R1 y R2 en comparación con el almidón nativo, mostrando diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ).

**Figura 6.**

*Medias capacidad de retención de agua en almidón de papa*



Nota: R0 almidón nativo, R1 almidón un ciclo de calentamiento-enfriamiento, R2 almidón dos ciclos calentamiento-enfriamiento.

Esto se puede explicar debido a que una pérdida de retención de agua puede indicar el grado de organización de la estructura interna del almidón luego de haberse reordenado (Hernández-Medina *et al.*, 2008, Chang *et al.*, 2021). Sandoval *et al.*, (2007) establecen que la pérdida de capacidad de retención de agua y la restauración de la cristalinidad se presenta en el envejecimiento de los geles de almidón luego de haberse gelatinizado y retrogradado. Los datos obtenidos coinciden con la investigación de Pineda, (2019) la cual especifica que el comportamiento de los almidones de retener agua depende de la amilosa presente, cuando las moléculas de amilosa se reasocian interactúan unas con otras mediante puentes de hidrógeno y favorecen la formación de una estructura cristalina que restringe el paso del agua desde el exterior hasta el interior del gránulo. Otros autores (Hoove y ratnayake 2002) establecen que los puentes de hidrógeno presentes entre las cadenas de almidón ocasionan una disminución en el número de grupos hidroxilos necesarios para interactuar con el agua, disminuyendo su capacidad de retención. Andino, (2008) establece que la hinchazón del gránulo de almidón es dependiente del contenido de amilopectina, mientras que la amilosa inhibe la hinchazón del gránulo de almidón.

#### **4.1.2 Índice de solubilidad en agua**

En el índice de solubilidad el testigo registró el valor más bajo con una media de 5,38 g solubles/g muestra, en cambio el valor más alto se obtuvo en R2 con un valor de 6,413 g solubles /g muestra. R0 presentó un 16,11% menos en comparación a R2, mientras que R1 muestra un valor de 0,16% menos en comparación de R2. El P-valor es menor a 0,05 lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento R0 con los tratamientos R1 y R2 con un nivel de confianza del 95%.

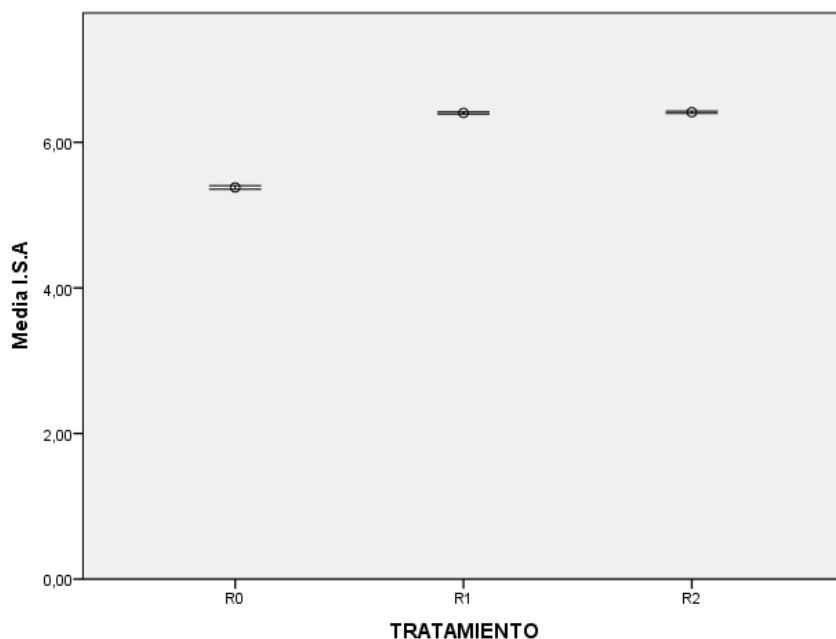
El índice de solubilidad en agua obtenido se encuentra dentro de los rangos establecidos por Solarte-Montúfar *et al.*, (2019) con valores entre 0,27 y 12,32 g solubles /g muestra en papa criolla, siendo estos valores dependientes de la temperatura. Pozo *et al.*, (2022) en la caracterización fisicoquímica de almidón nativo de papa variedad super chola obtuvieron

valores de 6,70 a 18,45 g soluble/ g muestra a temperaturas desde 60 hasta 90 °C, mostrando valores superiores a los obtenidos en la presente investigación.

En la figura 7 se muestra la prueba de medias de Tukey para conocer la agrupación de los datos en los tres tipos de almidones (R0, R1 y R2), evidenciando el incremento del índice de solubilidad de los almidones R1 y R2 en comparación con el almidón nativo.

**Figura 7.**

*Medias índice de solubilidad en agua en almidón de papa*



Nota: R0 almidón nativo, R1 almidón un ciclo de calentamiento-enfriamiento, R2 almidón dos ciclos calentamiento-enfriamiento.

Esto se puede explicar debido a que cuando las moléculas de amilosa se solubilizan en la etapa de gelificación, estas se difunden hacia el agua mostrando una solubilización parcial (M. Hernández *et al.*, 2008) Lo antes mencionado se pudo comprobar en almidones dañados e hinchados por la liberación de la amilosa luego del calentamiento en agua incrementando la solubilidad del almidón nativo en comparación con los almidones retrogradados. Esto es confirmado por Ascheri *et al.*, (2014), quienes especifican que la solubilidad depende de la estructura cristalina, una vez que los puentes de hidrógeno presentes en la amilosa se rompen al calentarse en agua, se reduce la fuerza de la micela y se incrementa la absorción de agua dando

como resultado la solubilización del gránulo de almidón por la interacción de las moléculas de agua con los grupos hidroxilo de la amilosa y amilopectina.

El nivel de reorganización influye en la cantidad de cadenas de amilosa y amilopectina solubilizadas al medio, para demostrarlo Pineda, (2019) retrogradó almidones con 30 y 70% de amilosa obteniendo mayor cantidad de almidón retrogradado con el tratamiento de almidón al 70% de amilosa, el mismo que presentó menor porcentaje de solubilidad (2,5%) en comparación con el almidón con 30% de amilosa con valores máximos de 4%, especificando que los resultados mencionados se relacionan con la proporción de amilopectina y al daño de la región amorfa durante el tratamiento realizado.

Loor, (2008) cuantificó almidón resistente de papa y achira en 0, 1, 2 y 3 ciclos de enfriamiento y calentamiento a 3 y 37°C mediante actividad enzimática de alfa amilasa termoestable marca Sigma A7595 proveniente de *Bacillus Amyloliquefaciens*, mostrando valores de 20,48% en ciclo cero, 22,88% en ciclo uno, 22,22% en ciclo dos y 22,86% en ciclo tres para papa, mientras que para el almidón de achira los resultados fueron de 23,19% de almidón retrogradado en ciclo cero, 23,86% en ciclo uno, 29,64% en ciclo dos y 33,79 en ciclo tres concluyendo que el incremento de almidón retrogradado es directamente proporcional con los ciclos de enfriamiento- calentamiento y que las diferencias entre las cantidades obtenidas en papa y achira se da por los contenidos de amilosa y amilopectina presentes en cada almidón.

En los resultados obtenidos en esta investigación se observa una disminución de la capacidad de retención de agua y un incremento del índice de solubilidad en R1 y R2 en comparación con R0 en un nivel significativo ( $P < 0,05$ ), lo cual se interpreta como la retrogradación de la amilosa la cual se da en tiempos cortos (minutos, horas) en R1 y retrogradación de la amilosa y amilopectina en tratamientos más largos (horas, días) en el tratamiento R2. La retrogradación en la amilosa se da mucho más rápido en comparación a la retrogradación de la amilopectina, la cual requiere tiempos mayores para ordenar sus cadenas ramificadas, por ese motivo no existen diferencias significativas entre R0 y R1 haciendo necesario más ciclos de enfriamiento y calentamiento para obtener mayor cantidad de amilopectina retrogradada.



## 4.2 Fase 2. Determinación de la aceptación de los sorbetes mediante evaluación sensorial.

### 4.2.1 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se realizó con la finalidad de determinar la inocuidad de los sorbetes previo a la realización del análisis sensorial, para ello se realizó siembras microbiológicas de todos los tratamientos por triplicado basándose en la norma NTE INEN 2085: 2005 para productos de galletería simple, debido a que los sorbetes de almidón son un producto que no cuenta con normativa propia para su elaboración. Los parámetros evaluados se muestran en la tabla 15.

**Tabla 15.**

*Análisis microbiológicos de los sorbetes elaborados con almidón de papa retrogradado*

Parámetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6
R.E.P ufc/g	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Mohos y levaduras UFC/g	1x10 <sup>1</sup>	1x10 <sup>1</sup>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	1x10 <sup>1</sup>

Nota: R.E.P(recuentos aerobios mesófilos), UFC/g (unidades formadoras de colonias por gramo)

Las siembras microbiológicas para aerobios mesófilos mostraron ausencia en todos los tratamientos luego de 48 horas de incubación a 37°C. En lo que respecta a mohos y levaduras los tratamientos (T3, T4 y T5) mostraron ausencia, mientras que los tratamientos (T1, T2 y T6) obtuvieron un crecimiento de 1x10<sup>1</sup> UFC/g luego de haberse incubado a 25°C por 7 días. Los resultados obtenidos están por debajo del valor mínimo establecido en la normativa técnica nacional (1x10<sup>2</sup> UFC/g), evidenciando inocuidad en todos los tratamientos previo a la realización del análisis sensorial.

### 4.2.2 Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó a 6 tratamientos para evaluar los parámetros de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad en general a partir del criterio de cincuenta jueces no entrenados. En la tabla 16 se muestran los resultados de la prueba Kruskal Wallis para la comparación de los seis tratamientos considerando los atributos color, olor, sabor, textura y aceptabilidad en general evaluados por los catadores.

**Tabla 16.**

*Resultados obtenidos en la prueba no paramétrica Kruskal Wallis para la evaluación sensorial*

Tratamiento	Codificación	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
T1	903	4	4	3	3	3
T2	349	4	3	4	4	3
T3	742	4	3	3	3	3
T4	615	4	3	3	2	2
T5	182	4	4	4	4	4
T6	438	4	3	2	2	2
<i>Valor P</i>		0,983	0,000	0,000	0,000	0,000

Nota: T1(25% almidón un ciclo retrogradación), T2(50% almidón un ciclo retrogradación), T3(75% almidón un ciclo retrogradación), T4(25% almidón dos ciclos retrogradación), T5(50% almidón dos ciclos retrogradación), T6(75% almidón dos ciclos retrogradación).

Una vez realizada la prueba de Kruskal Wallis y determinado la existencia de diferencias estadísticamente significativas en por lo menos un par de muestras en los atributos evaluados, se procedió a realizar la prueba post hoc de Wilcoxon para pruebas no paramétricas. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17.**

*Comparaciones múltiples en los tratamientos mediante la prueba Wilcoxon*

Muestras pareadas		Significancia			
		Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
T1	T2	1,00	1,00	1,00	1,00
	T3	0,03	0,00	0,19	1,00
	T4	0,22	0,10	0,00	0,00
	T5	1,00	0,00	0,00	0,01
	T6	0,03	0,00	0,00	0,00
	T3	0,02	0,00	0,10	0,59
T2	T4	1,00	0,01	0,00	0,00
	T5	1,00	1,00	1,00	0,08
	T6	0,02	0,00	0,00	0,00
	T4	0,86	0,00	0,00	0,00
T3	T5	0,00	0,00	0,00	0,00
	T6	1,00	1,00	0,17	0,05
	T5	0,14	0,00	0,00	0,00
T4	T6	1,00	0,02	1,00	1,00
	T6	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Valores con fondo gris muestran diferencias estadísticamente significativas entre los pares con un nivel de confianza del 95%

Al no existir diferencias estadísticamente significativas entre las muestras en el atributo color, se procede a evaluar los atributos restantes que presentaron un valor P menor a 0,05.

En lo que respecta al parámetro olor, las muestras que presentaron diferencias estadísticas en su mayoría fueron las muestras pareadas T1-T3, T1-T6, T2-T3, T2-T6, T3-T5 y T5-T6, la mayoría de las muestras presentó una ponderación de 3 en escala hedónica que representa “no me gusta ni me disgusta” a excepción del tratamiento T5 que presentó una mayor ponderación en la escala hedónica 4 “me gusta”. En el parámetro sabor los pares que no presentaron diferencias estadísticamente significativas fueron T1-T4, T2-T5 y T3-T6, mostrando mayor aceptación en los tratamientos T2 y T5 con la ponderación “me gusta” en un 44 y 50% y con una ponderación “me gusta mucho” con 18 y 26% respectivamente las cuales fueron superiores a los demás tratamientos evaluados.

Para el parámetros textura, en general los tratamientos T1, T2, T3 no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sus pares, mientras que, si se pareaban con los tratamientos T4, T5 y T6 si lo hacían, a excepción de las muestras pareadas T2-T5, T3-T6 y T4-T6 las cuales no presentaron diferencias estadísticas, los tratamientos mejor evaluados fueron T2 y T5. Por último, la aceptabilidad en general mostró los mismos resultados que para el parámetro textura a excepción de los pares T3-T6 que sí presentó diferencias entre sus muestras con un nivel de confianza del 95% dichos resultados se muestran en la tabla 18.

**Tabla 18.**  
*Apreciación hedónica de los parámetros evaluados en cada tratamiento expresada en porcentaje.*

Tratamiento	Escala hedónica	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
T1	1	0%	2%	4%	2%	0%
	2	10%	6%	4%	32%	24%
	3	24%	40%	46%	16%	34%
	4	44%	30%	43%	34%	38%
	5	22%	22%	4%	16%	4%
T2	1	0%	0%	0%	10%	4%
	2	2%	10%	16%	12%	8%
	3	24%	42%	22%	20%	52%

	4	58%	34%	44%	40%	18%
	5	16%	14%	18%	18%	18%
	1	0%	2%	10%	8%	0%
	2	4%	30%	38%	42%	22%
T3	3	14%	48%	50%	22%	56%
	4	27%	12%	2%	26%	22%
	5	7%	8%	0%	2%	0%
	1	0%	0%	0%	22%	6%
	2	10%	14%	22%	36%	50%
T4	3	20%	56%	56%	32%	40%
	4	56%	24%	20%	4%	4%
	5	14%	6%	2%	6%	0%
	1	0%	0%	0%	2%	0%
	2	8%	12%	2%	2%	2%
T5	3	26%	28%	22%	0%	32%
	4	40%	44%	50%	62%	40%
	5	26%	16%	26%	34%	26%
	1	0%	2%	22%	26%	2%
	2	6%	18%	30%	42%	50%
T6	3	58%	64%	26%	22%	36%
	4	22%	12%	16%	4%	12%
	5	14%	4%	6%	6%	0%

Nota: T1(25% almidón un ciclo retrogradación), T2(50% almidón un ciclo retrogradación), T3(75% almidón un ciclo retrogradación), T4(25% almidón dos ciclos retrogradación), T5(50% almidón dos ciclos retrogradación), T6(75% almidón dos ciclos retrogradación).

Como lo mencionan Villarroel Heise *et al.*, (2018) y Loor, (2008); las ventajas tecnológicas del almidón de papa que ha sufrido un proceso de retrogradación no afectan las propiedades del color, olor o sabor del almidón luego de haberse reorganizado estructuralmente comparado con el almidón nativo de su misma procedencia, por lo que su inclusión en alimentos no modifica las propiedades sensoriales de este. Sin embargo, se debe tomar en cuenta las proporciones de los ingredientes adicionales que hacen parte del alimento para conocer con exactitud que parámetros influyen en los resultados finales del producto. Al ser el almidón de papa retrogradado y el azúcar micro pulverizada los ingredientes que representan las variables en cada formulación, los parámetros evaluados dependen directamente de las proporciones de estos dos ingredientes.

Badui, (2006) especifica que, el color de los alimentos depende en gran medida de compuestos orgánicos y de su producción durante el procesamiento. El calentamiento de los azúcares ocasiona cambios en la coloración como es el caso de la caramelización, pero para que esta se lleve a cabo se debe calentar los azúcares por encima de su punto de fusión el cual es de aproximadamente 160°C.

