



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGIA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

**CARACTERIZACION DE PROPIEDADES TÉRMICAS REOLÓGICAS Y
FUNCIONALES DE HARINAS DE TUNTA DE TRES VARIEDADES DE PAPA
OBTENIDAS MEDIANTE PROCESO CONVENCIONAL**

PRESENTADA POR:

THOMAS ANCCO VIZCARRA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE**

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACION DE PROPIEDADES T
ÉRMICAS REOLÓGICAS Y FUNCIONALES
DE HARINAS DE TUNTA DE TRES VARIE
DA**

AUTOR

THOMAS ANCCO VIZCARRA

RECuento de palabras

24924 Words

RECuento de caracteres

131385 Characters

RECuento de páginas

105 Pages

Tamaño del archivo

3.4MB

Fecha de entrega

Apr 24, 2024 4:35 PM GMT-5

Fecha del informe

Apr 24, 2024 4:37 PM GMT-5

● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



Dra. Alicia Magaly Leon Tacca
DOCENTE
E.P. ING. AGROINDUSTRIAL - F.C.A.
UNA - PUNO



Resumen



NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSTGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA TECNOLOGIA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS

CARACTERIZACION DE PROPIEDADES TÉRMICAS REOLÓGICAS Y
FUNCIONALES DE HARINAS DE TUNTA DE TRES VARIEDADES DE PAPA
OBTENIDAS MEDIANTE PROCESO CONVENCIONAL



PRESENTADA POR:
THOMAS ANCCO VIZCARRA
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

D.Sc. NAZARIO VILLAFUERTE PRUDENCIO

PRIMER MIEMBRO

D.Sc. NESTOR QUISPE CONDORI

SEGUNDO MIEMBRO

D.Sc. EUDES RIGOBERTO APAZA ESTANO

ASESOR

Dra. ALICIA MAGALY LEON TACCA

Puno, 17 de noviembre del 2023

ÁREA: Ciencias de la Ingeniería
TEMA: Caracterización de Propiedades Térmicas Reológicas y Funcionales de Harinas de Tunta de Tres Variedades de Papa Obtenidas Mediante Proceso Convencional
LÍNEA: Ingeniería de Procesos
LÍNEA: Ingeniería de Procesos



DEDICATORIA

Maritza, mi eterna compañera de vida, tu paciencia infinita y tu fe constante en mi capacidad, fueron un pilar fundamental en esta travesía académica. Tu apoyo moral inquebrantable me dio fuerzas en los momentos más desafiantes, tus palabras de aliento siempre son impulso para seguir adelante. Gracias por creer en mí y por estar a mi lado en cada paso del camino.

Mis queridos hijos Seidman, Dennys y Gary, ustedes son mi constante motivación e inspiración para superar todas las dificultades. Su comprensión y respaldo durante los días en los que mi tiempo estaba completamente ocupado por la investigación son invaluable. Siempre han estado ahí, apoyándome y recordándome la importancia de lograr mis objetivos, a pesar de las largas horas de estudio y trabajo. Gracias por ser mi mayor inspiración y por compartir conmigo este viaje.

Quiero honrar hoy a mis queridos seres: Julia, Víctor, Elisban y Trinidad. En este proceso permanente de superación, compromiso y trabajo, su apoyo moral e inquebrantable fueron el faro en medio de la tormenta.

Con todo mi amor y gratitud,

Thomas



AGRADECIMIENTOS

A los miembros del Jurado, con sus sugerencias y recomendaciones permitieron orientar el proyecto, ahora plasmado en esta investigación doctoral, les expresar mi más sincero agradecimiento.

A la Dra. Alicia Magaly Leon Tacca por su constante disposición, por el apoyo con la recopilación, organización y análisis de los datos de la investigación. Para obtener resultados significativos y confiables.

Al Dr. Wenceslao Medina Espinoza por su valiosa orientación y asesoramiento durante todo el proceso. Sus conocimientos y experiencia en el campo de la investigación me ayudaron a elegir la metodología e interpretar los resultados con la pertinencia del caso.

A Joel Coaquira Quispe y Manuel Prieto, por tu colaboración en el desarrollo y ejecución de la metodología instrumental. Su atención meticulosa a los detalles y las habilidades natas para brindar sugerencias y comentarios constructivos, contribuyeron en gran medida a mejorar la calidad final para el contenido de la tesis.

A Edwin Chila Choque, por su constante apoyo durante el arduo proceso de análisis instrumental, fueron de gran ayuda para superar los desafíos y obstáculos que se presentaron en el camino.

A todos ustedes, les estoy infinitamente agradecido por su generosidad, dedicación y compromiso. Sin su apoyo, esta tesis de investigación no hubiera sido posible. No tengo palabras suficientes para expresar cuánto valoro su contribución a mi desarrollo académico y profesional.

Con gratitud,

Thomas



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico	2
1.1.1. Tunta	2
1.1.2. Usos y Características de la Tunta	3
1.1.3. Transiciones de las Harinas al Procesado	4
1.1.4. Calorimetría Diferencial de Barrido DSC y Propiedades Térmicas	6
1.1.5. Reología y Propiedades Reológicas	7
1.1.6. Curva Reológicas y Ajuste de Modelos	10
1.1.6. 1. Bingham	11
1.1.6.2. Hershchel-Bulkley	11
1.1.6.3. Modelo de Cross	12
1.1.7. Propiedades Funcionales	12
1.2. Antecedentes	13
1.2.1. A nivel Internacional	13



1.2.2. A Nivel Nacional	22
-------------------------	----

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del Problema	24
2.2. Enunciados del Problema	25
2.2.1. Problema General	25
2.2.2. Problemas Específicos	25
2.3. Justificación	25
2.4. Objetivos	26
2.4.1. Objetivo General	26
2.4.2. Objetivos Específicos	26
2.5. Hipótesis	27
2.5.1. Hipótesis General	27
2.5.2. Hipótesis Específicas	27

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Estudio	28
3.2. Población	28
3.3. Muestra	28
3.4. Método de Investigación	28
3.5. Descripción Detallada de Métodos por Objetivos Específicos	29
3.5.1. Propiedades Térmicas por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	29
3.5.1.1. Variables Analizadas	29
3.5.1.2. Procedimiento para Evaluar las Transiciones Térmicas de las Suspensiones	30
3.5.1.3. Prueba Estadística Inferencial	30
3.5.2. Propiedades Reológicas	30



3.5.2.1. Variables Analizadas	30
3.5.2.2. Transiciones Térmicas de las Harinas de Tunta	32
3.5.2.3. Prueba Estadística Inferencial	33
3.5.3. Propiedades Funcionales	33
3.5.3.1. Variables Analizadas	33
3.5.3.2. Propiedades Funcionales	34
3.5.3.3. Prueba Estadística Inferencia	35
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Propiedades Térmicas	36
4.1.1. Temperatura Inicio de Gelatinización	36
4.1.2. Temperatura Pico de Gelatinización	38
4.1.3. Temperatura Final de Gelatinización	42
4.1.4. Temperatura Transición Vítrea	44
4.1.5. Entalpia del Proceso Gelatinización	47
4.2. Propiedades Reológicas	49
4.2.1. Barrido de Frecuencia	49
4.2.2. Barrido de Temperatura	52
4.2.3. Curvas de Flujo y Viscosidad Experimental	54
4.2.4. Influencia de la Variedad de Harina de Tunta y Contenido de Agua (Suspensión) en las Propiedades, Reológicas	59
4.3. Propiedades Funcionales	61
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	79



ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
1. Composición Proximal de la Papa, Chuño y Tunta	3
2. Criterios de Calidad de la Tunta	4
3. Variables para las Propiedades Térmicas	29
4. Variables Implicadas en las Propiedades Reológicas	31
5. Variables implicadas en las Propiedades Funcionales	33
6. Límites de Confianza para Temperatura Inicio de Gelatinización	38
7. Límites de Confianza para Temperatura de Gelatinización	41
8. Límites de Confianza para Temperatura Final de Gelatinización	44
9. Límites de Confianza para Temperatura de Transición Vítrea	46
10. Límites de Confianza Entalpía de Gelatinización (ΔH) en Suspensiones	48
11. Ajuste de Modelos para Curva de Flujo	55
12. Constantes de Modelos	59
13. Comparación de Medias del Índice de Flujo y Coeficiente de Consistencia	60
14. Propiedades Funcionales de Harina de Tunta	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Mecanismos de transición de fase del almidón granular.	5
2. Termogramas DSC de almidón	7
3. Tipos de Fluidos según su Comportamiento	10
4. Variación de la Temperatura Inicio de Gelatinización	37
5. Variación de la Temperatura Inicio de Gelatinización según Variedades	37
6. Variación de la Temperatura de Gelatinización según Variedades	39
7. Variación de la Temperatura de Gelatinización según Variedades	40
8. Temperatura Final de Gelatinización por Variedades	43
9. Temperatura de Transición Vítrea según Variedad de Harina de Tunta	45
10. Entalpía para la Gelatinización según la Suspensión	47
11. Entalpía para la Gelatinización según la Variedad de Harina de Tunta	48
12. Curvas de Barrido de Frecuencia Cachan	51
13. Curvas de Barrido de Frecuencia Serranita	51
14. Curvas de Barrido de Frecuencia Yungay	51
15. Curvas de Barrido de Temperatura	52
16. Temperatura de Gelatinización según Variedad de Harina de Tunta	53
17. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Canchan (7%)	56
18. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Canchan (9%)	56
19. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Serranita (7%)	57
20. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Serranita (9%)	57
21. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Yungay (7%)	57
22. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de tunta Yungay (9%)	58
23. Comportamiento del Índice de Flujo y Coeficiente de Consistencia	61
24. Capacidad de Hinchamiento	62
25. Capacidad de Absorción de Agua	63
26. Absorción de Aceite en Harina de Tunta	64