El calentamiento del almidón ocasiona cambios en la coloración producto de la formación de pirodextrinas a partir de los 140°C, las cuales dan una coloración amarillo-cremosa en almidones con bajo contenido de humedad (Lovera, 2020). En el parámetro color no se evidenció cambios significativos entre un tratamiento y otro, debido a que tanto el almidón como el azúcar aportan el color blanco característico. Es importante mencionar que las temperaturas de horneado del sorbete a 150°C no son suficientes para causar pirólisis en los azúcares, mientras que en los almidones las mínimas diferencias de color se pueden asociar a una posible producción de pirodextrinas. Por otra parte, la aceptabilidad en el olor de los tratamientos que contienen mayor cantidad de azúcar fue mayor que en los tratamientos que contienen mayor cantidad de almidón en su formulación, esto se asocia al olor que puede desprender el azúcar y la glucosa, relacionándose generalmente a un olor agradable.

La cantidad de azúcar en la formulación es muy importante, debido a que no solamente aporta el dulzor que el sorbete requiere para ser aceptado, sino que además aporta textura tras el proceso de horneado y ayuda a compactar los ingredientes restantes. Juvina *et al.*, (2016) realizó un sorbete comestible utilizando como base pasta para pastillaje empleada en confitería, la cual tiene como ingrediente principal azúcar micro pulverizada en donde especifica que el sabor de los sorbetes depende directamente de la cantidad de azúcar utilizada en la formulación. En el atributo sabor, los tratamientos con las mismas cantidades almidón: azúcar tuvieron la mejor aceptación debido a que el azúcar dota de sabor al sorbete al aportar dulzor, sin embargo, en altas cantidades el dulzor se vuelve demasiado intenso saturando las papilas gustativas como lo menciona Fuentes *et al.*, (2010); mientras que en los sorbetes con menos cantidad de azúcar este era simple lo que justifica su baja aceptación. La característica de sabor en alimentos dulces depende del umbral de dulzor a la que cada persona esté acostumbrada, por ello se dificulta su comprensión.

La textura entre los tratamientos depende directamente del grado de retrogradación del almidón. Los almidones con mayor cantidad de almidón retrogradado presentan estructuras más compactas lo cual influye directamente en su textura (Luisillo, 2014). En el tratamiento T2 el grado de retrogradación es menor, debido a que en tiempos cortos y pocas repeticiones de calentamiento y enfriamiento el componente mayoritario que retrograda es la amilosa, sin embargo, la recristalización lenta de amilopectina se da en tiempos más largos incrementando la cantidad de almidón retrogradado la cual influye directamente en la textura del sorbete.

Para determinar el mejor tratamiento se tomó en cuenta todos los parámetros anteriormente evaluados, evidenciando al tratamiento T5 con mayor aceptación en comparación con los demás tratamientos tal como lo especifican los porcentajes mostrados en la tabla 18.

#### 4.3 Fase 3. Tiempo de duración del sorbete mediante pruebas de hidroestabilidad en diferentes bebidas.

La tabla 19 muestra la hidroestabilidad del sorbete de almidón de papa retrogradado a los 5, 10, 15 y 20 minutos luego de haber sido sumergido en agua a temperatura ambiente.

**Tabla 19.**

*Hidroestabilidad en % de los sorbetes en agua en diferentes tiempos*

Tratamiento	5 min	10 min	15 min	20 min
T1	94,030± 0,098 <sup>ab</sup>	86,677± 0,573 <sup>abc</sup>	79,903± 0,423 <sup>b</sup>	71,613± 1,01 <sup>ab</sup>
T2	95,030± 0,635 <sup>b</sup>	86,337± 0,671 <sup>abc</sup>	80,680± 0,645 <sup>b</sup>	75,233± 1,797 <sup>b</sup>
T3	92,250± 0,570 <sup>a</sup>	83,827± 0,806 <sup>a</sup>	73,723± 1,254 <sup>a</sup>	68,793± 1,264 <sup>a</sup>
T4	95,317± 0,537 <sup>b</sup>	86,987± 0,473 <sup>bc</sup>	80,027± 0,208 <sup>b</sup>	74,773± 1,788 <sup>b</sup>
T5	97,433± 0,583 <sup>c</sup>	89,270± 0,634 <sup>c</sup>	83,293± 1,215 <sup>b</sup>	79,360± 1,569 <sup>c</sup>
T6	93,583± 1,280 <sup>ab</sup>	84,170± 2,330 <sup>ab</sup>	75,603± 0,687 <sup>a</sup>	69,980± 1,357 <sup>a</sup>
<i>Valor-P</i>	0,000	0,001	0,000	0,000

Nota: Grupos que presentan diferente letra, muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 95%

Los resultados a los 5 minutos mostraron cuatro grupos diferentes (a, b, c, ab), los tratamientos con mayor porcentaje de pérdidas dentro del agua fueron los tratamientos T3 y T6 con un porcentaje de pérdidas de 8 y 6% respectivamente, mientras que los tratamientos que menos pérdida obtuvieron fueron los tratamientos T2 y T5 con un porcentaje de 5 y 3%.

A los 10 minutos de inmersión se evidenció cinco grupos distintos (a, b, c, ab y abc) con porcentajes mayores de pérdida (16%) en los tratamientos T3 y T6, y con el valor más bajo en porcentaje de pérdida de 13% en el tratamiento T5. A los 15 minutos el mayor porcentaje de pérdida lo

obtuvieron los tratamientos T3 y T6 con un valor de 26 y 24%, mientras que los tratamientos con menor pérdida fueron los tratamientos T2 y T5 con 19 y 17%, se evidenciaron dos grupos distintos (a, b). Finalmente, la mayor pérdida la obtuvieron los tratamientos T3 y T6 con porcentajes de 31 y 30%, mientras que los tratamientos T2, T4 y T5 obtuvieron los menores valores de pérdida con porcentajes de 25, 25 y 21%, evidenciándose cuatro grupos diferentes (a, b, c, ab). El P valor a los 5, 10, 15 y 20 minutos de inmersión del sorbete en agua es menor a 0,05 lo que significa que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras que presentan como superíndice letras diferentes con un nivel de confianza del 95%

Los resultados de la inmersión del sorbete en gaseosa a temperatura de refrigeración en diferentes tiempos se muestran en la tabla 20.

**Tabla 20.**

*Hidroestabilidad en % de los sorbetes en bebida gaseosa en diferentes tiempos*

<b>Tratamiento</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	<b>20 min</b>
<b>T1</b>	89,120± 0,545 <sup>b</sup>	85,907±0,375 <sup>b</sup>	78,957± 2,042 <sup>ab</sup>	70,687± 0,676 <sup>ab</sup>
<b>T2</b>	90,650± 0,477 <sup>b</sup>	86,030± 0,828 <sup>b</sup>	81,403± 1,598 <sup>bc</sup>	74,267± 0,650 <sup>cd</sup>
<b>T3</b>	84,297± 0,482 <sup>a</sup>	80,523± 1,365 <sup>a</sup>	75,823± 0,784 <sup>a</sup>	70,037± 1,091 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	90,230± 0,733 <sup>b</sup>	83,263± 1,528 <sup>ab</sup>	78,603± 0,778 <sup>ab</sup>	73,260± 1,178 <sup>bc</sup>
<b>T5</b>	95,307± 0,408 <sup>c</sup>	87,220±1,617 <sup>b</sup>	82,430± 0,610 <sup>c</sup>	76,873± 1,100 <sup>d</sup>
<b>T6</b>	85,880± 0,924 <sup>a</sup>	82,993±1,705 <sup>ab</sup>	78,317± 0,466 <sup>ab</sup>	72,567± 1,230 <sup>abc</sup>
<b>Valor-P</b>	0,0000	0,0088	0,0003	0,0000

Nota: Grupos que presentan diferente letra, muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95%

A los 5 minutos se evidenció tres grupos diferentes (a, b, c), el tratamientos con el porcentaje más alto de pérdida fue el tratamiento T3 con un valor de 16%, mientras que el tratamiento con el valor más bajo fue el tratamiento T5 con un 5% de pérdida, a los 10 minutos se obtuvo tres grupos diferentes (a, b, ab) en la que los tratamientos con el porcentaje más alto de pérdida fueron los tratamientos T3 y T6 con un valor de 19 y 17%, mientras que los tratamientos con el valor más bajo de pérdida fueron los tratamientos T1, T2 y T5 con un 14, 14 y 13% respectivamente.

A los 15 minutos se obtuvo cinco grupos diferentes estadísticamente (a, b, c, ab, bc), en donde el valor más alto en porcentaje de pérdidas perteneció al tratamiento T1 y T4 con un valor de 21%, mientras que el valor más bajo de pérdidas correspondió al tratamiento T2 y T5 con un 19

y 18%. Por último, a los 20 minutos el tratamiento con mayor porcentaje de pérdida fue el tratamiento T3 con un 30% y el tratamiento que tuvo más materia seca retenida fue el tratamiento T5 con un porcentaje de 23%. El P valor a los 5, 10, 15 y 20 minutos de inmersión del sorbete en gaseosa es menor a 0,05 lo que significa que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras con un nivel de confianza del 95%.

En la tabla 21 se muestra la hidroestabilidad de los sorbetes de almidón de papa en café caliente a 40°C.

**Tabla 21.**

*Hidroestabilidad en % de los sorbetes en café caliente en diferentes tiempos*

<b>Tratamiento</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	<b>20 min</b>
<b>T1</b>	80,197± 0,233 <sup>bc</sup>	69,373±0,679 <sup>a</sup>	68,447±1,055 <sup>b</sup>	65,410±0,535 <sup>cd</sup>
<b>T2</b>	82,163± 0,312 <sup>c</sup>	70,677±1,417 <sup>a</sup>	69,677±0,935 <sup>bc</sup>	65,453±0,328 <sup>cd</sup>
<b>T3</b>	76,280± 0,774 <sup>a</sup>	68,837±0,763 <sup>a</sup>	63,390±1,192 <sup>a</sup>	59,680±2,080 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	81,963± 0,605 <sup>c</sup>	75,760±1,339 <sup>b</sup>	71,350±1,802 <sup>bc</sup>	63,190±1,138 <sup>bc</sup>
<b>T5</b>	86,020± 0,350 <sup>d</sup>	80,790±1,550 <sup>c</sup>	71,577±0,560 <sup>c</sup>	66,690±1,136 <sup>d</sup>
<b>T6</b>	78,047± 1,620 <sup>ab</sup>	70,903±1,965 <sup>a</sup>	65,150±0,507 <sup>a</sup>	61,370± 1,265 <sup>ab</sup>
<b>Valor-P</b>	0,000	0,000	0,000	0,000

Nota: Grupos que presentan diferente letra, muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia del 95%

A los 5 minutos luego de haberse sumergido el sorbete se obtuvo seis grupos diferentes (a, b, c, d, bc, ab) los valores más altos de pérdidas lo mostraron los tratamientos T3 y T6 con porcentajes de 24 y 22%, mientras que el valor más bajo de pérdida lo obtuvo el tratamiento T5 con un porcentaje de 14%. A los 10 minutos se evidenciaron tres grupos distintos (a, b, c) con un valor superior de pérdida en el tratamiento T1 y T3 con un porcentaje de 31%, mientras que el valor más bajo perteneció al tratamiento T5 con un porcentaje de pérdida de 19%.

La inmersión a los 15 minutos mostró cuatro grupos diferentes estadísticamente (a, b, c, ab, bc) el tratamiento con un valor de pérdida superior fue el tratamiento T3 con un 37%, mientras que el tratamiento con menor pérdida fue el tratamiento T5 con un 28% de pérdida. Finalmente, a los 20 minutos se obtuvo cinco grupos diferentes (a, bc, d, ab, cd) en donde el porcentaje más alto de pérdida correspondió a los tratamientos T3 y T6 con valores de 40 y 39% y el tratamiento con menos porcentaje de pérdida fue el tratamiento T3 con un valor de 33%. El valor P en todos



los tiempos evaluados fue menor a 0,05 lo que indica que existe diferencias estadísticamente significativas entre las muestras con un nivel de confianza del 95%.

De acuerdo con Soto y Oliva, (2012), el almidón presenta alta afinidad al agua, sin embargo, si se mezcla con otros ingredientes como la gelatina, hace que sus moléculas sean modificadas y como resultado reduce su naturaleza hidrofílica disminuyendo su solubilidad (Anggraini *et al.*, 2022). El almidón resistente tipo III es utilizado como agente de moldeo, al poseer la capacidad de formar películas resistentes y lisas, siendo utilizado en la industria de los alimentos para mejorar las características de textura y viscosidad (Villarreal, Gómez, & Vera, 2018). Sin embargo, el almidón por sí solo no se puede compactar por lo que es necesario el uso de agentes aglutinantes para mantener los ingredientes juntos y formar un producto más resistente. El agua muestra una acción disolvente en el azúcar y el almidón transformando la mezcla seca en un producto adherido (Borro, 2001), característica requerida para la elaboración de sorbetes.

La pérdida de materia seca retenida se presenta en función de la cantidad de almidón utilizada en cada tratamiento. En la figura 8 los tratamientos T3 y T6 mostraron mayor pérdida de materia seca dentro de las tres bebidas evaluadas debido a que la cantidad de azúcar micro pulverizada en su composición fue menor en comparación con los otros tratamientos.

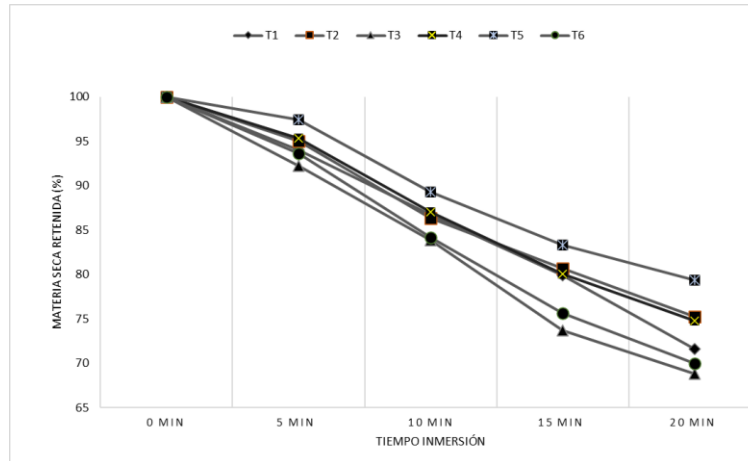
El almidón, insoluble a bajas temperaturas incrementa su solubilidad conforme aumenta la temperatura. Al estar en contacto con el agua empieza a hidratarse e hincharse, pero para que este proceso se lleve a cabo es necesario la presencia de agua y calor. En niveles de humedad muy bajos la gelatinización no se puede llevar a cabo ocasionando una gelatinización incompleta, con una subsiguiente incapacidad para formar una textura compacta con los demás ingredientes (Chang *et al.*, 2021). La cantidad de almidón retrogradado en cada uno de los tratamientos influye en su solubilidad, debido a que este muestra una propiedad de estabilidad térmica necesaria en el proceso de horneado y muy bajas propiedades de retención de agua que hacen que su estructura sea menos permeable.

La figura 8 muestra el contenido de materia seca retenida en función del tiempo de inmersión en agua a temperatura ambiente 12°C (a), bebida gaseosa refrigerada a 4°C (b) y café caliente a 40°C (c).

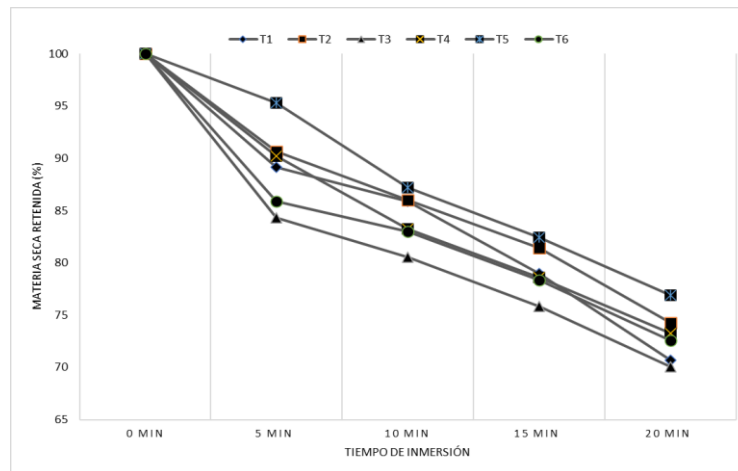
**Figura 8.**

*Hidroestabilidad de los sorbetes en (a) agua a temperatura ambiente 12 °C, (b) gaseosa a 4 °C, (c) café caliente a 40 °C a los 5, 10, 15 y 20 minutos de inmersión.*

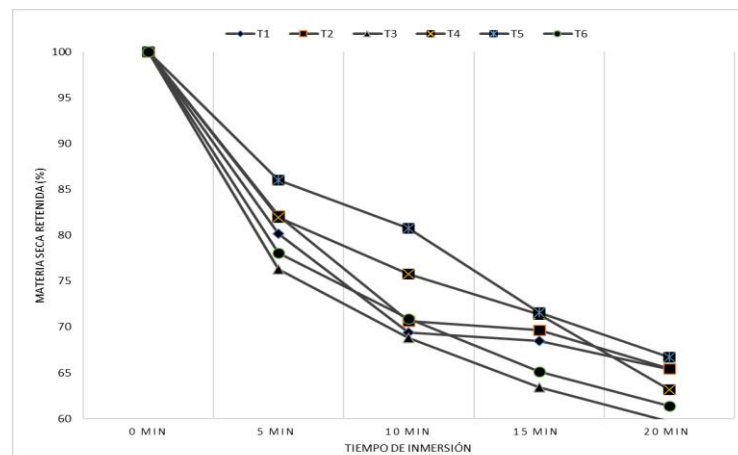
(a)



(b)



(c)



Nota: Simbología utilizada en tratamientos: T1 (◇), T2(□), T3(△), T4(×), T5(☆), T6(●)

El azúcar micro pulverizada actúa como agente aglutinante en el sorbete y tras el proceso de horneado su estructura se vuelve compacta y rígida, sin embargo, en presencia de agua la sacarosa puede solubilizarse dentro de las bebidas siendo su solubilidad dependiente de la temperatura, a temperaturas menores la solubilidad disminuye, mientras que conforme aumenta la temperatura la solubilidad de la sacarosa se incrementa (Badui, 2012), el incremento de la solubilidad de la sacarosa hace que el almidón se desprenda con mayor facilidad del sorbete incrementando su pérdida dentro del líquido conforme transcurre el tiempo, esto se puede evidenciar en la figura 8, en donde las altas temperaturas de la bebida (40°C) disminuyen el porcentaje de materia seca retenida más rápido en comparación al agua a 12°C o a la gaseosa refrigerada a 4°C utilizadas para la inmersión del sorbete.

En la figura 8b las mayores pérdidas se dieron en los tratamientos con mayor cantidad de almidón (T3, T6) y en comparación con los resultados de la inmersión en el agua fría la menor cantidad de materia seca retenida se puede explicar por la acción del dióxido de carbono dentro de la bebida gaseosa. De acuerdo con Aquae Fundación, (2018), el dióxido de carbono se presenta disuelto en la bebida y una vez que esta ha sido expuesta al ambiente el gas sale a la superficie incrementando la turbulencia de la bebida. Esto hace que se facilite el desprendimiento del almidón y el azúcar en la misma disminuyendo el % de materia seca retenida con mayor facilidad.

Los resultados antes expuestos coinciden con los de Cui *et al.*, (2023), en donde realizaron sorbetes de almidón de maíz retrogradado para reforzar las propiedades mecánicas del mismo y lo introdujeron dentro de diferentes bebidas (jugo de naranja, leche, cola, té caliente 50°C y agua caliente 60°C), confirmando que la rigidez del sorbete depende de la temperatura, siendo menor a temperaturas altas. De la misma forma He *et al.*, (2022) evaluaron la rigidez de los sorbetes de almidón sumergidos luego de 30 min en agua fría, mostrando un valor de 4967,56 g/s, mientras que los que fueron sumergidos en agua a 60°C por 5 minutos mostraron una rigidez de 5371,89 g/s. Evidenciando que la rigidez del sorbete es dependiente de la temperatura a la que es expuesto dentro de las bebidas.

Es importante mencionar que, tras los 20 minutos de inmersión los tratamientos con mayor cantidad de almidón (T3, T6) sufrieron rupturas en su mayoría en las tres bebidas. En lo que

respecta al tratamiento T5 el cual mostró mayor cantidad de materia seca retenida en las tres bebidas evaluadas en comparación con los demás tratamientos, a los 20 minutos no se evidenció ruptura en ninguna de las bebidas, sin embargo su rigidez disminuyó a partir de los 15 minutos en las bebidas a temperatura ambiente y refrigerada con un porcentaje de pérdidas de 16,71% y 17,57% de materia seca retenida, mientras que en la bebida caliente se obtuvo un valor de pérdida de 19,21% a los 10 minutos.

Cui *et al.*, (2023) establecen que, la pérdida de materia seca retenida en el sorbete elaborado con almidón de maíz retrogradado y extruido en cantidades mayores al 20% provocan una apariencia torcida del sorbete dentro de las bebidas, afectando de manera negativa su uso por parte del consumidor. Por esta razón se establece una pérdida de 20% de materia seca retenida como máximo para determinar la funcionalidad del del sorbete dentro de las bebidas frías y calientes antes mencionadas, sin que se pierda su funcionalidad dentro de las bebidas utilizadas en esta investigación.

#### **4.4 Fase 4. Análisis de perfil de textura de los sorbetes que presenten las mejores características sensoriales y de hidroestabilidad**

Las propiedades texturales fueron evaluadas en un texturómetro TextureProCT Brookfield Engineering y los datos obtenidos se tabularon en el software TexturePro CT V1.2 Build 9. Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA) a 12 muestras diferentes. La velocidad del test fue de 3,5mm/s con una carga de activación de 0,07N, una celda de carga de 10 kg y un porcentaje de compresión de 60%. La compresión se realizó con una sonda de numeración TA39 sin tiempo de recuperación de entre cada compresión. Luego de dos ciclos de compresión se determinaron los parámetros de dureza, cohesividad, elasticidad, firmeza y masticabilidad.

En la tabla 22 se muestra el promedio de los resultados de análisis de perfil de textura TPA del tratamiento T5 (50% almidón retrogradado en dos ciclos, 50% azúcar micro pulverizada) realizado a 12 muestras diferentes pertenecientes al mismo tratamiento, debido a que este tratamiento obtuvo la mejor ponderación en los análisis sensoriales y de hidroestabilidad realizados anteriormente, siendo tomado como el mejor tratamiento por los resultados obtenidos.

**Tabla 22.***Análisis de perfil de textura (APT) del mejor tratamiento.*

<b>Parámetro</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Unidades</b>
Dureza ciclo 1	80,15	25,80	N
Dureza ciclo 2	6,58	5,12	N
Cohesividad	0,05	0,05	Adimensional
Elasticidad	4,88	0,72	Mm
Firmeza	3,53	3,34	N
Masticabilidad	18,30	17,90	Mj

Al ser los sorbetes de almidón de papa elaborados de una manera artesanal, se dificultaba la estandarización del producto, por lo que el grosor de cada uno de ellos no era el mismo, lo que justifica los valores de desviación estándar entre los tratamientos evaluados. El grosor de cada uno de los sorbetes influye directamente en los valores de TPA obtenidos. De acuerdo con Lawlees y Heymann (2010) citado en Ramos de la Cruz (2017), se ha encontrado que la dureza y masticabilidad incrementan en función al tamaño y grosor de la muestra. Esto se comprueba en análisis de textura realizado a galletas en donde el espesor de estas influyó en la variación de los parámetros de dureza, concluyendo que dicho parámetro influye de manera significativa en la resistencia de las cargas y fuerzas externas (González *et al.*, 2015).

#### **4.4.1 Dureza**

La dureza ciclo uno representa la fuerza máxima realizada en la primera compresión, es decir, la fuerza necesaria para comprimir un alimento entre la lengua y el paladar o entre los molares o hasta provocar una deformación o ruptura de un alimento (Hleap & Velasco, 2010). La fuerza promedio para comprimir el sorbete fue de 80,15 N mostrando una dureza menor a la requerida al morder una manzana con valores promedio de 94,1N (Bielza, 2019), una dureza mayor a la requerida para comprimir una muestra de queso Edam madurado a 60 días con promedios de 82,57 N, (Zúñiga *et al.*, 2007). Y una presión similar para provocar la ruptura de la oblea para helados (70,82 a 81,95 N) evaluada a diferentes alturas (Carsanba & Schleining, 2018). Se evidenció que la dureza promedio del sorbete antes de provocar su ruptura es similar a alimentos que muestran características de ruptura al comprimirlos entre los molares, ocasionando el crujido característico al romperse.

Dureza ciclo dos representa la segunda compresión realizada por el texturómetro, es decir, simula la segunda mordida que se da al alimento antes de deglutirlo, en el segundo ciclo la fuerza necesaria para comprimir el alimento es menor que la dureza ciclo uno, debido a que en la primera compresión el alimento ya ha sufrido una deformación o una posible ruptura. Entre la primera y segunda compresión existe un tiempo de reposo para que el alimento pueda recuperar parte de su forma al descomprimir la muestra. Al no tener el sorbete la capacidad para recuperar su forma debido a su ruptura por su textura quebradiza, el valor en la dureza promedio disminuyó a 6,58 N con una dureza similar a la de una galleta de limón la cual tiene valores promedio de 6,97 N (González *et al.*, 2015).

Como lo especifica Méndez & de Delahaye, (2007) la dureza está influenciada por el contenido de humedad, por lo tanto, si se incrementa el contenido de humedad, la dureza disminuye y si este disminuye la dureza aumenta. Es importante mencionar que el almidón retrogradado produce cambios en la textura de los alimentos, la dureza del producto final depende del porcentaje de almidón que se ha retrogradado en su formulación. En galletas elaboradas a partir de almidón de avena, la dureza incrementó conforme incrementaba la cantidad de almidón resistente tipo III (retrogradado) en la formulación obteniendo valores de 7,85 N en muestra sin almidón retrogradado, 11,56 N con adición de almidón retrogradado al 5%, 14,17 N con adición de almidón retrogradado al 10%, 17,91 N con adición de almidón retrogradado al 15% y 20,11 N con adición de almidón retrogradado al 20% (Miranda *et al.*, 2023). Evidenciando el incremento en la dureza conforme se incrementa la cantidad de almidón retrogradado.

#### **4.4.2 Cohesividad**

Esta propiedad relaciona las áreas que se originan en los dos ciclos de compresión (área de la segunda compresión/ área de la primera compresión). Este valor muestra la resistencia de un material a una segunda deformación, representando la fuerza de los enlaces internos que mantiene la estructura de la muestra (Espinosa, 2021). En el sorbete se evidenció valores bajos de cohesividad (0,05) inclusive con un valor menor a la cohesividad obtenida en galletas con harina de quinua que muestra valores promedio de (0,85) (Rosado *et al.*, 2019). El valor de cohesividad obtenido evidenció la alta fracturabilidad del sorbete, este valor se puede explicar debido a que la primera compresión hizo que el sorbete se fragmente para en la segunda

compresión disminuir la fuerza requerida para romperlo, disminuyendo drásticamente el valor de dureza en el segundo ciclo, debido a una posible ruptura al inicio de la primera compresión.

#### **4.4.3 Elasticidad**

Representa la velocidad a la que un material deformado recupera su condición inicial una vez que se le ha retirado la fuerza que causa la deformación (G. García, 2012). Esto transcurre en el tiempo de espera desde que finaliza la primera compresión hasta el inicio de la segunda. La elasticidad mide cuanta estructura original del alimento se ha roto a causa de la compresión inicial, en el caso de los sorbetes la elasticidad promedio fue de 4,88 mm, mostrando elasticidades superiores a la de alimentos como el queso fresco (2,09 mm), e inferiores a alimentos como el pastel (88,1 mm). La elasticidad depende de la cantidad de agua del producto final y de su composición. En alimentos con baja humedad existe menor elasticidad y mayor fragilidad. A medida que la humedad incrementa el punto de fractura disminuye e incrementa la elasticidad (Embuena, 2015). Alimentos con azúcares en su composición hacen que el módulo de elasticidad incremente debido a la formación de una capa de sacarosa, produciendo estructuras con mayor rigidez (Ayala *et al.*, 2017).

#### **4.4.4 Firmeza**

La firmeza se define como la fuerza necesaria para comprimir una distancia determinada del producto sin que este se fracture (Ayala *et al.*, 2017). Al igual que la dureza esta se relaciona estrictamente con las propiedades mecánicas de los alimentos y con su composición. En los sorbetes se obtuvieron valores promedio de firmeza de 3,53 N, con un valor superior al necesario para comprimir una muestra de torta (2,23 N) (Espinosa, 2021). En productos crocantes y crujientes como las galletas, su textura característica es firme, frágil y tiende a fracturarse con facilidad al momento de suministrar una fuerza de compresión la cual es característica en la masticación antes de la deglución del alimento (Montoya & Villalobos, 2016), este comportamiento es similar a los sorbetes al presentar parámetros texturales similares.

#### 4.4.5 Masticabilidad

Es la fuerza que se requiere para masticar un alimento sólido hasta un estado que permita su deglución, este parámetro depende directamente de la dureza, cohesividad y elasticidad del alimento. En los sorbetes de almidón de papa retrogradado la masticabilidad fue de 18,3 mJ, evidenciándose un requerimiento similar al de los barquillos de helado con textura crocante similar (Ramos, 2017). Este valor al igual que el de dureza, depende de la cantidad de almidón retrogradado utilizado para su formulación. Estudios similares muestran el incremento de la masticabilidad conforme aumenta la cantidad de almidón retrogradado en donde dicho parámetro incrementó en un 342% en el tratamiento con adición de 20% de almidón retrogradado en comparación con el tratamiento control con almidón nativo (Miranda *et al.*, 2023).

#### 4.5 Fase 5. Cálculo de costos de producción de los sorbetes de almidón retrogradado

Para calcular el costo unitario de cada sorbete de almidón de papa retrogradado se calcularon los costos de materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación para la producción de un lote (8 horas) que representa un día de trabajo para el tratamiento con mayor aceptación sensorial y de hidroestabilidad.

##### 4.5.1 Costos de materia prima

La materia prima para un lote de producción de 8 horas de trabajo se muestra en la tabla 23.

**Tabla 23.**

*Costos de materia prima para la elaboración de sorbetes de almidón de papa*

Ingrediente	Formulación (%)	Cantidad utilizada	Precio	Presentación	Total
Agua	16	640 ml	0,50	mL	\$0,50
Gelatina sin sabor	2	80 g	0,71	30 g	\$1,89
Almidón de papa	40	1600 g	1,50	1000 g	\$2,40
Azúcar glas	40	1600 g	0,82	500 g	\$2,62
Glicerina	1	40 g	3,15	500 g	\$0,25
Carboximetilcelulosa	1	40 g	4,40	500 g	\$0,35
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>4000 g</b>			<b>\$8,02</b>



Por cada 500 gramos de cantidad utilizada que era la unidad experimental se obtuvo 32 sorbetes de 14 gramos en un tiempo de una hora aproximadamente. Para la cantidad de 4 kg los sorbetes que se obtiene son 256 unidades en un día de producción de 8 horas laborables.