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Propiedades Térmicas.	79
2. Propiedades Reológicas	86
3. Propiedades Funcionales	87

RESUMEN

El Perú alberga más de 3500 variedades de papas, que proporciona una amplia gama de opciones para explorar el potencial agroindustrial de este cultivo. El objetivo del estudio fue la caracterización de las propiedades térmicas, reológicas y funcionales de las harinas de tunta, específicamente las variedades Canchan, Serranita y Yungay. Se llevaron a cabo evaluaciones en suspensión a concentraciones de 10%, 15% y 20%. Las propiedades térmicas se evaluaron por calorimetría diferencial de barrido (DSC). Las propiedades reológicas por reometría, y las funcionales a través de la capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y aceite. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS., determinándose que, las propiedades térmicas de las harinas de tunta difieren según la variedad utilizada, además las propiedades reológicas están en función de la concentración de la suspensión. Las suspensiones de harina de tunta Canchan y Yungay al 7% y 9%, así como Serranita al 9%, presentaron consistencia elástica y resistencia a fluir. Sin embargo, la suspensión de harina de tunta Serranita al 7% mostró un comportamiento viscoso a 62.5 °C, mientras que la elasticidad fue mayor entre los 64 °C y 80 °C. Se encontró que las propiedades funcionales, de capacidad de hinchamiento y capacidad de absorción de agua y aceite, son influenciadas tanto por la temperatura como por la variedad de harina de tunta. La variedad Canchan presenta una mayor capacidad de absorción de aceite, lo que la convierte en una opción preferible para ciertos procesos de la industria alimentaria.

Palabras clave: Calorimetría, Harina de tunta, Índice de flujo. Índice de consistencia, Propiedades funcionales, Propiedades térmicas, Propiedades reológicas.

ABSTRACT

Peru is home to more than 3,500 varieties of potatoes, providing a wide range of options to explore the agroindustrial potential of this crop. The objective of the study was the characterization of the thermal, rheological and functional properties of tunta flours, specifically the Canchan, Serranita and Yungay varieties. Suspension evaluations were carried out at concentrations of 10%, 15% and 20%. Thermal properties were evaluated by differential scanning calorimetry (DSC). Rheological properties by rheometry, and functional properties through swelling capacity and water and oil absorption capacity. The data were analyzed with the SAS statistical package, determining that the thermal properties of tunta flours differ depending on the variety used, and the rheological properties are a function of the concentration of the suspension. The suspensions of Canchan and Yungay tunta flour at 7% and 9%, as well as Serranita at 9%, presented elastic consistency and resistance to flow. However, the 7% Serranita tunta flour suspension showed viscous behavior at 62.5 °C, while the elasticity was greater between 64 °C and 80 °C. It was found that the functional properties, swelling capacity and water and oil absorption capacity, are influenced by both temperature and the variety of tunta flour. The Canchan variety has a greater oil absorption capacity, which makes it a preferable option for certain processes in the food industry.

Keywords: Consistency index, Calorimetry, Flow rate. Functional properties, Rheological properties, Thermal properties, Tunta flour.



Dr. Edmundo G. Moreno Terrazas
PROFESOR PRINCIPAL
UNA - PUNO

INTRODUCCIÓN

El informe presenta un estudio exhaustivo sobre la caracterización de propiedades térmicas, reológicas y funcionales de harinas de tunta de tres variedades de papa obtenidas mediante proceso convencional. La tunta es un producto tradicional de la zona andina que se obtiene a partir de la deshidratación de la papa mediante procedimientos tradicionales de almacenamiento y exposición al sol. Esta práctica ancestral se ha transmitido de generación en generación y la tunta es ampliamente consumida en Bolivia, Perú y Ecuador. Sin embargo, a pesar de su importancia cultural y nutricional, aún hay una falta de investigaciones respecto a la caracterización de las propiedades de los perfiles térmicos, reológicos y funcionales de las harinas de tunta.

El propósito de la investigación fue analizar y comprender las propiedades fundamentales de las harinas de tunta, con el fin de aprovechar mejor su potencial en la industria de alimentos. Para ello, se seleccionaron tres variedades de papa comúnmente utilizadas para la elaboración de tunta: la papa Canchan, Serranita y Yungay, de las cuales se obtuvieron las harinas correspondientes.

El estudio se llevó a cabo mediante pruebas de caracterización de las propiedades térmicas, reológicas y funcionales. Para evaluar las propiedades térmicas, se utilizó la técnica de análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC), que se basó en la medición de la diferencia de calor entre una muestra y una referencia, evaluada bajo un programa de temperatura controlada. Esto permitió detectar cambios de fase en las muestras de harinas de tunta. Asimismo, se realizaron pruebas de reología para medir las propiedades de flujo y deformación de las harinas de tunta. Finalmente, se evaluaron las propiedades funcionales, como la capacidad de hinchamiento, absorción de agua y la capacidad de retención de aceite.

Con la información obtenida, se espera que el estudio proporcione una mayor comprensión de las propiedades de las harinas de tunta, lo cual permite su utilización adecuada en la industria alimentaria. Además, los resultados obtenidos contribuyen al desarrollo de nuevos productos y procesos que aprovechen las propiedades de la tunta, así como al conocimiento científico existente sobre este subproducto de la papa y nos permite fomentar su uso valorizando la cosecha de este tubérculo.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Tunta

La tunta es un tubérculo que se procesa mediante congelación, lavado y deshidratación al sol. Se caracteriza por su color blanco y su textura superficial áspera con hendiduras, propias de la variedad de la cual proviene (NTP, 2019). Para transformar la papa en tunta, es necesario sumergirla en agua después de congelarla durante un período de tiempo que varía entre 15 y 30 días. Durante este proceso, se eliminan los glicoalcaloides potencialmente tóxicos (Guidi et al., 2002).

Dentro de su composición química la tunta se diferencia de la papa y chuño (Tabla 1); en términos globales, presenta alto valor energético (323 Kcal), 18.1% de humedad, Proteína 1.9 %, Grasa 0.5 %, Hidratos de carbono 77.7 %, fibra cruda 2.1 %., Ceniza 1.8 %., Calcio 92 mg., Fosforo 54 mg., Hierro 3.3 mg., tiamina 0.03 mg., Rivo flavina 0.04 mg., Niacina 0.38 mg., y Vitamina C 1.1 mg. (NTP, 2019).

Actualmente la tunta se procesa de las variedades dulces (Imilla Blanca, Imilla negra, Sacampia, Putis y Ccompis), y mejoradas (Canchan, Serranita, Yungay, Andina, Chasca y Tahuaqueña), las que desplazaron a las variedades amargas como Piñaza, Lock'a, Occocuri y K'eta (Fonseca & Ordinola, 2011).

Tabla 1

Composición Proximal de la Papa, Chuño y Tunta

Componentes	Chuño	Tunta	Papa	Moraya ¹	Chuño Negro ¹	Moraya o tunta ²
Energía (Kcal / 100 g)	375-400	400	351-400	326	333	323
Agua / (%)	14-20	13-18.1	68-84	16.5	14.1	18
Proteínas (%)	0.6-4.5	1.3-3.2	7-14	3.8	4	1.9
Lípidos (%)	0.2-1.5	0.2	0.4-1.5	0.2	0.2	
Carbohidratos (%)	92-95	94-96	79-87	78.9	79.8	77.7
Fibra (%)	2.5	2.4	3.5	3.1	1.9	2.1
Ceniza (%)	2.0-3	0.5	2-5.8	2	2.3	
Minerales						
Calcio (mg / 100g)	19-110	83-120	13-38	40	44	92
Fosforo (mg / 100g)	60-240	120	170-190	51	203	54
Hierro (mg / 100g)	0.4-7	5	1-8.5	3.2	0.9	3.3
Zinc (mg / 100g)	0.05-0.14		1.2-2.3			
Vitaminas						
Vitamina C (mg / 100g)	1 - 2		30-100	0.03	0.13	
Tiamina (mg)				0.14	0.16	
Riboflavina				2.6	1.7	
Niacina				3.4	3.4	

Fuente: (Peñarrieta *et al.*, 2012); 1 (Fonseca & Ordínola, 2011); 2 (Chalco Ibarra, 2022)

1.1.2. Usos y Características de la Tunta

La tunta, se ha adecuado satisfactoriamente a la gastronomía Novo Andina, es muy apreciado en todo el territorio peruano. Dentro de las ideas innovadoras sobre la utilización de la harina de tunta, sustituye a la maicena, de su harina se hace preparados desde postres hasta platos elaborados (Patrón Espá *et al.*, 2019), Sin embargo las características finales logradas con el proceso influyen en la calidad de la harina, pues al ser sometido la papa hasta transformarse en tunta, esta dependerá de las condiciones ambientales y de la práctica desarrollada en su proceso, los criterios de calidad para la comercialización y uso son el color, peso y olor, además las que se contemplan en la Tabla 2.