#### 4.5.2 Costos de mano de obra

El cálculo de costo de mano de obra se realizó en base a un salario básico unificado que en Ecuador en el año 2023 es de 450 dólares americanos. Para el cálculo del décimo tercer sueldo y décimo cuarto sueldo se utilizaron la ecuaciones que se presenta a continuación:

$$\text{décimo tercer sueldo} = \frac{S.B.U + \text{horas extra}}{\text{meses del año}}$$

$$\text{décimo cuarto sueldo} = \frac{S.B.U}{\text{meses del año}}$$

**Tabla 24.**

*Cálculo de costos de una jornada ordinaria*

Descripción	Cantidad en dólares
Salario básico unificado (S.B.U)	\$450,00
Décimo tercer sueldo	\$37,50
Décimo cuarto sueldo	\$37,50
Total, mensual	\$525,00
<b>Costo día trabajado</b>	<b>\$26,25</b>

#### 4.5.3 Costos indirectos de fabricación

Para calcular los costos indirectos de fabricación se tomó en cuenta la maquinaria y utensilios utilizados, así como también los costos de agua, luz y gas necesarios para la retrogradación del almidón y la elaboración de los sorbetes. Para el cálculo del valor diario de equipos y utensilios utilizados se procedió a realizar una depreciación anual del precio de compra, en el caso de los equipos en un 10% y en el caso de los utensilios en un 33% conforme lo especifica la Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno (LORTI). Este valor se dividió para los días laborables en un año para obtener el costo de una jornada ordinaria de 8 horas, estos valores se representan en la tabla 25.

**Tabla 25.**  
*Costos indirectos de fabricación*

	Descripción	Precio de compra	Depreciación anual	Diaria
Equipos utilizados	Cocina con horno	\$299,00	\$29,90	\$0,12
	Refrigeradora	\$570,00	\$57,00	\$0,24
	Baño maría	\$250,00	\$25,00	\$0,10
	Autoclave	\$980,00	\$98,00	\$0,41
	Mesa de trabajo	\$150,00	\$15,00	\$0,06
	Balanza	\$25,00	\$2,50	\$0,01
	Olla	\$20,00	\$6,60	\$0,03
	Moldes	\$5,00	\$1,65	\$0,01
	Bolillo	\$2,50	\$0,83	\$0,00
	Utensilios	Agua en m <sup>3</sup>		\$0,76
Luz en Kw/h			\$2,00	
Gas en kg			\$3,00	
	<b>TOTAL</b>			<b>\$6,75</b>

Una vez obtenidos los totales de materia prima directa, mano de obra directa y costos indirectos de fabricación se calculó el total para una jornada ordinaria de ocho horas de trabajo.

Conforme lo especifica la tabla 26, la cantidad total representa el valor para un lote de producción diaria, en el cual se obtienen 256 sorbetes de 14 gramos aproximadamente.

**Tabla 26.**  
*Costos de producción de sorbetes de almidón de para retrogradado*

Descripción	Cantidad en dólares
Materia prima directa	\$8,02
Mano de obra directa	\$26,25
Costos indirectos de fabricación	\$6,75
<b>Total</b>	<b>\$41,02</b>

Para el cálculo del costo unitario se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{costo unitario producción} = \frac{\text{Cantidad en dólares}}{\text{Unidades producidas}}$$

$$\text{costo unitario de producción} = \frac{\$41,02 \text{ usd}}{256 \text{ unidades}}$$

$$\text{Costo unitario de producción} = \$0,16 \frac{\text{usd}}{\text{unidad}}$$

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Los ciclos de enfriamiento y calentamiento hacen que el almidón cambie sus propiedades funcionales con respecto al almidón nativo. Para obtener una mayor cantidad de almidón retrogradado es necesario realizar más ciclos de enfriamiento-calentamiento en el almidón.
- La retrogradación del almidón no modifica sus características sensoriales, pero si incrementa la rigidez en los alimentos que lo contienen. La adición de azúcar influye de manera positiva en la formulación de sorbetes con almidón mejorando la aceptabilidad, pero en altas cantidades las papilas gustativas se saturan evitando la aceptación del producto.
- La temperatura y composición de la bebida influye directamente en la durabilidad del sorbete dentro de ella, los sorbetes con mayor cantidad de almidón se solubilizan con mayor facilidad en comparación con los sorbetes con mayor cantidad de azúcar actuando como aglutinante. En lo que respecta a la temperatura de inmersión, a temperaturas más altas el almidón presente en el sorbete se pregelatiniza con mayor facilidad y el azúcar se disuelve rápidamente, disminuyendo la rigidez del sorbete con más rapidez, en bebidas gasificadas, el dióxido de carbono provoca el desprendimiento del almidón con más facilidad disminuyendo el tiempo de utilidad del sorbete.
- El análisis de perfil de textura muestra que los parámetros obtenidos hacen que el sorbete pueda ser consumido luego de ser usado si la persona así lo desea, al presentar valores similares a alimentos crocantes, característicos de alimentos horneados como los conos de helados o las galletas duras sin que pueda causar daño a los molares al momento de masticarlo o deglutirlo.
- El costo de elaboración del sorbete a partir de almidón de papa retrogradado de la variedad Super Chola es de 16 centavos por cada unidad, valor que supera 16 veces el de los sorbetes de plástico, sin embargo, el uso de este tipo de utensilios trae beneficios al medio ambiente disminuyendo la contaminación generada por el uso de plásticos de un solo uso.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar este tipo de investigaciones con almidones que tengan mayor cantidad de amilosa en su composición e incrementar los ciclos de calentamiento-enfriamiento, para poder obtener mayor cantidad de almidón retrogradado.
- Es importante el uso de colorantes en la formulación para incrementar la aceptación del sorbete debido a que, el almidón por sí solo no aporta coloración alguna, en lo que respecta al sabor, se pueden utilizar saborizantes para enmascarar el sabor característico del almidón de papa y hacer el producto más llamativo a los consumidores.
- Se recomienda utilizar un recubrimiento que evite que el almidón se solubilice con facilidad dentro de la bebida y así incrementar su tiempo de rigidez una vez que se ha sumergido en ella.
- Es importante el uso de maquinaria con la cual se pueda estandarizar el producto para obtener sorbetes con características homogéneas. Con el uso de un extrusor se podrán disminuir los costos de producción generados por la mano de obra, así como también disminuir su grosor, obteniendo mayor cantidad de sorbetes en menores tiempos.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agro Bayer Ecuador. (2022). *Solución para papa*. <https://www.agro.bayer.ec/es-ec/cultivos/papa.html>
- Ahmad, F., y Williams, P. (1999). Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. *Biopolymers*, 50(4), 401–412. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0282\(19991005\)50:4<401:AID-BIP6>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0282(19991005)50:4<401:AID-BIP6>3.0.CO;2-V)
- Ai, Y., y Jane, J. (2015). Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch-Stärke*, 67(3–4), 213–224.
- Anaya, J., Egoavil, S., y Salcedo, L. (2019). *Elaboración y comercialización de sorbetes a base de harina de arroz y tapioca*.
- Andino, C. (2008). *Estabilidad Congelación/Descongelación y Análisis de Textura de Mezclas de Almidones Andinos*.
- Anggraini, L., Rosida, D., y Wicaksono, L. (2022). Kemampuan Laju Transmisi Uap dan Biodegradasi Edible Straw Dari Pati Umbi (Ganyong, Garut, Kimpul) dan Gelatin Ikan. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 10(3), 226–235. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.03.06>
- Anzaldúa, A. (2010). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica*. Editorial Acribia.
- Aquae Fundación. (2018). *Cómo abrir una lata agitada sin que se derrame*.
- Ardiansyah, M., Alamsyah, M., Aulia, F., Awinda Kyky, y Sanjaya, L. (2019). Seruput (Seaweed Straw) As A Solution to Reduce Plastics Waste for Realize Sdg's In Indonesia. *Asian Academic Society International Conference*.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., y Lorío, D. M. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* (Vol. 163). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma.
- Ascheri, D., Pereira, L., y Bastos, S. (2014). Chemical, morphological, rheological and thermal properties of *Solanum lycocarpum* phosphorylated starches. *Revista Ceres*, 61(4), 458–466. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461040003>

- Ayala, A., Leitón, Y., y Serna, L. (2017). Cambios en propiedades mecánicas durante la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 39–48.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (Pearson Education, Ed.; Cuarta edición).
- Badui, S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica* (G. López, Ed.; Primera edición). Pearson Education.
- Bashir, K., y Aggarwal, M. (2019). Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 513–523.
- Bello, L., González, R., Sánchez, M., Gutiérrez, F., y Vargas, A. (2006). Extrusión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente. *Agrociencia*, 40(4), 441–448. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240403>
- Bello, P., Osorio, D., Agama, A., Núñez, S., y Paredes, L. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36, 319–328.
- Bielza, G. (2019). *Caracterización de la percepción oral de la textura de seis alimentos sólidos*.
- Borro, F. (2001). *Estudio de la eficacia de los aglutinantes en la disolución del metronidazol tabletas 250 mg* [Tesis Doctoral, Universidad de Guayaquil ]. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/85cf9e02-4a86-42f0-bcb7-49e5188c2aa9/content>
- Calabokis, M. (2021). *Metamorfosis del almidón: Gelatinización y retrogradación*. <https://www.exiliopanadero.com/post/metamorfosis-del-almid%C3%B3n-gelatinizaci%C3%B3n-y-retrogradaci%C3%B3n>.
- Carrizo, A., Miguélez, M., León, H., García, J., y Gallego, V. (2020). La solución al problema de las pajitas de plástico: Sorbos y las pajitas comestibles. *Casos de Marketing Público y No Lucrativo-Casos de Marketing Público e Não Lucrativo*, 7, 305–312.
- Carsanba, E., y Schleining, G. (2018). Examination of optimum test conditions for a 3-point bending and cutting test to evaluate sound emission of wafer during deformation. *International Journal of Food Studies*, 7(1).

- Casarrubias, M., Méndez, G., Rodríguez, S., Sánchez, M., y Bello, L. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, 46(5), 455–466.
- Cerón, M., Alzate, A., Rojano, B., y Ñuztez, C. (2018). Composición fisicoquímica y propiedades antioxidantes de genotipos nativos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). *Información Tecnológica*, 29(3), 205–216.
- Chang, Q., Zheng, B., Zhang, Y., y Zeng, H. (2021). A comprehensive review of the factors influencing the formation of retrograded starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 163–173.
- Chuiza, M., Rodríguez, A., y Brito, H. (2020). Producción de láminas de plástico biodegradables a partir del almidón de arracacia xanthorrhiza. *Dominio de Las Ciencias*, 6(2), 981–994.
- Clarín. (2018). *Sorbetes comestibles para evitar el uso de plásticos*. [https://www.clarin.com/arq/sorbetes-comestibles-evitar-uso-plasticos\\_0\\_oLIYCWwwE.html](https://www.clarin.com/arq/sorbetes-comestibles-evitar-uso-plasticos_0_oLIYCWwwE.html)
- Condor, E., Villasante, Y., Riva, A., Panduro, G., y Cruz, A. (2019). Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, 4, 79–92.
- Constitución del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. *Quito: Tribunal Constitucional Del Ecuador. Registro Oficial Nro, 449, 79–93.*
- Costa, M., y Landi, C. (2014). Effect of glycerol monostearate on the gelatinization behavior of maize starches with different amylose contents. *Starch Journal*, 67(1–2), 107–116.
- Cui, C., Zhao, S., Zhang, Z., Li, M., Shi, R., y Sun, Q. (2023). Preparation and characterization of corn starch straws with strong mechanical properties by extrusion and retrogradation. *Industrial Crops and Products*, 191, 115991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115991>
- De México, A. (2020). Almidón resistente y propiedades fisicoquímicas de las harinas y de tortilla de maíz refrigeradas a diferentes tiempos de almacenamiento. *Conatec 2020*, 102.

- Ecología Verde. (2020). *Cuánto tarda en degradarse el plástico*.  
<https://ecoembesdudasreciclaje.es/cuanto-tarda-en-degradar-el-plastico/#:~:text=Aunque%20el%20uso%20de%20este,a%20degradarse%20el%20pl%C3%A1stico%20totalmente>.
- el Comercio. (2021, July 29). *El expendio de sorbetes de plástico está prohibido en Quito desde el 27 de julio*.
- Embuena, D. (2015). *Evaluación de los cambios estructurales de galletas elaboradas con sustitutos de grasa* [Doctoral Thesis]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Escarpa, A., y González, M. (1997). Technology of resistant starch. *Food Science and Technology International*, 3(3), 149–161.  
<https://doi.org/10.1177/108201329700300301>
- Espinosa, E. (2021). *Estudio de la sustitución de harina de trigo por harina de semillas de chíca en la elaboración de productos horneados como tortas y galletas*.
- Ferrández, C., Ferrández, M., Ferrández, M., Andreu, J., y García, T. (2016). Estudio de los usos del almidón en la construcción. *Universidad Miguel Hernández de Elche-España*.
- Flores, R. (2017). Productos libres de gluten: un reto para la industria de los alimentos. *Ingeniería Industrial*, 35, 183–194.
- Fuentes, A., Fresno, M., Santander, H., Valenzuela, S., Gutiérrez, M., y Miralles, R. (2010). Sensopercepción gustativa: una revisión. *International Journal of Odontostomatology*, 4(2), 161–168.
- García, G. (2012). *Texturometria Instrumental: Puesta a punto y aplicación a la Tecnología de los Alimentos*. [Tesis de maestría]. Univeridad de Oviedo .
- García, J., Mina, J., Torres, F., Burbano, M., y Yambay, W. (2017). *Evaluación Sensorial y metodologías para su análisis*. Tulcán: Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Gestores de residuos. (2018, November 23). *Reducir el plástico en la industria alimentaria*.
- Ghazali, J., Halim, M., Norazman, N., y Azani, N. (2021). Edible-Base Drinking Straw Coated of Carnuba Wax at Low Rate of Absorption in Banning Plastic Straw. *Multidisciplinary Applied Research and Innovation*, 2(2), 166–174.



- Gómez, P., Pérez, P., Gutiérrez, T., y Corro, F. (2019). Elaboración de biopolímeros a partir de almidón de batata (*Ipomoea batatas*). *Congreso Internacional de Innovación Turística y Desarrollo Regional—III Edición*, 195.
- González, J., Gallob, R., Correac, D., y Gallo, L. (2015). Evaluación instrumental de los parámetros de textura de galletas de limón. *Vector Manizales (Colombia) Vol. 10* 122 p. *Enero-Diciembre 2015 ISSN 1909-7891*, 14.
- Granados, C., Acevedo, D., y Herrera, A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de sagú (*Maranta arundinacea*). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 90–96.
- GreenPeace. (2018). *Los bioplásticos no solucionan la contaminación por plásticos*. <https://es.greenpeace.org/es/noticias/los-bioplasticos-no-solucionan-la-contaminacion-por-plasticos/>
- Guo, L., y Du, X. (2014). Retrogradation kinetics and glass transition temperatures of Pueraria lobata starch, and its mixtures with sugars and salt. *Starch/Stärke*, 67, 887–894.
- He, X., Zhao, S., Zhang, Z., Dai, L., Qin, Y., Ji, N., Xiong, L., Shi, R., y Sun, Q. (2022). A combined extrusion, retrogradation, and cross-linking strategy for preparing starch-based straws with desirable mechanical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.289>
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28, 718–726.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2016). Metodología de la investigación. 6ta Edición Sampieri. Soriano, RR (1991). *Guía Para Realizar Investigaciones Sociales*. Plaza y Valdés.
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28, 718–726.
- Hleap, J., y Velasco, V. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(2), 46–56.

- Iancu, M. (2015). Effect of potato (*Solanum tuberosum*) addition on the dough properties, sensory qualities and resistant starch content of bread. *AUDJG – Food Technology*, 39(1), 93–108.
- INEN 1529-5. (2006). *Control microbiológico de los alimentos. Determinación de la cantidad de microorganismos aerobios mesófilos. Rep.*
- INEN 1529-10. (2013). *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad.*
- INEN 2085. (2005). *Galletas. Requisitos.*
- INIAP. (2022). *Catálogo de variedades de papa del Ecuador.* <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5850/1/CATALOGO%20PAPA%202022.pdf>
- Juviña, E., Zorzano, C., Sánchez, V., y Baraffé, M. (2016). *Pajita comestible para consumir bebidas* (Patent WO2016/181004 A1).
- Karim, A., Norziah, M., y Seow, C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry*, 71(1), 9–36. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8)
- Largo, J. (2022). Narrativas transmedia para sensibilizar sobre la contaminación minera de los ríos en Ecuador: Una revisión para la conciencia ambiental. *Revista Internacional De Cultura Visual*, 9, 1–8.
- Lawless, H., y Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: principles and practices* (Vol. 2). Springer.
- Lehmann, U., y Robin, F. (2007). Slowly digestible starch—its structure and health implications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 346–355.
- Lescano, L. (2010). *Caracterización de las harinas de trigo nacional (cojitambo), maíz (iniap 122), cebada (cañicapa), quinua, papa (gabriela), destinadas a panificación mediante la determinación de las propiedades funcionales de sus almidones* [Bachelor's thesis]. Universidad Técnica de Ambato .
- Li, Y., Jingren, H., Wu, D., Shuxin, Y., Jiang, S., y Zhang, R. (2022). *Method for producing low-cost fully biodegradable disposable straw.* Google Patents.
- Loor, K. (2008). *Efecto de varios ciclos de enfriamiento/calentamiento en el contenido de almidón resistente tipo III en almidones de achira (Canna edulis Ker) y papa (solanum tuberosum)* [Bachelor's thesis]. Universidad San Francisco de Quito.

- Lovera, M. (2020). *Pirodextrinas de almidón de ñame (Dioscorea sp.)brasileño: Producción y análisis estructural*.
- Luisillo, M. (2014). *Efecto del grado de retrogradación del almidón, en el contenido de fibra dietética, en masa y tortilla de maíz blanco nixtamalizado*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Luo, D., Li, Y., Xu, B., Ren, G., Li, P., Li, X., Han, S., y Liu, J. (2017). Effects of inulin with different degree of polymerization on gelatinization and retrogradation of wheat starch. *Food Chemistry*, 229, 35–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.058>
- Makroo, H., Naqash, S., Saxena, J., Sharma, S., Majid, D., y Dar, B. N. (2021). Recovery and characteristics of starches from unconventional sources and their potential applications: A review. *Applied Food Research*, 1(1), 100001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100001>
- Manfugás, J. (2020). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Editorial Universitaria (Cuba).
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., y Velezmoro, C. (2015). Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291–301.
- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., y Velezmoro, C. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. ‘única.’ *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(3), 338–351.
- Méndez, A., y de Delahaye, E. (2007). Evaluación de galletas dulces tipo wafer a base de harina de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* B.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 60(2), 4195–4212.
- Mendoza, G., Ricalde, R., y Hernández, P. (2017). Estructura del almidón. *Alimentación de Ganado Bovino*, 3.
- Mercedes, J. (2017). *Propiedades fisicoquímicas y térmicas de Almidón extraído de papa nativa (solanum tuberosum l.) variedades “águila” y “shuita”, cultivadas en el distrito de Chugay, Provincia de Sánchez Carrión, Departamento de La Libertad*.
- Miranda, J., Flores, P., Díaz, M., Gallegos, J., Villalobos, J., Centeno, F., González, M., De la Peña, H., Gutiérrez, G., y Delgado, R. (2023). Efecto de la adición de almidón

- resistente tipo 3 de avena en las propiedades viscoelásticas de la masa y su influencia sobre la calidad de galletas: Almidón resistente tipo 3 de avena. *Biotecnia*, 25(2), 30–43.
- Montoya, T., y Villalobos, V. (2016). Crocancia sensorial y picos sonoros de galletas de avena y granola evaluados por pruebas aceleradas. *Agroindustrial Science*, 6(2), 221–230.
- Murillo, J. (2011). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Recuperado El*, 2.
- Nogales, D. (2018). *Efecto de la forma y dimensión de muestras de queso fresco y velocidad de prueba sobre el análisis de perfil de textura instrumental* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Chimborazo.
- ODS. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- ONU. (2015). *Apoyar el desarrollo sostenible y la acción climática*. Cumbre Sobre El Desarrollo Sostenible.
- OPS. (2022, April). *Miles de millones de personas siguen respirando aire insalubre: nuevos datos de la OMS*. <https://www.paho.org/es/noticias/4-4-2022-miles-millones-personas-siguen-respirando-aire-insalubre-nuevos-datos-oms#:~:text=de%20la%20OMS-,Miles%20de%20millones%20de%20personas%20siguen%20respirando%20aire,nuevos%20datos%20de%20la%20OMS&text=4%20de%20abril%20de%202022,ponen%20en%20peligro%20su%20salud.>
- Otero, A. (2018). *Enfoques de investigación*. [https://www.researchgate.net/publication/326905435\\_ENFOQUES\\_DE\\_INVESTIGACION](https://www.researchgate.net/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION)
- Pacheco, E., y Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia*, 34(4), 280–285.
- Paredes, O., Guevara, F., y Bello, L. A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92(092).
- Pineda, D. (2019). *Efecto de la temperatura y humedad sobre la estructura del almidón retrogradado* [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional.

- Pinos, J. (2019). Study of the dosage of the starch extracted from banana in a thermoplastic type polymer. *Revista Colombiana de Química*, 48(1), 43.
- Pizarro, M., Sanchez, T., Ceballos, H., Morante, N., y Dufour, D. (2016). Diversificación de los Almidones de Yuca y sus Posibles Usos en la Industria Alimentaria. *Revista Politécnica*, 37(2), 1.
- Pozo, F., Lechón, B., y Anchundia, M. (2022). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón de papa súperchola y su utilización en la formulación de salchicha tipo Frankfurt. *Sathiri*, 17(2), 160–176. <https://doi.org/10.32645/13906925.1137>
- Pretell, M. (2018). *Fabricación de vajilla comestible a partir de biopolímeros de yuca (Manihot esculenta) y sábila (Aloe vera), 2017-2018*.
- Ramos, T. (2017). *Textura y tiempo de vida de barquillos para helados*.
- Rembado, M., y Sceni, P. (2009). *La química de los alimentos* (Primera edición). Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Rodríguez, D., Ariza, C., y Afanador, G. (2014). Potencial del almidón resistente retrogradado de papa frente a otros aditivos funcionales usados en pollos de engorde. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 61(1), 44–63.
- Rohmah, D., Windarwati, S., y Luketsi, W. (2019). Pengaruh penambahan karagenan dan sorbitol pada kuat tarik edible straw darinanas subgrade. *Agroindustrial Technology Journal*, 3(2), 70. <https://doi.org/10.21111/atj.v3i2.3807>
- Rosado, A., Rodríguez, G., Blanco, J., y Consuegra, A. (2019). Perfil sensorial de una galleta a base de harina de quinua enriquecida con omega 3. *Revista Gipama*, 1(1), 214–226.
- Sandoval, E., Aldana, A., y Quintero, A. (2007). Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. *Revista Colombiana de Química*, 36(1), 13–30.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*. [https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado\\_compressed.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf)
- Solarte, J., Díaz, A., Osorio, O., y Mejía, D. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información Tecnológica*, 30, 35–44.

- Soto, D., y Oliva, H. (2012). Métodos para preparar hidrogeles químicos y físicos basados en almidón: Una revisión. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 32(2), 154–175.
- Talens, P. (2017). *Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura*.
- Te Wierik, G., Eissens, A., Bergsma, J., Arends, A., y Lerk, C. (2017). A new generation of starch products as excipient in pharmaceutical tablets. II. High surface area retrograded pregelatinized potato starch products in sustained-release tablets. *Journal of Controlled Release*, 45(1), 25–33. [https://doi.org/10.1016/S0168-3659\(96\)01535-0](https://doi.org/10.1016/S0168-3659(96)01535-0)
- Valdivieso, F., y Mollinedo, P. (2021). Formación de almidón retrogradado relacionado a niveles de amilosa en el almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y chuño. *Revista CON-CIENCIA*, 9(2), 84–102.
- Vamadevan, V., & Bertoft, E. (2018). Impact of different structural types of amylopectin on retrogradation. *Food Hydrocolloids*, 80, 88–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.029>
- Vargas, G., Martínez, P., y Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(SPE), 223–230.
- Vélez, A. (2018). *Producción y comercialización de la papa variedad súper chola (solanum tuberosum) en el cantón tulcán, provincia del carchi, año 2017* [Bachelor's thesis ]. Universidad Técnica del Norte.
- Villarroel, P., Gómez, C., y Vera, C. (2018). Resistant starch: Technological characteristics and physiological interests. *Revista Chilena de Nutricion*, 75(3), 271–278.
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., y Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 271–278.
- Xie, Y.-Y., Hu, X.-P., Jin, Z.-Y., Xu, X.-M., y Chen, H.-Q. (2014). Effect of repeated retrogradation on structural characteristics and in vitro digestibility of waxy potato starch. *Food Chemistry*, 163, 219–225. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.102>

- Xijun, L., Junjie, G., Danli, W., Lin, L., y Jiaran, Z. (2014). Effects of Protein in Wheat Flour on Retrogradation of Wheat Starch. *Journal of Food Science*, 79(8), C1505–C1511.
- Yang, H., Liu, Z., Yin, C., Han, Z., Guan, Q., Zhao, Y., Ling, Z., Liu, H., Yang, K., Sun, W., y Yu, S. (2022). Edible, Ultrastrong, and Microplastic-Free Bacterial Cellulose-Based Straws by Biosynthesis. *Advanced Functional Materials*, 32(15), 2111713. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adfm.202111713>
- Yavagal, P., Kulkarni, P., Patil, N., Salimath, N., Patil, A., Savadi, R., y Kotturshettar, B. (2020). Cleaner production of edible straw as replacement for thermoset plastic. *Materials Today: Proceedings*, 32, 492–497. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.667>
- Zúñiga, L., Ciro, H., y Osorio, J. (2007). Estudio de la dureza del queso Edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3797–3811.

## ANEXOS

**Anexo A.**  
*Aval del CIDEN*



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI  
FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE CENTER**

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
<b>NAME:</b> María Fernanda Chamorro Lagos				
<b>DATE:</b> 28 de noviembre de 2023				
<b>TOPIC:</b> "Elaboración de sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado variedad Super Chola ( <i>Solanum tuberosum L</i> )"				
<b>MARKS AWARDED</b>		<b>QUANTITATIVE AND QUALITATIVE</b>		
<b>VOCABULARY AND WORD USE</b>	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1Vera Játiva,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>WRITING COHESION</b>	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>ARGUMENT</b>	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input checked="" type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>CREATIVITY</b>	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>SCIENTIFIC SUSTAINABILITY</b>	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input checked="" type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<b>TOTAL/AVERAGE</b>	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED		<b>TOTAL 9</b>	





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL  
CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE  
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.**

**Autor:** María Fernanda Chamorro Lagos

**Fecha de recepción del abstract:** 28 de noviembre de 2023

**Fecha de entrega del informe:** 28 de noviembre de 2023

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

**Observaciones:**

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según los rubrics de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9, por lo cual se validó dicho trabajo.

Atentamente



EDISON BOANERGES  
PEÑAFIEL ARCOS

Ing. Edison Peñafiel Arcos MSc  
Coordinador del CIDEN

---

**Anexo B.**  
**Certificado de análisis de perfil de textura (TPA)**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA**  
**LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS**

**CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO**

01037

Certificado No: 23-114		RO-TC-01				
Solicitud N°: 23-114		Pág. 1 de 1				
Fecha recepción:		Fecha de ejecución de ensayos:				
<b>Información del cliente:</b>						
Empresa:	C.I. RUC:	401669004				
Representante:	Dir:	997267820				
Dirección:	E. mail:	maria.chamorro@upec.edu.ec				
Ciudad:	Tulcan					
<b>Descripción de las muestras:</b>						
Producto:	Sorbete	Peso: 300g				
Marca comercial:	n/a	Tipo de envase: Envase de plástico				
Lote:	n/a	No de muestras: Una				
F. Eib.:	n/a	F. Exp.: n/a				
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: X Congelación:		Almac. en Lab: 7 días				
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:		Muestreo por el cliente: n/a				
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Sorbetes	11423237	Ninguno	*Textura Analisis de Perfil de Textura (APT)			
			Dureza Ciclo 1	Brookfield	N	80,15
			Dureza Ciclo 2		N	6,58
			Cohesividad		adimensional	0,05
			Elasticidad		mm	4,88
			Firmeza		N	3,53
Masticabilidad	mJ	18,30				
Conds. Ambientales: 21,6°C; 46,1%HR Adjunto. 26 hojas de respaldo						
 Ing. Gabriela Flores Directora						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si						
Fecha de emisión del certificado: 21 de junio de 2023						

Nota: La muestra fue suministrada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra en las condiciones recibidas. El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los resultados obtenidos, en base a la muestra entregada por el cliente.  
 El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado. No es un documento negociable. Solo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

\*La información que se está emitiendo es confidencial, sin fines comerciales, y no puede ser reutilizada. Si usted no es el destinatario de esta información no recomendamos el uso de esta información. La atribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente.\*

## Anexo C.

### Resultados Análisis de Perfil de Textura mejor tratamiento

TexturePro CT V1.2 Build 9

Brookfield Engineering Labs, Inc.

#### INFORME DATOS

##### Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 1

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

##### Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 12:12:22

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t.: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

##### Resultados

Ciclo 1 Dureza: 53,62 N

Ciclo 2 Dureza: 6,07 N

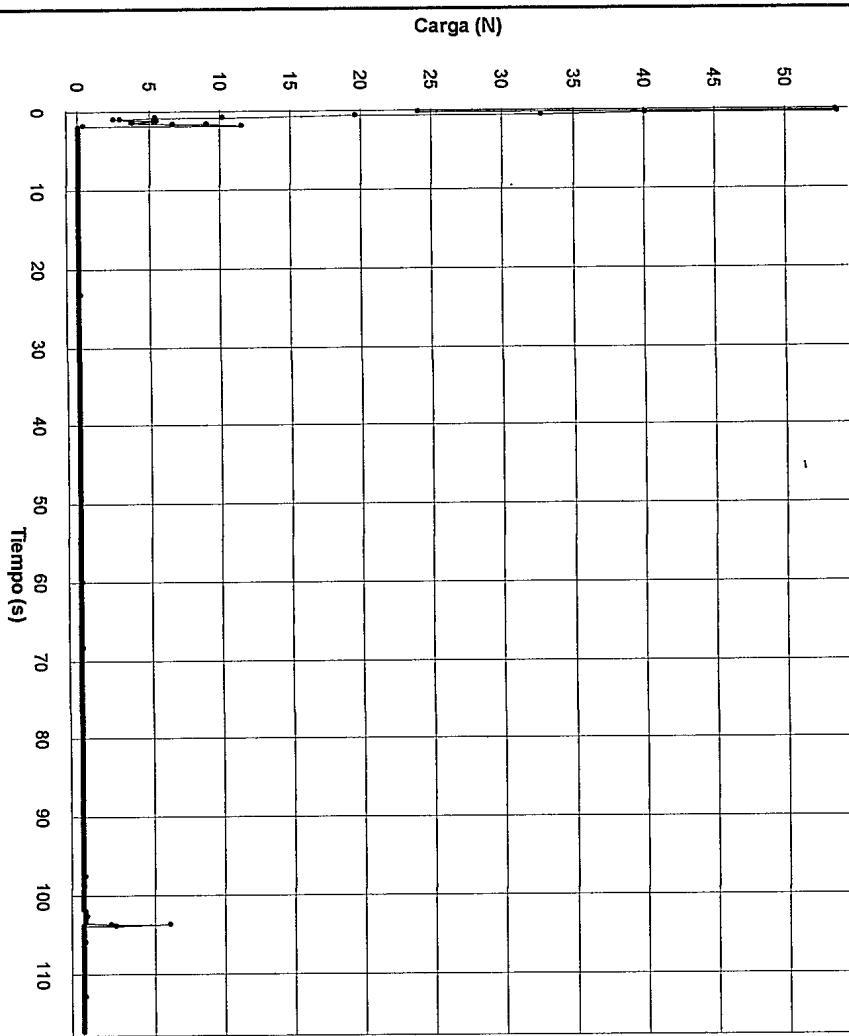
Cohesividad: 0,02

Elasticidad: 4,01 mm

Firmeza: 1,27 N

Masticabilidad: 5,1 mJ

Brookfield Engineering Labs



Archivo Datos  
• Conj. n° 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote n° / Muestra n°  
Conj. n° 1 Datos: SORBETES / LNO / 1

## INFORME DATOS

Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 2

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 12:16:05

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t.: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