Tabla 2

Criterios de Calidad de la Tunta

Criterios	Chuño Blanco Alta calidad
Color	Blanco
Tamaño	Grande
Peso	Menor
Olor	Ligero
Sabor	Agradable
Sonido al golpe	Suave
Uniformidad	Tamaño Uniforme
Integridad	Tubérculos enteros
Rehidratación	Rápida

Fuente. Vallenas, (1991), citado por (Julca, 2016)

1.1.3. Transiciones de las Harinas al Procesado

Por la composición proximal que caracteriza a un alimento (naturaleza multicomponente y multifásica), en presencia de calor se desarrollan transiciones de fase cambiante (Hug-Iten *et al.*, 1999) además a mayores porcentajes de inclusión de agua, permite el desarrollo de matrices alimentarias con estructuras diversas (porosas, elásticas y flexibles) y con la presencia y acción de almidón y proteína en conjunto conducen a la formación de transiciones de fase acentuándose más al enfriarse la pasta; y esta se torna gomosa, si el contenido de agua está 35 a 45%, generalmente ocasiona problemas de retrogradación propio de un proceso de gelatinización, asimismo (Cuq *et al.*, 2003).

En los procesos donde el contenido de agua y el perfil de temperaturas aparentemente son suficientes, la ganancia de agua por los gránulos de almidón se ven limitado especialmente en las suspensiones multifásicas, lo que facilitaría una retrogradación o solidificación del almidón dificultando o facilitando el reagrupamiento de la matriz multifásica causando principalmente del endurecimiento, fenómeno complejo en el que operan múltiples mecanismos, en especial la amilopectina (Gray & Bemiller, 2003). En los mecanismos de transición común de los almidones (Figura 1) se observa dos transiciones endotérmicas irreversibles, esta transición, cuya temperatura máxima también depende del volumen del agua (Svensson & Eliasson,

1995), se interpretó como un proceso desordenado de los complejos amilosa-lípido. Por tanto, los almidones desgrasados o libres de lípidos no presentan esta endotermia.

Kugimiya & Donovan (1981) propusieron recientemente un método calorimétrico para determinar el contenido de amilosa de los almidones basado en la formación y fusión del complejo amilosa-lisolecitina.

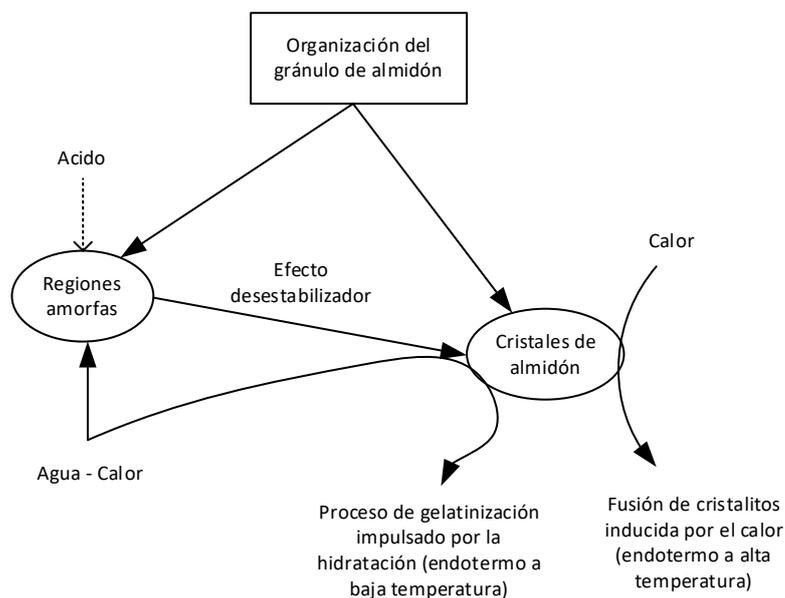


Figura 1. Mecanismos de transición de fase del almidón granular.

Los estudios de transiciones en alimentos son de interés, en especial en matrices amorfas donde permite controlar los cambios en la estructura y textura de los alimentos, estos sistemas son estables en estado sólido vítreo a temperaturas por debajo de la transición vítrea. A temperaturas alrededor y por encima de la transición, el estado sólido se transforma en un estado líquido super enfriado con flujo dependiente del tiempo. Aparentemente, tales cambios tendrán efectos significativos sobre las propiedades sensoriales de los materiales (Roos, 2003), debido a que el almidón cuando se gelatiniza, produce una dispersión uniforme de las moléculas de amilosa y amilopectina en el agua, lo que da como resultado una mezcla viscosa y pegajosa. Esta viscosidad es responsable de la textura y consistencia de productos como salsas, sopas y helados que contienen almidón; además, la gelatinización del almidón también tiene un efecto en la estabilidad de los productos. Durante el proceso de gelatinización, las moléculas de almidón forman enlaces con el agua, lo que ayuda a retener la humedad y evitar la separación de líquidos en muchos

productos a base de almidón. Esto contribuye a la estabilidad del producto final y evita la formación de grumos o separación de fases (Pineda Gómez *et al.*, 2010).

1.1.4. Calorimetría Diferencial de Barrido DSC y Propiedades Térmicas

Biliaderis (1983) hace referencia que la calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica termo analítica para monitorear los cambios en las propiedades físicas (cambios de calor) o químicas de los materiales en función de la temperatura, que suministrar datos termodinámicos (capacidad calorífica, entalpía y entropía) y datos cinéticos (velocidad de reacción y energía de activación) sobre la desnaturalización de componentes de los alimentos (proteínas, lípidos, carbohidratos, etc). Los cambios manifestados en las matrices alimentarias están estrechamente asociados con la absorción o evolución de calor, que provocan un cambio en el flujo de calor diferencial (cambio de fase) que luego se registra como un pico. El área debajo del pico es directamente proporcional al cambio entálpico y su dirección indica si el evento térmico es endotérmico o exotérmico.

Los estudios en almidones son referentes de la técnica DSC, estos polímeros cumplen el rol de proveer textura a los alimentos; de las técnicas existentes (basados en turbidez, hinchamiento, solubilidad, absorción de colorantes, difracción de rayos X, birrefringencia, digestibilidad enzimática, RMN, dispersión de luz y DSC) para el monitoreo del proceso de gelatinización, la DSC tiene relevancia, permite investigar e identificar las transiciones de fase inducidas por el calor de los sistemas de almidón / agua, facilita el estudio en rangos variados de temperatura y contenidos de humedad. Las termo gramas típicos de DSC para varios almidones se ilustran en la Figura 2a. Se observan dos transiciones endotérmicas para los almidones nativos desgrasados cuando se calientan a contenidos de agua intermedios, es decir, 45-50% p / p de almidón: agua (Donovan, 1979). Este cambio de fase, y las manifestaciones de transiciones no se manifiestan en almidones gelatinizados el contenido de humedad influencia en la manifestación de procesos de transiciones de fase, que permiten evidenciar procesos endotérmicos y exotérmicos (Figura. 2b)., y con un exceso de agua, la manifestación es de apenas un endotermo (Liu *et al.*, 2006).

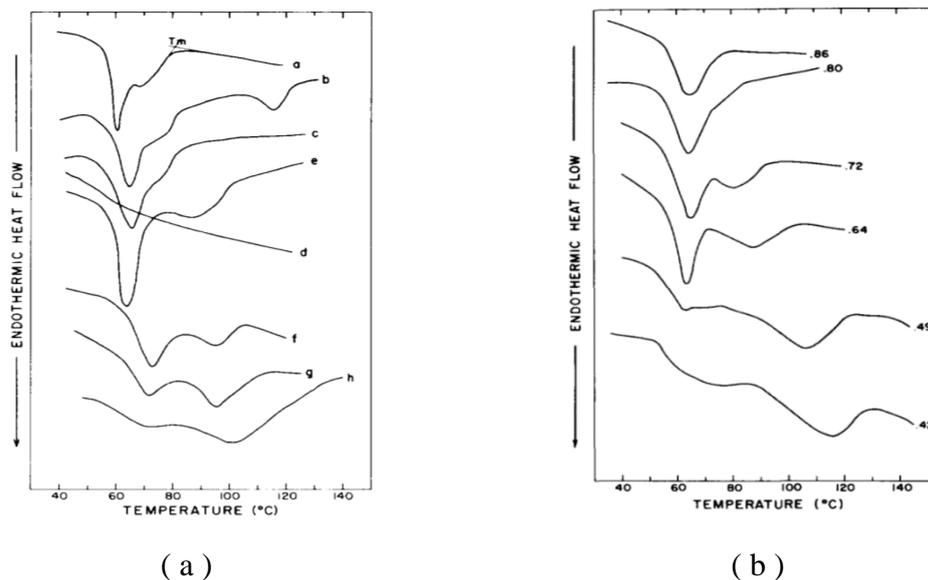


Figura 2. Termogramas DSC de almidón

(a); Diferentes especies vegetales (b) Diferentes concentraciones de agua. (Biliaderis et al., 1980).

Las transiciones de fase se dan por la endotermia de gelatinización por las que pasa una harina y/o almidón, es una medida del orden en los cristalitas de gránulos de almidón a medida que se calientan en exceso de agua. La entalpía de gelatinización y las temperaturas de transición son indicadores de la estructura y cristalinidad de las matrices de harinas que contienen almidón, proteínas, azúcares, entre otros. Las diferencias en estas propiedades pueden ser atribuidas a las diferencias en la estructura granular, el contenido de amilosa y la temperatura de gelatinización entre los almidones (Ramesh & Singh, 2009).