Resultados

Ciclo 1 Dureza: 114,83 N

Ciclo 2 Dureza: 3,78 N

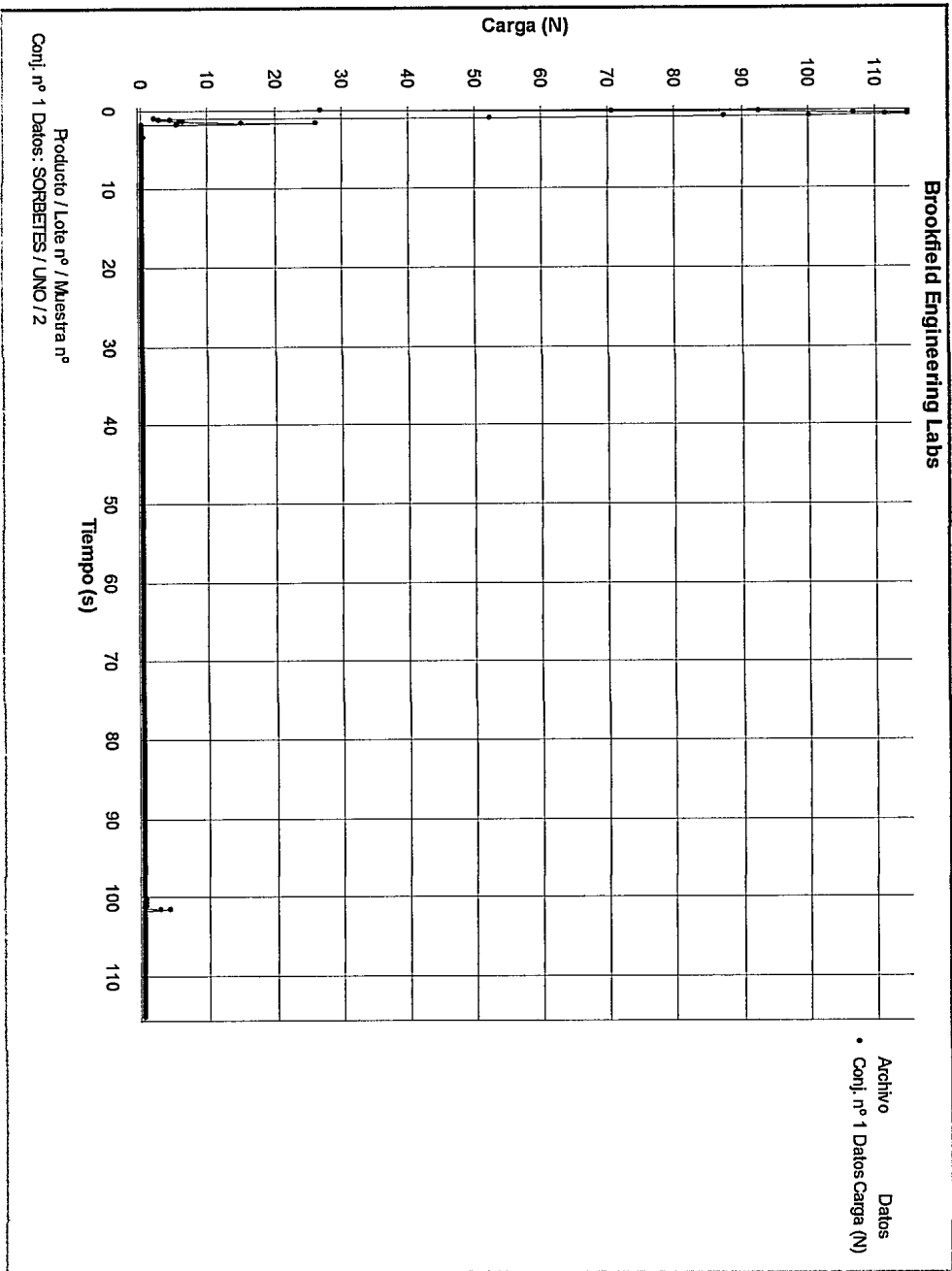
Cohesividad: 0,01

Elasticidad: 4,63 mm

Firmeza: 0,62 N

Masticabilidad: 2,9 mJ

Brookfield Engineering Labs



## INFORME DATOS

Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 3

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 12:19:50

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

Resultados

Ciclo 1 Dureza: 80,75 N

Ciclo 2 Dureza: 1,75 N

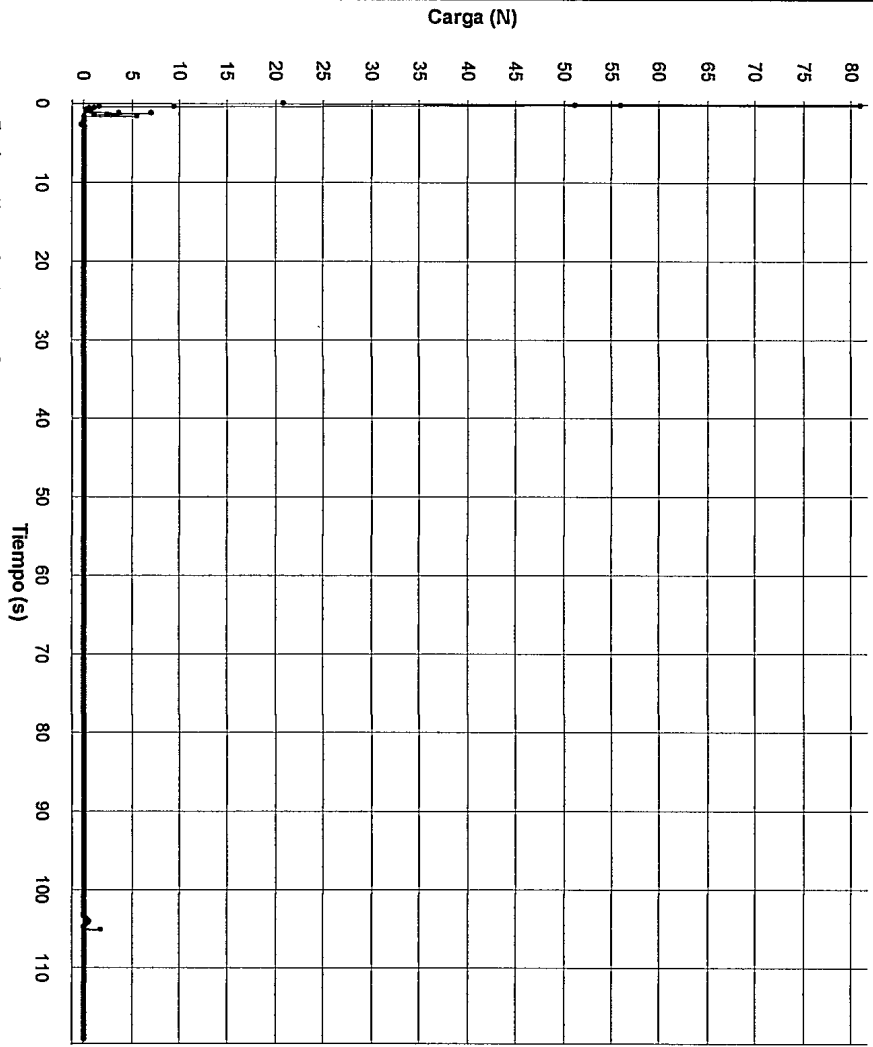
Cohesividad: 0,02

Elasticidad: 5,04 mm

Firmeza: 1,21 N

Masticabilidad: 6,1 mJ

Brookfield Engineering Labs



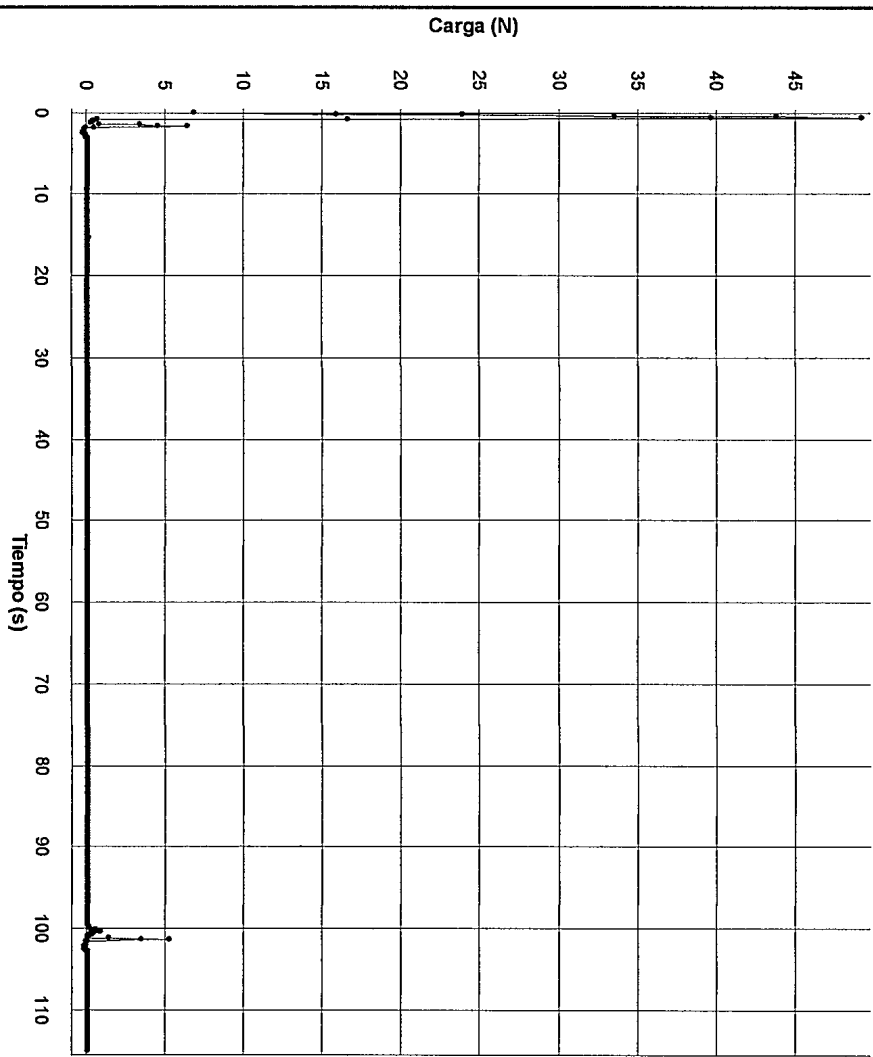
Archivo Datos  
• Conj. nº 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote nº / Muestra nº  
Conj. nº 1 Datos: SORBETES / UNO / 3



## INFORME DATOS

Descripción Muestra**Nombre Producto:** SORBETES**Notas:****Nº lote:** UNO**Nº muestra:** 4**Dimensiones:****Forma:** Cilindro**Longitud:** 90,00 mm**Anchura:** 40,00 mm**Altura:** 11,00 mmMétodo Test**Fecha:** 21/06/2023**Hora:** 12:46:31**Tipo de Test:** APT**Tpo. Recuperación:** 0 s**Objetivo:** 6,0 mm**Mismo activador:** Exacto**Esperar t.:** 0 s**Velocidad Pretest:** 0,5 mm/s**Carga Activación:** 0,07 N**Fr. Muestreo:** 10 puntos/seg**Vel. Test:** 3,5 mm/s**Sonda:** TA39**Velocidad Vuelta:** 3,5 mm/s**Elemento:** TA-BT-KI**Contador ciclos:** 2**Celda Carga:** 10000gResultados**Ciclo 1 Dureza:** 49,15 N**Ciclo 2 Dureza:** 5,17 N**Cohesividad:** 0,04**Elasticidad:** 5,68 mm**Firmeza:** 1,79 N**Masticabilidad:** 10,2 mJ

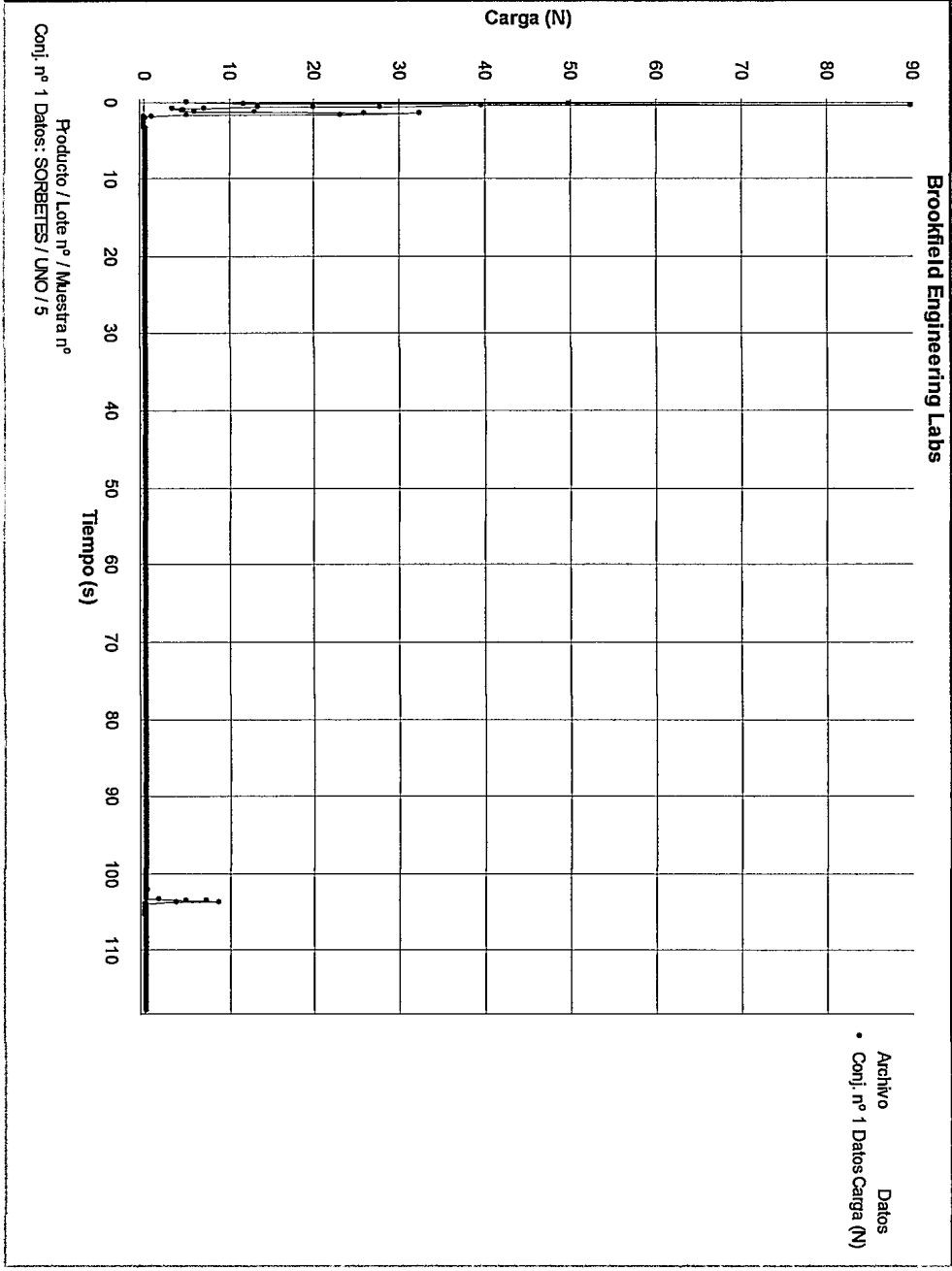


Archivo Datos  
• Conj. nº 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote nº / Muestra nº  
Conj. nº 1 Datos: SORBETES / LNO / 4

## INFORME DATOS

**Descripción Muestra****Nombre Producto:** SORBETES**Notas:****Nº lote:** UNO**Nº muestra:** 5**Dimensiones:****Forma:** Cilindro**Longitud:** 90,00 mm**Anchura:** 40,00 mm**Altura:** 11,00 mm**Método Test****Fecha:** 21/06/2023**Hora:** 12:50:25**Tipo de Test:** APT**Tpo. Recuperación:** 0 s**Objetivo:** 6,0 mm**Mismo activador:** Exacto**Esperar t.:** 0 s**Velocidad Pretest:** 0,5 mm/s**Carga Activación:** 0,07 N**Fr. Muestreo:** 10 puntos/seg**Vel. Test:** 3,5 mm/s**Sonda:** TA39**Velocidad Vuelta:** 3,5 mm/s**Elemento:** TA-BT-KI**Contador ciclos:** 2**Celda Carga:** 10000g**Resultados****Ciclo 1 Dureza:** 89,68 N**Ciclo 2 Dureza:** 8,53 N**Cohesividad:** 0,05**Elasticidad:** 5,58 mm**Firmeza:** 4,31 N**Masticabilidad:** 24,1 mJ



## INFORME DATOS

Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 6

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 12:54:33

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t.: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

Resultados

Ciclo 1 Dureza: 84,67 N

Ciclo 2 Dureza: 2,56 N

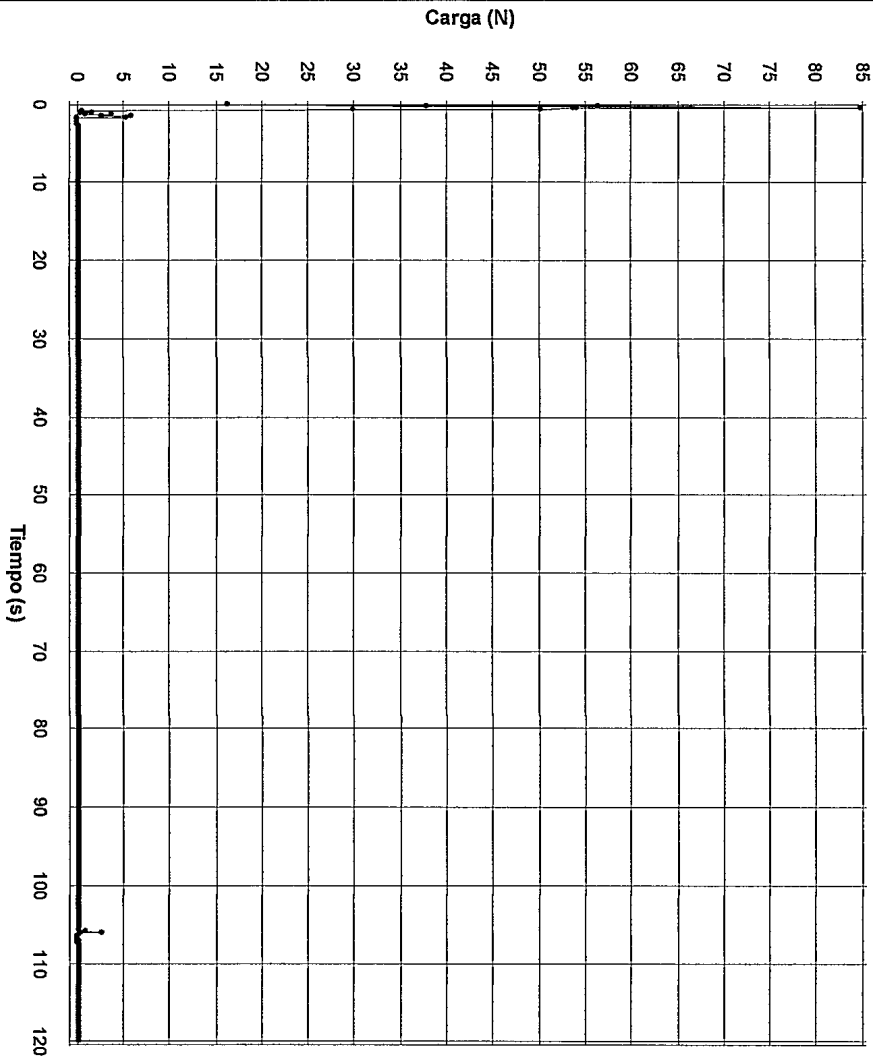
Cohesividad: 0,01

Elasticidad: 3,96 mm

Firmeza: 0,48 N

Masticabilidad: 1,9 mJ

Brookfield Engineering Labs

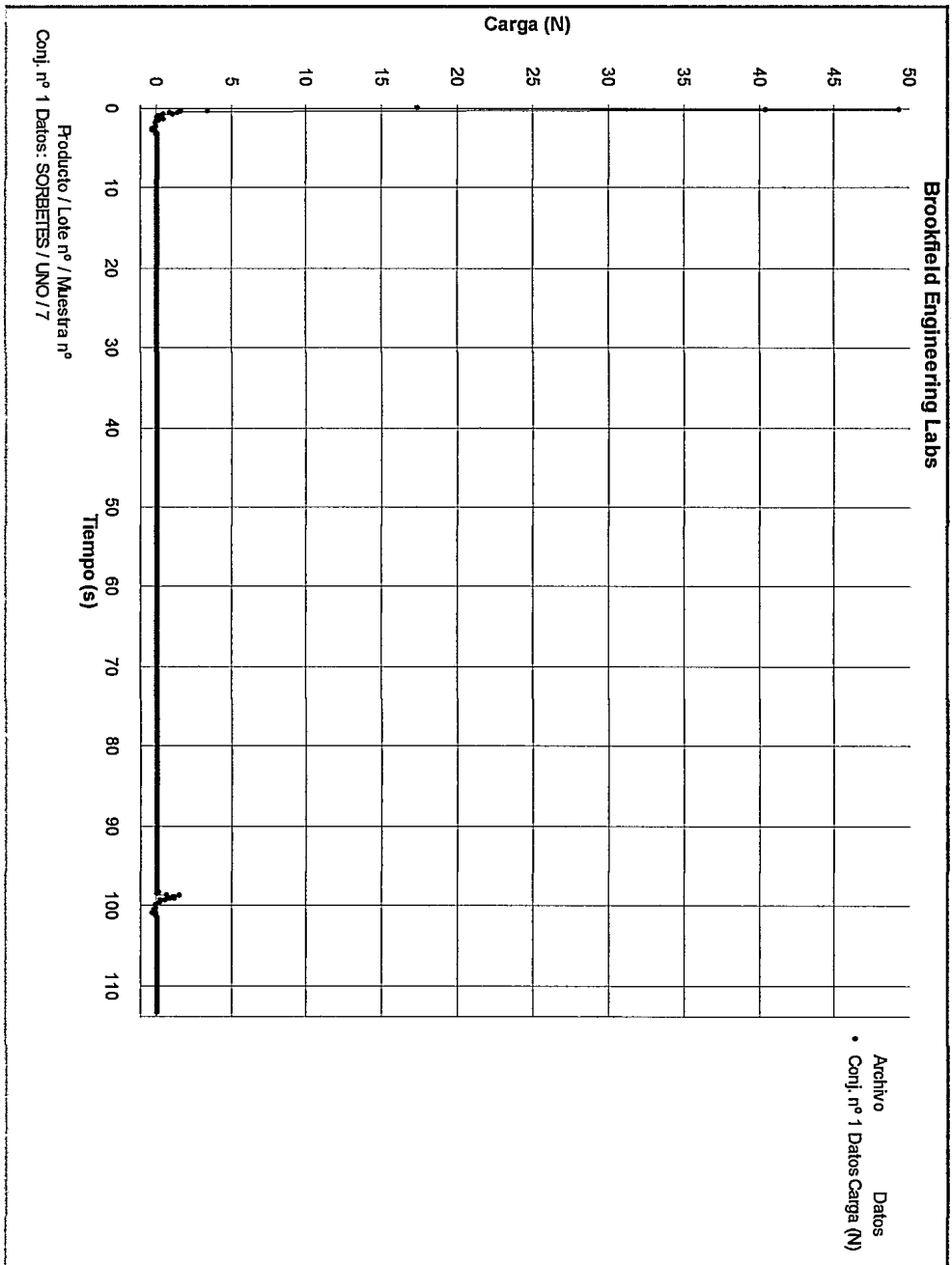


Archivo Datos  
• Conj. n° 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote n° / Muestra n°  
Conj. n° 1 Datos: SORBETES / UNO / 6

## INFORME DATOS

**Descripción Muestra****Nombre Producto:** SORBETES**Notas:****Nº lote:** UNO**Nº muestra:** 7**Dimensiones:****Forma:** Cilindro**Longitud:** 90,00 mm**Anchura:** 40,00 mm**Altura:** 11,00 mm**Método Test****Fecha:** 21/06/2023**Hora:** 12:58:22**Tipo de Test:** APT**Tpo. Recuperación:** 0 s**Objetivo:** 6,0 mm**Mismo activador:** Exacto**Esperar t.:** 0 s**Velocidad Pretest:** 0,5 mm/s**Carga Activación:** 0,07 N**Fr. Muestreo:** 10 puntos/seg**Vel. Test:** 3,5 mm/s**Sonda:** TA39**Velocidad Vuelta:** 3,5 mm/s**Elemento:** TA-BT-KI**Contador ciclos:** 2**Celda Carga:** 10000g**Resultados****Ciclo 1 Dureza:** 49,28 N**Ciclo 2 Dureza:** 1,47 N**Cohesividad:** 0,07**Elasticidad:** 5,54 mm**Firmeza:** 3,58 N**Masticabilidad:** 19,8 mJ





## INFORME DATOS

Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 8

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 13:02:06

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t.: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

Resultados

Ciclo 1 Dureza: 60,49 N

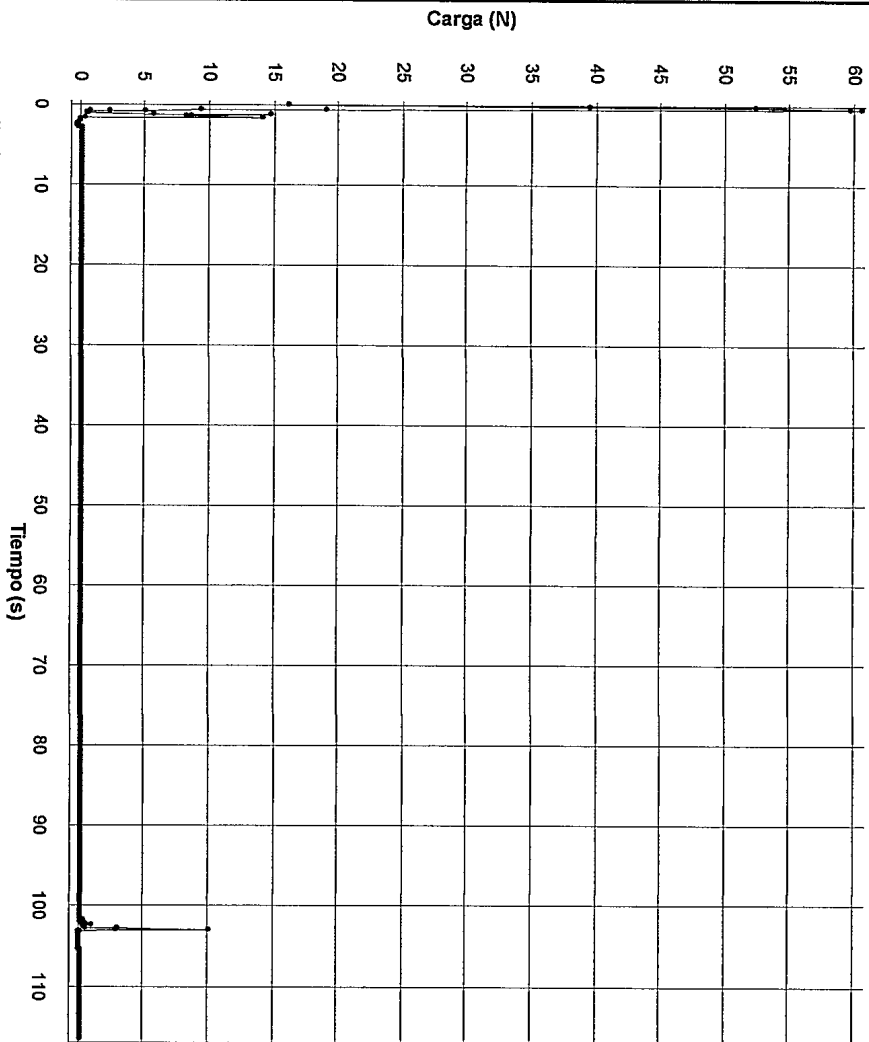
Ciclo 2 Dureza: 10,00 N

Cohesividad: 0,04

Elasticidad: 4,36 mm

Firmeza: 2,32 N

Masticabilidad: 10,1 mJ

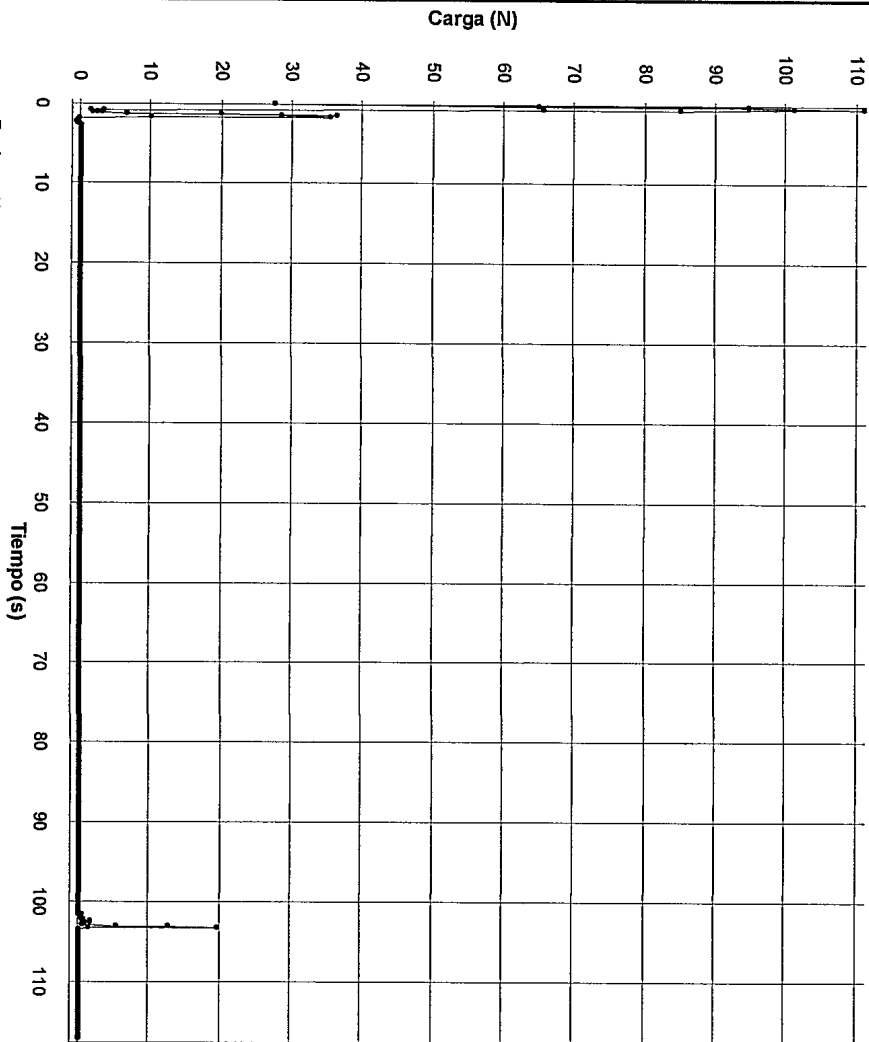


Archivo Datos  
• Conj. n° 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote n° / Muestra n°  
Conj. n° 1 Datos: SORBETES / UNO / 8

## INFORME DATOS

**Descripción Muestra****Nombre Producto:** SORBETES**Notas:****Nº lote:** UNO**Nº muestra:** 9**Dimensiones:****Forma:** Cilindro**Longitud:** 90,00 mm**Anchura:** 40,00 mm**Altura:** 11,00 mm**Método Test****Fecha:** 21/06/2023**Hora:** 13:05:56**Tipo de Test:** APT**Tpo. Recuperación:** 0 s**Objetivo:** 6,0 mm**Mismo activador:** Exacto**Esperar t.:** 0 s**Velocidad Pretest:** 0,5 mm/s**Carga Activación:** 0,07 N**Fr. Muestreo:** 10 puntos/seg**Vel. Test:** 3,5 mm/s**Sonda:** TA39**Velocidad Vuelta:** 3,5 mm/s**Elemento:** TA-BT-KI**Contador ciclos:** 2**Celda Carga:** 10000g**Resultados****Ciclo 1 Dureza:** 110,98 N**Ciclo 2 Dureza:** 19,69 N**Cohesividad:** 0,06**Elasticidad:** 5,69 mm**Firmeza:** 6,25 N**Masticabilidad:** 35,6 mJ