1.1.5. Reología y Propiedades Reológicas

La reología es la ciencia que estudia cómo los materiales fluyen y se deforman cuando se les aplica una fuerza externa. Se utiliza un instrumento llamado reómetro para medir las propiedades reológicas de los materiales, como la relación entre la deformación y la tensión mecánica. Estos estudios sirven para calcular y determinar las propiedades tecnológicas de los materiales, y para establecer las condiciones adecuadas de uso. El comportamiento de los materiales en reología depende de factores como la velocidad de corte, el tiempo, la temperatura y la presión, así como del contenido de agua, capacidad de absorción y rehidratación, y composición del material (Rosino, 2015).

Cuando se someten a procesos de calentamiento y cocción, las suspensiones de materiales se vuelven sólidas con una fase líquida. A medida que aumenta la temperatura, se vuelven viscosas, pasando por un estado gomoso hasta llegar a un estado amorfo. Este proceso de cambio estructural tiene características reológicas que combinan propiedades de sólidos y líquidos, lo que significa que tienen propiedades viscosas y elásticas, lo cual se conoce como viscoelástico (Sahin & Sumnu, 2006).

En el control de calidad, es útil determinar el comportamiento de la suspensión de harina-agua para evaluar la consistencia del producto y garantizar que cumple con los estándares de calidad. Al estudiar la suspensión de harina-agua, se pueden analizar diferentes propiedades físicas y reológicas, como la viscosidad, la estabilidad y la textura, que son importantes para determinar la calidad y la funcionalidad del producto final (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2005).

Las pruebas reológicas oscilatorias proporcionan información detallada sobre cómo se comportan los materiales frente a la deformación y la tensión, Esto proporciona información sobre la capacidad del material para almacenar y disipar energía, así como sobre su respuesta elástica y viscosa. En la región viscoelástica lineal, el material exhibe un comportamiento elástico y viscoso proporcional al esfuerzo aplicado. Esto significa que las deformaciones son proporcionales a las tensiones aplicadas y que el material tiene un comportamiento elástico y viscoso lineal. En la región no lineal, el material experimenta grandes deformaciones (Samavati *et al.*, 2012) y su comportamiento no es proporcional al esfuerzo aplicado. En esta región, el material puede exhibir fenómenos como la deformación permanente, la relajación de tensiones o la rigidez variable (Sun & Gunasekaran, 2009).

El módulo de deformación o strain modulus (G) es la relación entre el esfuerzo de corte y la deformación. Se mide en pascales y su valor viene dado por la siguiente expresión:

$$1- G = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (\text{Ec. 01})$$

- a. El módulo de almacenamiento o elasticidad (storage modulus) (G'), que es la habilidad del material para almacenar energía.

- b. El módulo de viscosidad o de pérdida o fluencia (loss modulus) (G''), que es la habilidad de las suspensiones de tunta para disipar energía, es decir la pérdida de energía como calor.

El módulo elástico se asocia con la energía almacenada en el material debido a la deformación elástica, mientras que el módulo viscoso está relacionado con la energía disipada por el material debido a la deformación viscosa.

La relación entre los 3 módulos es la siguiente:

$$G = G' + G'' \quad (\text{Ec. 02})$$

$$|G| = \sqrt{G'^2 + G''^2} \quad (\text{Ec. 03})$$

La determinación del punto de gel, en el que $G'=G''$ (Angulo-Olais et al., 2018) o conocido como cruce o “tiempo de gelificación” (tgel) está asociado con el punto de gelificación, en el que la red de polímeros abarca todo el espesor de la muestra (Burroughs *et al.*, 2023), de presentarse magnitudes de mesetas G' y G'' implica que existe rigidez del hidrogel y la presencia de una frecuencia de cruce indica un entrecruzamiento reversible (Stojkov *et al.*, 2021).

El cociente G''/G' es una medida de la pérdida de energía, llamado también medida de la amortiguación del material (suspensiones de tunta), a través del flujo y la almacenada en el material. La tangente de este cociente es el ángulo viscoso o ángulo de fase, loss angle (δ).

$$\delta = \tan \left(\frac{G''}{G'} \right) \quad (\text{Ec. 04})$$

La frecuencia de oscilación (ω) es un parámetro clave en el estudio reológico de los fluidos viscoelásticos, ya que permite analizar cómo varían sus propiedades mecánicas en función de la velocidad angular y se mide en radianes por segundo (rad/s). Esta información es fundamental para comprender y controlar el comportamiento viscoelástico por ejemplo, distintos niveles de adición de harina de papa al pan tiene diversos efectos sobre la reología de la masa en masas panarias condicentes a mejora el valor nutricional del producto final (Liu *et al.*, 2016).

1.1.6. Curva Reológicas y Ajuste de Modelos

Malvern Instruments Worldwide (2016) menciona que los fluidos que presentan adelgazamiento por corte son aquellos que tienen propiedades tanto líquidas como sólidas. En reposo, forman redes intermoleculares o Inter particulares que los hacen actuar como sólidos y resistir el corte. Sin embargo, cuando se aplica suficiente estrés, estas redes colapsan y el material fluye, mostrando propiedades líquidas a largo plazo.

Los materiales que se comportan como fluidos en reposo tienen curvas en el origen en un gráfico de esfuerzo de corte frente a velocidad de corte, mientras que los materiales con resistencia al corte tienen curvas que interceptan el eje del estrés en un valor distinto de cero. El comportamiento plástico, donde el material muestra un comportamiento no newtoniano después de ceder, es común en los materiales con resistencia al corte aparente. Es importante destacar que los líquidos vítreos y los sistemas poliméricos entrelazados se comportarán como sólidos cuando se deforman rápidamente, pero mostrarán propiedades de un líquido a tiempos de deformación más largos. Por esta razón, se utiliza el término "resistencia al corte aparente" y los tipos de comportamiento que pueden adquirir se muestran en la Figura 3 (Hackley & Ferraris, 2001).

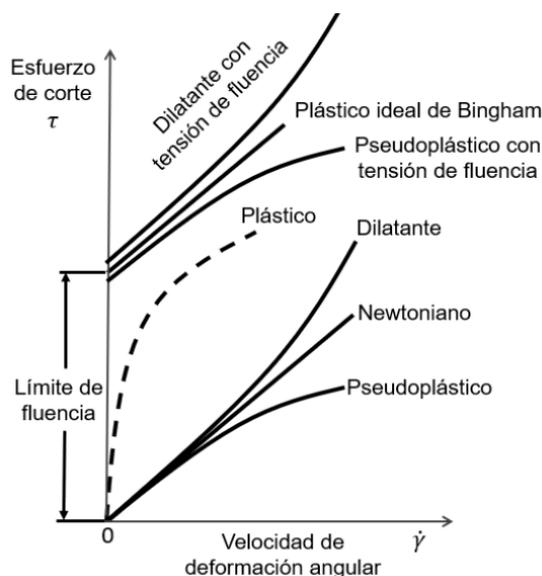


Figura 3. Tipos de Fluidos según su Comportamiento

Tres de los modelos más comunes para ajustar las curvas de flujo son los modelos Cross, Power law y Sisko. Existen otros modelos disponibles, como el modelo Carreau-Yasuda y los modelos Ellis. Mientras que otros modelos tienen en cuenta la presencia de un esfuerzo de cedencia, como los modelos Casson, Bingham y Herschel Bulkley. asimismo, existen varios métodos experimentales para determinar el límite elástico de un material, como pruebas de fluencia múltiple, pruebas de barrido de amplitud de oscilación y pruebas de cizallamiento constante. En estas pruebas se utilizan modelos como los modelos de Bingham, Casson y Herschel-Bulkley, que permiten calcular el límite elástico y la viscosidad del material. El modelo de Herschel-Bulkley es un modelo de ley de potencia que incluye un término de límite elástico y representa un adelgazamiento del cizallamiento después del límite elástico.

Los modelos más usuales son (Hackley & Ferraris, 2001):

1.1.6.1. Bingham

$$\sigma = \sigma_Y + \eta_B \dot{\gamma} \quad (\text{Ec. 05})$$

La relación de Bingham es un modelo de dos parámetros utilizado para describir fluidos viscoplásticos que exhiben una respuesta de corte. El material de Bingham ideal es un sólido elástico a valores bajos de esfuerzo de corte y un fluido newtoniano por encima de un valor crítico llamado esfuerzo de corte de Bingham, σ_Y . La región de viscosidad plástica muestra una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte, con una viscosidad diferencial constante igual a la viscosidad plástica, η_B .

1.1.6.2. Hershchel-Bulkley

Un modelo de tres parámetros utilizado para describir materiales viscoplásticos que muestran una respuesta de fluidez al corte con una relación de ley de potencia entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte por encima del esfuerzo de fluidez al corte, σ_Y . Un gráfico de $\log(\sigma - \sigma_Y)$ versus $\log \dot{\gamma}$ da una pendiente n que difiere de la unidad. La relación de Herschel-Bulkley se reduce a la ecuación de un plástico de Bingham cuando $n=1$.

$$\sigma = \sigma_Y + K \dot{\gamma}^n \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde σ_Y es el límite elástico y η_B es la viscosidad de Bingham, representada por la pendiente de la tensión de cizallamiento versus la tasa de cizallamiento en la región newtoniana, después del límite elástico. El modelo de Herschel-Bulkley es solo un modelo de ley de potencia con un término de límite elástico y, por lo tanto, representa un adelgazamiento del cizallamiento después del límite elástico, con K la consistencia y n el índice de ley de potencia.

1.1.6.3. Modelo de Cross

Este modelo describe un flujo pseudoplástico con viscosidades asintóticas a tasas de cizallamiento cero (η_0) e infinitas (η_∞), y sin límite elástico. El parámetro λ es una constante con unidades de tiempo y m es una constante adimensional con un rango típico de 2/3 a 1. Si η_0 y η_∞ , no se conocen independientemente del experimento, estas cantidades pueden tratarse como parámetros ajustables adicionales.

$$\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_0 - \eta_\infty} = \frac{1}{1 + (K\dot{\gamma})^m} \quad (\text{Ec. 07})$$

η_0 es la viscosidad de corte cero; η_∞ es la viscosidad de corte infinito; K es la constante de cruce, que indica el inicio del adelgazamiento por corte; m es el índice de adelgazamiento por corte, que varía de 0 (newtoniano) a 1 (adelgazamiento infinito por corte); k es el índice de consistencia, que es numéricamente igual a la viscosidad a 1 s^{-1} .

1.1.7. Propiedades Funcionales

Las propiedades funcionales son características físicas y químicas de los alimentos que determinan su calidad y aceptabilidad para los consumidores. Estas propiedades incluyen la capacidad de hinchamiento, absorción de agua y aceite, actividad y estabilidad de emulsión, capacidad y estabilidad de espuma, gelatinización y dextrinización de almidones, densidad aparente, conservación, desnaturalización, coagulación, formación de gluten, gelificación, mantecabilidad, plasticidad, descamación, retención de humedad y aireación. Son conocimientos de interés para el estudiar y relacionar propiedades a diferentes procesos de producción de alimentos y afectan la textura, consistencia, sabor y apariencia de los mismos (Suresh, 2013).

En tanto, Awuchi *et al.* (2019) hacen mención que la amilopectina es una molécula ramificada que forma redes tridimensionales mientras que la α -amilosa es una molécula lineal y por lo tanto no forma redes. En general, se ha demostrado que una mayor proporción de amilopectina, las proteínas (pueden formar enlaces no covalentes con el almidón) en la harina está relacionada con una mayor absorción de agua, este parámetro es un factor importante en la industria alimentaria porque afecta la textura, la formación de estructuras y la vida útil de los productos. A menor absorción de agua los productos son demasiado secos, crujientes o que se deshacen fácilmente, sin embargo, una absorción de agua excesiva puede resultar en productos pegajosos o blandos (Iwe *et al.*, 2016a) y esta dependerá del tamaño de las partículas, la variedad de especies y el método de procesamiento u operaciones unitarias (Suresh, 2013). Otra de las propiedades funcionales es la capacidad de absorción de aceite responsable de mejorar la sensación en la boca (Iwe *et al.*, 2016a) y conserva el sabor de los productos alimenticios como pasteles, salchichas (Suresh, 2013).

1.2. Antecedentes

1.2.1. A nivel Internacional

Al evaluar los efectos de cinco métodos de procesamiento diferentes, a saber, escaldado a baja temperatura seguido de secado en horno (LTBOD), escaldado a alta temperatura seguido de secado en horno (HTBOD), hervido seguido de secado en horno (BoilingOD), liofilización (FD) y secado en horno (OD). Los resultados evidenciaron que a medida que la velocidad de cizallamiento aumenta, la viscosidad de las harinas de patata disminuye. La harina liofilizada mostró la viscosidad (7098.33 cP) más alta tanto en el punto máximo como en el punto de deterioro (2672.00 cP). Por otro lado, la harina HTBOD registró la mayor viscosidad final (7989.00 cP). Las proteínas, fibras y grasas de las harinas de patata se correlacionaron negativamente con la viscosidad máxima, lo que indica que a medida que aumentan estos componentes, la viscosidad disminuye. Por el contrario, los azúcares y el fósforo se correlacionaron positivamente con las propiedades de pasta, lo que indica que a medida que aumentan estos componentes, la viscosidad aumenta y juegan un papel importante en la viscosidad y propiedades de pasta de las harinas de patata (Buzera *et al.*, 2023).

Por otra parte, se investigó la razón por la cual la masa con más de 30 g/100 g de copos de papa se vuelve pegajosa en comparación con la masa de harina de trigo. Los resultados mostraron que la capacidad de absorción de agua de los copos de papa fue significativamente 2.2 veces mayor que la del gluten y 3.4 veces mayor que la del almidón de trigo, el estudio sugiere que el uso de un método de amasado en dos pasos puede mejorar las propiedades de los alimentos preparados con copos de papa así poder reducir la pegajosidad de la masa de 31.86 g a 23.07 g. (Wang Xu *et al.*, 2022).

Al investigar, cómo el pretratamiento de congelación-descongelación afecta las propiedades fisicoquímicas de la harina de papa y el proceso de secado con aire caliente. Los resultados mostraron cambios en las propiedades reológicas y térmicas, así como en la relación entre la amilosa y la amilopectina. Sin embargo, se observó una mejora en la cristalinidad del gel formado por la harina de papa, lo que se reflejó en una mayor temperatura de pegado y entalpía de gelatinización (Shen *et al.*, 2020).

Del mismo modo, en un estudio se comparó las características de las harinas de papa y camote con sus respectivos almidones. Se encontró que las harinas tenían un mayor contenido de proteínas y amilosa que los almidones, pero los almidones mostraron una mayor viscosidad. Además, las harinas presentaron altas temperaturas de gelatinización y baja entalpía debido a la presencia de componentes no almidonados como proteínas y lípidos. Ambas harinas y almidones de papa mostraron altos contenidos de amilosa y características de pegado, lo que las hace adecuadas para aplicaciones en la industria alimentaria. Sin embargo, el contenido de grasas y proteínas en la harina puede afectar sus propiedades fisicoquímicas, especialmente su viscosidad (Wang *et al.*, 2020).

En similar estudio, demostraron que las harinas de las variedades Taewa y Moemoe presentaron alto poder de hinchamiento, las propiedades reológicas y de textura, en las harinas de las variedades Moemoe y Kowiniwini presentaron una mayor viscosidad y una mayor elasticidad, estas propiedades pueden afectar la calidad y el rendimiento de los productos elaborados con harina de papa, como panes, galletas y pastas (Zhu & He, 2020). Es importante tener en cuenta estas diferencias al utilizar

harina de papa en la industria alimentaria, con el fin de optimizar los procesos de producción y obtener productos de mayor calidad.

Asimismo, con el fin de proporcionar una base teórica y soporte técnico para la aplicación de la harina de papa en la pasta, se evaluó la papa Agria y Nadine, en combinación con harina de trigo (Sémola), se determinó que el proceso de cocido y cocido-congelado disminuye el contenido de almidón total, contenido de amilosa y almidón resistente, e influye en el índice de solubilidad en agua (WSI), el índice de absorción de agua (WAI) y la capacidad de hinchamiento (SWC), y la viscosidad de la harina de papa cocida es más alta que la harina de papa cruda y la harina de papa cocida-congelada, pero mostró la temperatura de viscosidad más baja (Yang, 2020).

A la vez, se investigaron diferentes harinas de papa para determinar sus propiedades viscoelásticas y transformación estructural utilizando métodos termodinámicos, reológicos y espectroscópicos. El estudio destaca la importancia de elegir el método de secado adecuado para la harina de papa, ya que puede afectar sus propiedades viscoelásticas y transformación estructural. El secado por liofilización y por aire caliente a baja temperatura resultaron ser los métodos más favorables en términos de estabilidad del gel y retrogradación adecuada para la formación de productos procesados calientes a partir de harina de papa. Además, la harina de papa con baja gelatinización presentaba una estructura cristalina u orden interno fuerte (Zhang *et al.*, 2020).

También, con el propósito de evaluar la aptitud de uso de diez genotipos de yuca mejorados para diversas aplicaciones industriales, se analizaron las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua y aceite, solubilidad y poder de hinchamiento) de las harinas obtenidas a partir de estos genotipos; el estudio demostró que es importante considerar las propiedades funcionales de las harinas al evaluar su aptitud de uso para aplicaciones industriales. Además, se identificó la influencia del contenido de almidón y amilopectina en estas propiedades, lo que podría ser útil para seleccionar genotipos de yuca con características específicas para diferentes aplicaciones industriales (Chimphepo *et al.*, 2021).

Por otro lado, se investigó diferentes métodos de secado (aire caliente, liofilización y radiofrecuencia) para la harina de papa nativa. Se evaluaron varias propiedades

de la harina, como color, características térmicas, capacidad de formación de pasta, estructura cristalina, propiedades reológicas y morfológicas. Se encontró que el aumento de la temperatura de secado aumentaba la temperatura de gelatinización de la harina de papa (63.73 °C a 69.47 °C), lo que indica una mayor estabilidad térmica. Además, la entalpía de gelatinización, la viscosidad y la cristalinidad relativa disminuyeron con el aumento de la temperatura de tratamiento, lo que indica una mayor desnaturalización térmica. Los métodos de secado combinados son significativos para el procesamiento de harina de papa nativa y podrían ser valiosos para el desarrollo industrial (Han-kun *et al.*, 2021)

Por estos antecedentes la harina integral, es una alternativa para conservar por mayor tiempo las papas y facilitar el transporte, y diversificar el uso, se puede comer directamente como alimento rehidratado o mezclar con otros alimentos, Tiene una amplia gama de aplicaciones en la vida (Lingling *et al.*, 2018).