Archivo Datos  
• Conj. nº 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote nº / Muestra nº  
Conj. nº 1 Datos: SOBRESIES / UNO / 9

## INFORME DATOS

Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 10

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 13:09:39

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t.: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

Resultados

Ciclo 1 Dureza: 96,95 N

Ciclo 2 Dureza: 2,82 N

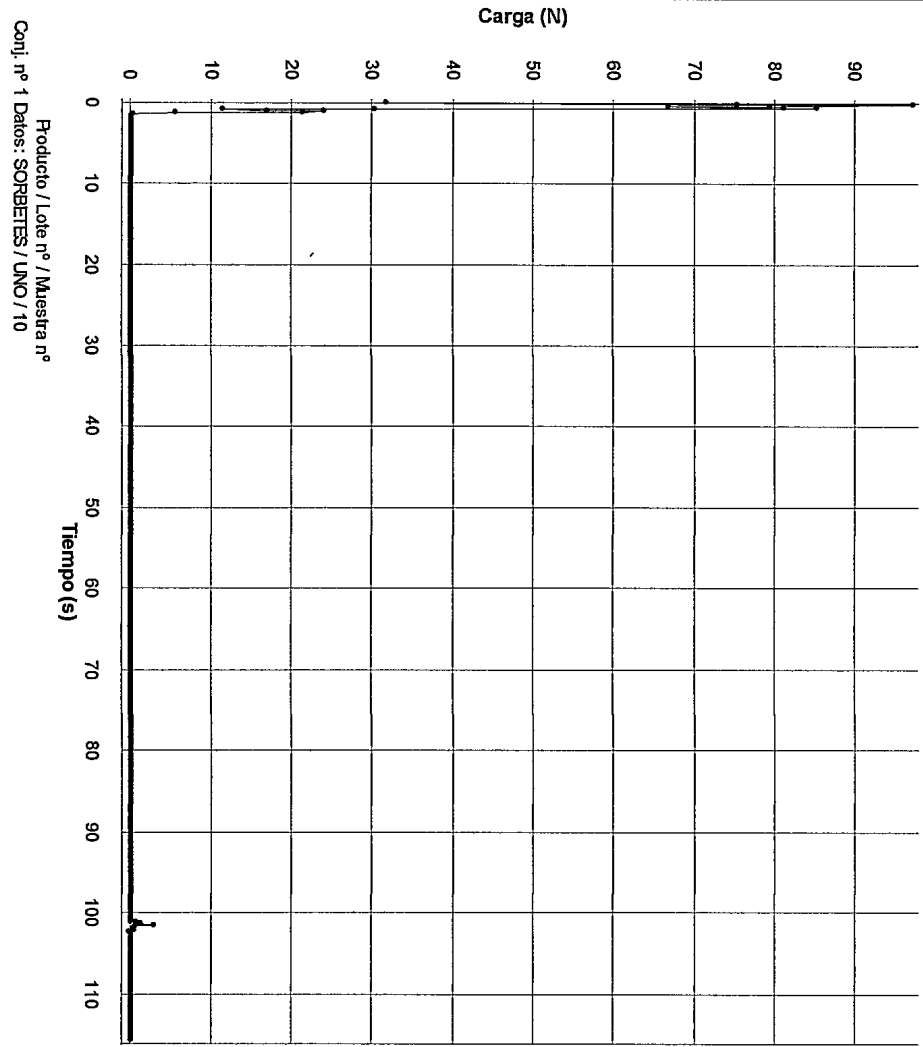
Cohesividad: 0,01

Elasticidad: 3,81 mm

Firmeza: 1,15 N

Masticabilidad: 4,4 mJ

Brookfield Engineering Labs



Archivo Datos  
• Conj. n° 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote n° / Muestra n°  
Conj. n° 1 Datos: SORBETES / UNO / 10

## INFORME DATOS

Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 11

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 13:13:32

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

Resultados

Ciclo 1 Dureza: 114,96 N

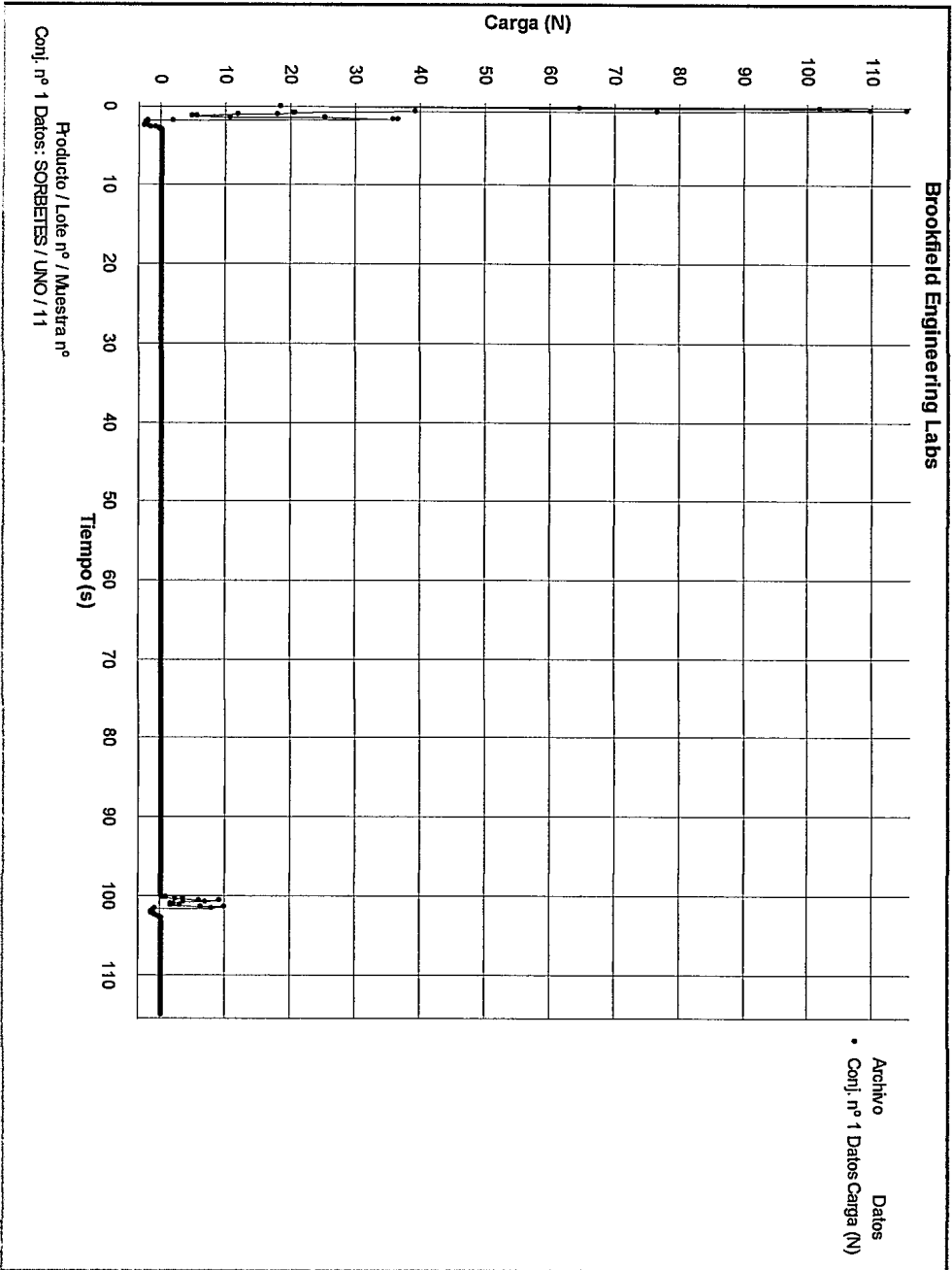
Ciclo 2 Dureza: 9,85 N

Cohesividad: 0,08

Elasticidad: 4,72 mm

Firmeza: 9,47 N

Masticabilidad: 44,7 mJ





## INFORME DATOS

Descripción Muestra

Nombre Producto: SORBETES

Notas:

Nº lote: UNO

Nº muestra: 12

Dimensiones:

Forma: Cilindro

Longitud: 90,00 mm

Anchura: 40,00 mm

Altura: 11,00 mm

Método Test

Fecha: 21/06/2023

Hora: 13:17:39

Tipo de Test: APT

Tpo. Recuperación: 0 s

Objetivo: 6,0 mm

Mismo activador: Exacto

Esperar t.: 0 s

Velocidad Pretest: 0,5 mm/s

Carga Activación: 0,07 N

Fr. Muestreo: 10 puntos/seg

Vel. Test: 3,5 mm/s

Sonda: TA39

Velocidad Vuelta: 3,5 mm/s

Elemento: TA-BT-KI

Contador ciclos: 2

Celda Carga: 10000g

Resultados

Ciclo 1 Dureza: 56,47 N

Ciclo 2 Dureza: 7,22 N

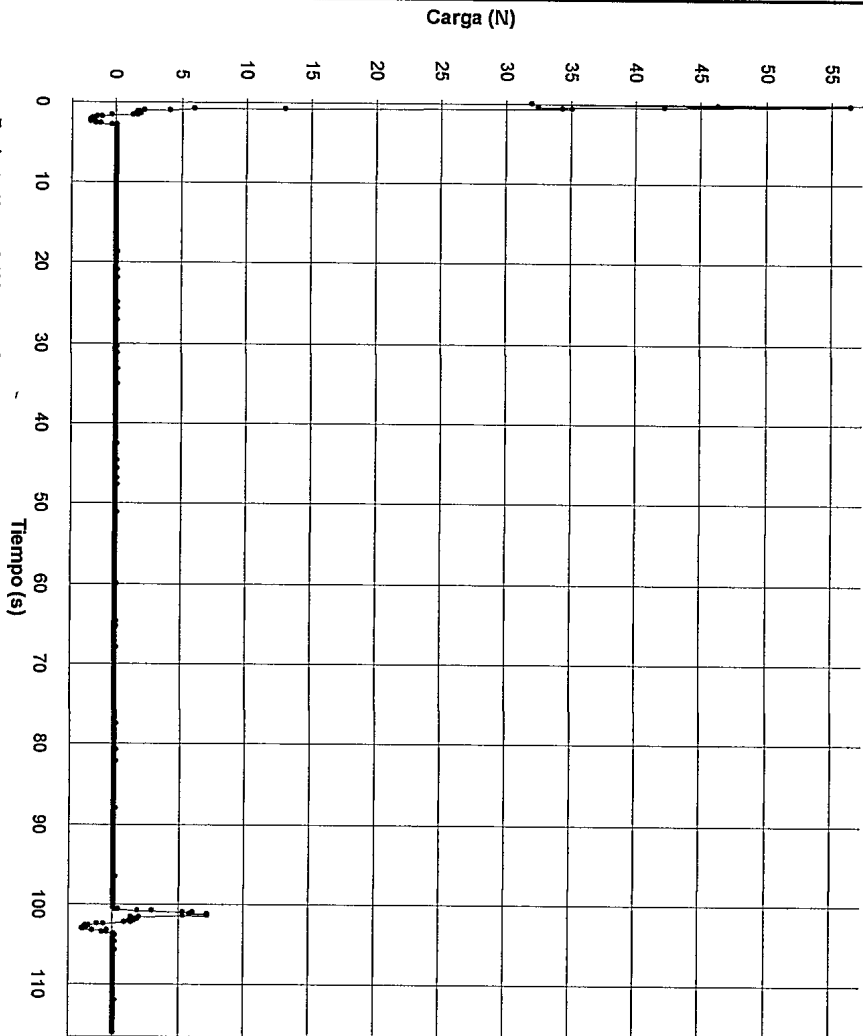
Cohesividad: 0,18

Elasticidad: 5,51 mm

Firmeza: 9,91 N

Masticabilidad: 54,6 mJ

Brookfield Engineering Labs

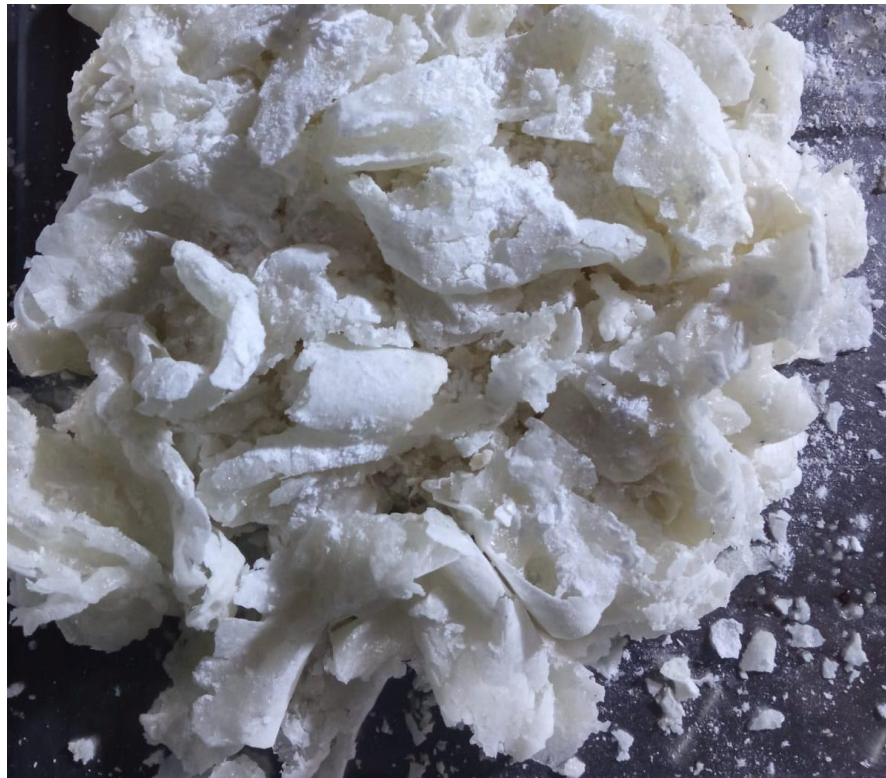


Archivo Datos  
• Conj. n° 1 Datos Carga (N)

Producto / Lote n° / Muestra n°  
Conj. n° 1 Datos: SOBETES / UNO / 12

**Anexo D.**

*Proceso de retrogradación: arriba gelatinización, abajo secado de almidón.*



**Anexo E.**  
*Proceso de elaboración de sorbetes.*



a

b



**Anexo F.**

*Hidroestabilidad del sorbete: (a) agua 12°C, (b) gaseosa 4°C, (c) café 40°C*



## Anexo G.

### Formato hoja de evaluación sensorial



**UNIVERSIDAD POLITECNICA ESTATAL DEL CARCHI**  
**CENTRO DE POSGRADO**  
**MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS**  
**HOJA DE EVALUACION SENSORIAL**

**Nota:** Los datos recopilados de esta evaluación sensorial serán utilizados para fines académicos del proyecto de titulación denominado "Elaboración de sorbetes a partir de almidón de papa retrogradado variedad super chola (*Solanum tuberosum L*)"

#### Prueba de aceptabilidad

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_  
**Género:** \_\_\_\_\_ **Edad:** \_\_\_\_\_

#### INSTRUCCIONES

A continuación, se presentan 5 muestras de sorbetes de almidón de papa. Pruebe las muestras en orden, de izquierda a derecha y califique los atributos (color, olor, sabor, textura sensorial y aceptabilidad) de cada muestra de acuerdo con la escala.

Coloque la valoración que mas le parezca sabiendo que:

Puntaje	Categoría
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta
3	No me gusta ni me disgusta
4	Me gusta
5	Me gusta mucho

Código	CALIFICACIÓN PARA CADA ATRIBUTO				
	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
742					
903					
182					
438					
349					
615					

*Comentarios:*

.....

**¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!**

**Anexo H.**  
*Análisis sensorial*