Otro aspecto a considerar es el empleo combinado, un estudio de mezclas de harina de camote, almidón de maíz y harina de soja, demostraron que la harina de soja desempeña un papel importante en las propiedades de las mezclas, a medida que disminuye la cantidad de harina de soja, se observa una disminución en el poder de hinchamiento y la viscosidad de pegado de las harinas compuestas, así como en el volumen específico de la masa de pan (Julianti *et al.*, 2017) así pues, Tortoe *et al.*, (2017) estudiaron las Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de doce variedades de Batatas de Ghana y demostraron que las harinas de batata de Ghana tienen propiedades fisicoquímicas y funcionales diferenciadas que las hacen aptas para una amplia gama de aplicaciones alimentarias e industriales, estas gelatinizan a temperatura entre 79 y 84°C, los valores de viscosidad se encuentran entre 75 y 304 RVU. Asimismo, se investigaron los efectos de la proporción de harina de papa/harina de trigo en las propiedades de mezcla de la masa y la calidad de los fideos. La sustitución de harina de trigo por harina de papa ocasionó un aumento en la absorción de agua y en el valor de debilitamiento de proteínas, ocasionando debilitamiento de la fuerza de la masa, pero mejoró la resistencia a la degradación. por otro lado, la adhesividad, la elasticidad, la proporción de fideos rotos y la pérdida de cocción aumentaron progresivamente con el aumento del contenido de harina de papa, mientras que la puntuación de la evaluación sensorial continuó disminuyendo. Sin embargo, la dureza, el rendimiento de cocción y el tiempo

óptimo de cocción para las muestras con un contenido de harina de papa del 10% al 20% mostraron una variación distintiva y ocasionó cambios en la microestructura de los fideos afectando el desarrollo de la red de gluten. (Huayin *et al.*, 2017). Además, la presencia de otros componentes en el alimento puede modificar esta temperatura. Conocer esta temperatura y las transiciones de fase en las harinas permite establecer condiciones para el desarrollo de nuevos productos con características adecuadas (Mosquera *et al.*, 2015). Frente a ello (Putri *et al.*, 2014) caracterizaron dos variedades de harina de batata para comprender los cambios de las propiedades fisicoquímicas y el perfil micro estructural determinaron que el tratamiento de calor y humedad afectó las características de la harina de papa, observaron las modificaciones físicas alteran las propiedades fisicoquímicas de capacidad de hinchamiento y la solubilidad del almidón, así como las micro estructurales se ven modificados con los cambios de temperatura.

Con el propósito de mejorar y comprender las propiedades de las matrices de alimentos compuestas por almidón de papa, se llevó a cabo un estudio que se enfocó en analizar las propiedades térmicas, reológicas, estructurales y la capacidad de retención de agua de las muestras de almidón tratadas con diferentes grados de gelatinización (DSG). Los grados de gelatinización obtenidos oscilaron entre el 39.41% y el 90.56%. Se observó que una solución de almidón con un DSG del 39.41% presentaba sedimento parcial, lo que indica una falta de estabilidad. Por otro lado, el almidón con un DGS del 56.11% y valores más altos puede formar una pasta estable que exhibe un fino adelgazamiento al cizallamiento, lo cual es deseable en diversas aplicaciones. Además, se encontró que a medida que aumenta el DSG, disminuye la entalpía endotérmica, el rango de gelatinización y la estructura de orden corto del almidón, mientras que aumenta la temperatura de inicio de gelatinización, la viscosidad aparente y la capacidad de retención de agua. También se determinó que a medida que aumenta el DSG ($DSG > 39.41\%$) y la gelatinización del almidón es más completa, los geles de almidón pierden viscoelasticidad y se producen cambios en la forma y estructura de los gránulos de almidón. Se observó que el tratamiento hidrotérmico afecta principalmente la cantidad de grupos hidroxilo expuestos y las propiedades de retención de agua del almidón parcialmente gelatinizado, en lugar de las estructuras ordenadas y amorfas del almidón. Este estudio proporcionó información valiosa sobre las características

del almidón de papa parcialmente gelatinizado y estableció correlaciones entre las propiedades fisicoquímicas del almidón y el grado de gelatinización (Xu *et al.*, 2021).

Asimismo, en la aplicación industrial de agentes espesantes derivados de maíz y batata en la fabricación de alimentos. Los resultados indican que no es posible recomendar el uso del almidón como espesante para el diseño de matrices alimenticias, debido a que modifica de manera significativa la reología y textura de los alimentos, y también se alteran en presencia de cosolutos como sales, alcoholes y azúcar (Thanh-Blicharz & Lewandowicz, 2020). Sin embargo, un estudio se llevó a cabo para caracterizar tanto la harina como el almidón obtenido de la raíz de *Cucurbita foetidissima*. La harina estaba compuesta principalmente por carbohidratos, mientras que el almidón aislado mostró una mayor pureza. Ambas muestras tenían gránulos con birrefringencia y morfología mixta, y presentaron un comportamiento pseudoplástico no newtoniano en sus suspensiones. La temperatura de gelatinización y entalpía fue diferente para la harina (63.58 ± 3.08 °C con $\Delta H = 5.64 \pm 3.81$ J/g) y el almidón (66.50 ± 0.06 °C con $\Delta H = 12.27 \pm 0.17$ J/g) (Hernández-Centeno *et al.*, 2020).

En la evaluación de las propiedades de almidones aislados de diferentes variedades comerciales de papas. Estos almidones tenían forma ovalada y esférica, y variaban en tamaño y contenido de amilosa. Se encontró que eran cristalinos, con una cristalinidad relativa entre 34.6 y 37.3%. En cuanto a su comportamiento reológico, se clasificaron como geles débiles, con un módulo de almacenamiento predominante sobre el módulo de pérdida. También mostraron baja sinéresis, alta claridad y temperatura de gelatinización entre 65.70 ± 0.31 °C y 67.70 ± 0.23 °C. Se determinaron diferentes parámetros de gelatinización, como la temperatura de inicio, temperatura pico, temperatura final y entalpía de gelatinización. En general, se concluyó que estos almidones podrían ser utilizados como ingredientes en alimentos para mejorar sus características texturales (Sanchez-González *et al.*, 2019).

En estudios de sustituciones, se encontró que agregar harina de arroz en diferentes proporciones a la mezcla de materias primas utilizadas para producir fideos de papa-arroz extruidos tuvo efectos significativos en las propiedades fisicoquímicas

del sistema y en la calidad de los fideos resultantes. Los aumentos graduales en el contenido de harina de arroz resultaron en incrementos en el contenido de amilosa, las viscosidades de pastificación, el módulo de almacenamiento y el módulo de pérdida, mientras que el poder de hinchamiento, la solubilidad y la temperatura de pastificación disminuyeron. Los fideos de papa-arroz extruidos con contenidos de harina de arroz de hasta el 40% mostraron características de cocción y propiedades texturales deseables. Las evaluaciones sensoriales revelaron que las puntuaciones de masticabilidad, firmeza, deslizamiento, elasticidad y aceptabilidad general aumentaron gradualmente con el aumento del contenido de harina de arroz. Se concluyó que es posible reemplazar hasta el 40% de la harina de papa con harina de arroz para producir fideos de papa-arroz extruidos de calidad aceptable (Wang *et al.*, 2016).

En otro similar estudio, se encontró que la harina de papa presentó propiedades fisicoquímicas y reológicas diferentes a la harina de maíz. Además, se observó que diferentes cultivares de papa también mostraron diferencias en estas propiedades. La adición tanto de harina de maíz como de harinas de papa en las galletas mejoró su factor de extensión y redujo su fuerza de fractura. Los resultados sugieren que la adición de harina de maíz y harinas de papa puede mejorar la textura de las galletas, haciéndolas más suaves y menos quebradizas. Esto puede ser beneficioso para la calidad sensorial de las galletas y para facilitar su consumo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la adición de harinas de maíz y papa también puede afectar otras propiedades de las galletas, como el sabor, el color y la humedad. Por lo tanto, es necesario realizar más investigaciones para evaluar completamente los efectos de estas mezclas en las propiedades de las galletas y determinar las proporciones óptimas para lograr la mejor calidad del producto (Singh *et al.*, 2003).

Un estudio sobre congelación-descongelación, han permitido demostrar que es posible acortar el tiempo de secado de la harina de patata, reducir el consumo de energía y mejorar las propiedades reológicas y térmicas de la harina de patata con una mayor cristalinidad relativa, además los diferentes tratamientos tuvieron un efecto en las propiedades elásticas (G') y viscosas (G'') de la harina de papa. La descongelación con agua corriente y descongelación por microondas tuvieron los mayores efectos en el aumento de los módulos de elasticidad y viscosidad, respectivamente. Además, se observó que a medida que aumentaba la frecuencia

angular, el valor de $\tan\alpha$ de la muestra con pretratamiento de congelación-descongelación disminuía, lo que indica que se mejoró el grado de polimerización de reticulación molecular en la pasta de harina de papa congelada-descongelada (Shen *et al.*, 2020).

En un estudio sobre soluciones inorgánicas, investigadas, se observó que los valores de los módulos elástico (G') y viscoso (G'') experimentaron una fase inicial de incubación después de la exposición a la luz ultravioleta. Posteriormente, hubo un rápido aumento en el valor de G' hasta casi 6 órdenes de magnitud antes de alcanzar un estado estable. Durante esta fase de rápido aumento, se produjo una intersección entre G'' y G' , lo que indica una transición de un comportamiento líquido predominantemente viscoso a un comportamiento sólido predominantemente elástico. Este punto de intersección, conocido como "tiempo de gelificación" (tgel), se asocia con el punto en el que la red de polímeros se extiende por todo el espesor de la muestra (Burroughs *et al.*, 2023).

Frente a estos inconvenientes, un estudio comparativo y caracterización de siete variedades de camote, determinaron que los almidones presentan propiedades diferentes, debido a que el poder de hinchamiento y la solubilidad en agua a 95°C variaron de 22.5 a 29.0 g/g y 13.1 a 16.9%. asimismo, los almidones mostraron un termograma de gelatinización de dos picos, el primer pico de temperatura varió de 64.1 a 69.0°C y el segundo pico de temperatura varió de 73.5 a 80.8°C. también observaron variaciones en la viscosidad máxima (2535 a 3750 mPa s), viscosidad en caliente (1517 a 2450 mPa s), viscosidad de ruptura (1018 a 1622 mPa s) y viscosidad de retroceso (474 a 1036 27 mPa s (Zhang *et al.*, 2018).

Similar estudio realizado por Velásquez Herrera et al., (2017) evaluaron las propiedades funcionales del almidón de papa nativo (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov) en la industria alimentaria y no alimentaria. determinó que el almidón formando una estructura gelatinosa 63.95 °C y en 7 minutos de cocción, alcanza una viscosidad máxima de 1087 Cp., parámetro de interés para mejorar su consistencia, mediante análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) observaron que la transición de gelatinización del almidón de papa comienza a 50.97 °C, y concluye a 71.25 °C siendo necesario una entalpía de 2.11 J. g-1.

Por otro lado, se ha demostrado que el tratamiento térmico altera significativamente las propiedades funcionales y amilográficas del almidón nativo de papas nativas, lo cual es importante tener en cuenta en su uso en diferentes industrias alimentarias. Los valores determinados en los almidones nativos de papas son los siguientes: Solubilidad: 1.84%, Viscosidad máxima: 2180.41 Cp, Viscosidad de descomposición: 536.65 Cp, Gelatinización: 75.23°C y Viscosidad de retroceso: 366.35, viscosidad del almidón después de su enfriamiento después de la gelatinización (Marta & Tensiska, 2017).

De la misma forma al combinar almidones nativos de papa, camote y quinua con exceso de agua, los resultados mostraron que el tipo y las proporciones de los almidones individuales, permite obtener con precisión una gama de funcionalidades significativamente diferentes de los almidones individuales, y son posibles de controlar propiedades reológicas usando una combinación en proporciones específicas, recomienda efectuar estudios de análisis de flujo y oscilatorio dinámico, para explorar mejor la complejidad de la gelatinización (Xu *et al.*, 2017).

Otro estudio que trata sobre comparar las propiedades de las harinas de papa Maorí con las de las variedades modernas de papa. Se encontraron diferencias significativas en la composición química, actividad antioxidante, poder de hinchamiento, solubilidad en agua, propiedades térmicas y reológicas, gelificación y digestibilidad del almidón. Las papas Maorí tenían mayores contenidos de fibra dietética, lípidos, minerales y fenoles, especialmente la variedad Tutaekuri con piel y carne moradas. La correlación mostró que el hinchamiento y las propiedades reológicas y texturales estaban asociadas con el contenido de almidón. El análisis de componentes principales demostró diferencias entre las muestras de papa Maorí y las modernas, aunque las harinas de Moemoe y Kowiniwini tenían propiedades similares (Zhu & He, 2020).

En definitiva, los estudios de propiedades funcionales del almidón de papa nativa en la industria alimentaria y no alimentaria, requieren ser fortalecidos con análisis termogravimétrico, calorimetría diferencial de barrido, difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido y análisis viscoamilográfico rápido. es así que, el análisis viscoamilográfico rápido mostró que la temperatura de gelatinización del almidón de papa nativa fue de 63.95 °C, con una viscosidad máxima de 1087 cP y

un tiempo de cocción de 7 minutos. El análisis de calorimetría diferencial de barrido encontró que la transición de gelatinización del almidón comienza a los 50.97 °C y termina a los 71.25 °C, con una entalpía de 2.11 J.g⁻¹. Estos resultados son relevantes para la *industria* alimentaria y no alimentaria, ya que demuestran las propiedades funcionales del almidón de papa nativa y su potencial uso en diversos productos (Velásquez *et al.*, 2017).

1.2.2. A Nivel Nacional

Un estudio comparativo de tres variedades de almidón de papa nativa (Imilla blanca, Imilla negra y Loc'ka) encontraron que el almidón de Imilla negra presentó características positivas como un mayor contenido de amilosa, pico de viscosidad, contenido de fósforo y claridad de la pasta. Por otro lado, el almidón de Imilla blanca mostró una alta cristalinidad y temperaturas de gelatinización más altas en comparación con los de Imilla negra y Loc'ka, en tanto la entalpía de gelatinización fue similar en las tres variedades estudiadas (Martínez *et al.*, 2019).

Peña Carrasco (2017) En similar estudio demuestran que las diferentes variedades de almidón de papa presentan transiciones de fase durante la gelatinización a diferentes temperaturas y con diferentes entalpías de gelatinización. La temperatura de inicio (T_o) representa el punto en el cual comienza la gelatinización, y varía entre 55.32°C y 59.48°C. La temperatura de pico (T_p) es el punto en el cual se alcanza la máxima gelatinización, y fluctúa entre 58.40°C y 63.08°C. Por último, la temperatura final (T_c) indica el punto en el cual ha finalizado la gelatinización, y oscila entre 63.95°C y 69.49°C. Además de las diferentes temperaturas de transición de fase, se observa que la entalpía de gelatinización también varía entre las diferentes variedades estudiadas. En este estudio, se encontró también que la entalpía de gelatinización (ΔH) fluctuó entre 15.55 (J/g) para Loka y 16.1 para Ocuccuri blanca.

Vargas *et al.*, (2016) han llevado a cabo estudios sobre las propiedades funcionales del almidón de papa (variedad Única) y su modificación química mediante acetilación. determinaron que la viscosidad aparente del almidón de papa nativa era de 25000 mPa.s. Sin embargo, se seleccionó el almidón acetilado con un 15% de anhídrido acético debido a sus características funcionales favorables y presentaba



una viscosidad aparente de 5429 mPa.s. Este gel demostró tener un perfil funcional óptimo para su aplicación como estabilizante y espesante en alimentos refrigerados.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del Problema

Es usual en la industria de los alimentos el empleo de espesantes procesados (Goma guar, Carragenina), sin embargo, en la naturaleza existen alimentos que son empleados como espesantes (Harina de trigo, almidón de papa). La ventaja de utilizar alimentos naturales como espesantes es que son ingredientes naturales y generalmente son considerados seguros para el consumo humano. Además, estos alimentos ofrecen beneficios nutricionales adicionales. Es conocido que el almidón de papa como tal presenta transiciones térmicas y reológicas propias, sin embargo; estas transiciones se ven seriamente modificadas cuando los alimentos son bifásicos (agua: almidón) y multifásicos como la harina de tunta y en presencia de mayores porcentajes de contenido de agua en su preparación, posiblemente sufran deformaciones (cambios y transiciones vítreas diferentes) en el procesamiento térmico y estas pueden verse modificadas (pasar de líquido a viscoso, a visco elásticos y solidificarse completamente) y acentuadas cuando son sometidos a esfuerzos de corte (estabilidad reológica), por ello después del procesado, estas pueden reducir (retrogradación y sinéresis) o incrementar su viscosidad hasta llegar a solidificarse. Estas modificaciones son manifestaciones de transiciones propios de los alimentos ricos en carbohidratos, y el desconocimiento de su comportamiento ocasiona y generan estructuras alimenticias complejas y poco deseables en la industria de los alimentos producto del comportamiento endotérmico o exotérmico que sufren las harinas al someterlo a calor. Para la identificación de estas transiciones de fase y modificaciones que sufren los sistema binario harina de tunta:agua, no son posibles de realizar mediante procedimientos tradicionales por lo que para el estudio se empleara técnicas para análisis gravimétrico (TGA), Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y Reometria, lo que permitiría observar y obtener los termo gramas y establecer las propiedades térmicas y

reológicas, de la harina al variar el contenido de agua, además de conocer sus propiedades funcionales.

2.2. Enunciados del Problema

2.2.1. Problema General

¿Las propiedades térmicas, reológicas y funcionales serán influenciadas por la variedad de harina de tunta y contenido de agua?

2.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la influencia de la variedad de harina de tunta y contenido de agua en las propiedades térmicas?
- ¿Cuál es la influencia de la variedad de harina de tunta y contenido de agua en las propiedades, reológicas?
- ¿Cuál es la influencia de la variedad de harina de tunta en las propiedades funcionales?

2.3. Justificación

La tunta es un alimento básico en las poblaciones alto andinas y su consumo ha despertado el interés en la gastronomía Novo andina. Se come en sopa; se prepara mazamorra (lawa), se hacen panes con su harina y se prepara el phasi (a vapor). Su versatilidad, bajo índice glicémico y valor nutricional la convierten en una opción atractiva para los amantes de la comida peruana, especialmente en Lima, Arequipa, Cuzco y Puno; debido a su gran versatilidad que presenta la tunta. Además, su producción se concentra en la región de Puno, con un 67 % de la producción total nacional; Cusco (17 %), Junín (9 %), Áncash (3 %), Apurímac (2 %) y 2 % en Huancavelica (Andina, 2021).

En los sistemas bifásicos, el proceso de gelatinización del almidón a altas temperaturas (60 y 75°C) genera cambios irreversibles que resultan en la formación de una pasta o gel. Sin embargo, en los sistemas multifásicos, como la harina de tunta, la presencia de otros componentes como carbohidratos, fibra, proteínas y minerales compite por absorber el agua necesaria para gelatinizar el almidón, lo que afecta los cambios que ocurren durante este proceso. Como resultado, se pueden observar competencia en absorber agua necesaria para generar que los almidones vibren y rompan los puentes de hidrógeno intermolecular de las zonas amorfas para lograr gelatinizar y ligarse con los otros

elementos generando transiciones de fase diferenciadas al variar el contenido de humedad en estos sistemas (Correia *et al.*, 2011). Por tanto, la microestructura de la matriz alimentaria y el flujo de calor dentro de ella son factores clave para determinar la eficacia y seguridad de la cocción de los alimentos. El conocimiento y control de estos aspectos (el tiempo y la temperatura) son fundamentales para lograr resultados consistentes y de calidad en la cocina (Nguyen *et al.*, 2021), el estudio nos ayudará a entender las características y propiedades térmicas y reológicas de la harina de tunta, así como las posibles diferencias entre las variedades de Canchan, Yungay y Serranita. Esto no solo ampliará nuestros conocimientos sobre este producto, sino que también nos proporcionará información valiosa para su uso y aplicación en diferentes contextos.

La información generada también será útil para mejorar las técnicas de procesamiento de la harina de tunta, lo que permitirá optimizar su producción a gran escala y garantizar su calidad. Esto será beneficioso tanto para los productores de tunta como para los consumidores finales, ya que podrán acceder a productos de alta calidad y con propiedades espesantes consistentes.

Además, la información obtenida también podrá ser utilizada para promover la harina de tunta en el ámbito culinario, tanto a nivel nacional como internacional. Se podrán desarrollar recetas y formas de preparación innovadoras que resalten las propiedades espesantes de la tunta, lo que sin duda atraerá la atención de chefs y amantes de la gastronomía.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades térmicas, reológicas y funcionales de harinas de tunta de tres variedades de papa y su efecto con relación al contenido de agua.

2.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las propiedades térmicas (temperatura de gelatinización, temperatura de transición vítrea, temperatura Inicial, temperatura de gelatinización, temperatura final) de harinas de tunta y la influencia de la variedad de papa y contenido de agua.

- Evaluar las propiedades reológicas (temperatura de gelatinización, comportamiento viscoelástico y curvas de flujo) de harinas de tunta y la influencia de la variedad de papa y contenido de agua.
- Evaluar las propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite.) en harinas de tunta de tres variedades de papa.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General

Las propiedades térmicas, reológicas y funcionales de la harina de tunta son influenciadas por la variedad de papa y contenido de agua

2.5.2. Hipótesis Específicas

- Las propiedades térmicas (temperatura de gelatinización, temperatura de transición vítrea, temperatura Inicial, temperatura de gelatinización, temperatura final) de harinas de tunta son influidas por la variedad de papa y contenido de agua.
- Las propiedades reológicas (temperatura de gelatinización, comportamiento viscoelástico y curvas de flujo) de harinas de tunta son influidas por la variedad de papa y contenido de agua.
- Las propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite.) de harinas de tunta son influidas por el tipo de variedad de papa.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de Estudio

La investigación se desarrolló en la ciudad de Andahuaylas a 2866 m.s.n.m., en los laboratorios de Propiedades Físicas e Investigación Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas y en el laboratorio de ingeniería, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ubicado a 3827 m.s.n.m., y la Universidad Peruana Unión, ubicado en la carretera salida a Arequipa Km. 6, Chullunquiani. Estas entidades académicas fueron consideradas, porque cuenta con la tecnología y personal idóneo para efectuar los análisis propuestos en el estudio.

3.2. Población

La población estuvo compuesta por la harina de tunta de las variedades Canchan, Serranita, Yungay, procedentes de la planta procesadora de Kishuará Andahuaylas.

3.3. Muestra

La muestra estuvo conformada por cinco (5 kg) de Harina de tunta (papa deshidrata y molida) de la variedad Canchan, Serranita y Yungay, y según el procedimiento y/o protocolos para el análisis térmico y reológico serán muestreadas y preparadas correspondientemente.

3.4. Método de Investigación

La investigación es de tipo experimental y descriptiva. La determinación de las propiedades térmicas fue realizada por el método descrito por Sablani *et al.*, (2009) sometiendo las suspensiones de harina a Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), para la obtención de datos de la historia térmica y/o comportamiento térmico y estos fueron analizadas mediante el software TRIOS de TA Instruments.

La determinación de las propiedades reológicas de barrido de frecuencia, Curva de fluidez y Viscosidad, se determinaron por el método descrito por Kong *et al.*, (2010). Los datos obtenidos de las suspensiones de harina, fueron analizadas mediante el software Anton Paar RheoCompass, Solver y Origin Lab.

La determinación de las propiedades funcionales de capacidad de hinchamiento (SC) se determinó por el método descrito por Robertson *et al.*, (2000). La capacidad de absorción de agua (WAC) y la capacidad de retención de aceite (ORC) por el método escrito por Zhang *et al.*, (2019).

3.5. Descripción Detallada de Métodos por Objetivos Específicos

3.5.1. Propiedades Térmicas por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

3.5.1.1. Variables Analizadas

Para caracterizar las propiedades térmicas de harinas de tunta se consideraron, tanto variables independientes como dependientes o de respuesta, siendo estas las presentadas en la Tabla 3.

Tabla 3.

Variables para las Propiedades Térmicas

Variab <i>les</i> Independientes	Variab <i>les</i> dependientes
Variedad de la harina de tunta (HV)	Propiedades Térmicas
- HV1: Canchan	- Entalpia de gelatinización
- HV2: Serranita	- Temperatura de transición vítrea
- HV3: Yungay	- Temperatura inicial
Suspensión: (Agua: solido)	- Temperatura gelatinización
- S1: 10 % (p/v)	- Temperatura final
- S2: 15 % (p/v)	
- S3: 20 % (p/v)	

3.5.1.2. Procedimiento para Evaluar las Transiciones Térmicas de las Suspensiones

Las muestras de harina de tunta (100 micrómetros) fueron pesadas ($3 \pm 0,5$ mg) en una micro balanza analítica y con una micro pipeta se adicionó agua destilada para lograr suspensiones al 10%, 15% y 20%, y con la prensa, fueron selladas herméticamente. Estas muestras se dejaron por una hora para que logren estabilizarse.

El Calorímetro diferencial de barrido (DSC) previo a la calibración, fue configurado considerando una rampa de calentamiento en atmósfera de nitrógeno, desde temperatura ambiente hasta 100°C a velocidad de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$. en una atmósfera inerte utilizando un flujo de nitrógeno de $20 \text{ mL}/\text{min}$.

Finalizado el proceso de análisis térmico, en cada tratamiento los datos se almacenaron en hoja Excel y se terminó con el software TRIOS de TA Instruments, la temperatura inicial, temperatura máxima de gelatinización, la temperatura final y entalpía de gelatinización para cada una de las suspensiones en estudio.

3.5.1.3. Prueba Estadística Inferencial

Los resultados del análisis térmico, fueron sometieron a pruebas de estadística Inferencial paramétrica, con la que se determinó la media y desviación estándar. asimismo, los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA), considerando para ello un Diseño Factorial 3(variedades de harina de tunta) x 3 (suspensiones) los análisis se efectuaron a un nivel de confianza de 95%. Adicionalmente los datos fueron sometidos a pruebas de comparaciones de medias de Tukey empleando el paquete estadístico SAS (Montgomery, 2004).

3.5.2. Propiedades Reológicas

3.5.2.1. Variables Analizadas

Para caracterizar las propiedades reológicas de harinas de tunta se consideraron, tanto variables independientes como dependientes o de respuesta, siendo estas las presentadas en la Tabla 4.

Tabla 4

Variables Implicadas en las Propiedades Reológicas

Variables Independientes	Variables Dependientes
<p>Barrido de frecuencia</p> <p>Variedad de harina de tunta (HV)</p> <ul style="list-style-type: none"> - HV1: Canchan - HV2: Serranita - HV3: Yungay <p>Contenido de agua (suspensión: Agua: solido)</p> <ul style="list-style-type: none"> - S1: 7 % (p/v) - S2: 9 % (p/v) 	<p>Rango de frecuencia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo de almacenamiento G' • Módulo de pérdida G''
<p>Curvas de flujo</p> <p>Variedad de harina de tunta (HV)</p> <ul style="list-style-type: none"> - HV1: Canchan - HV2: Serranita - HV3: Yungay <p>Contenido de agua (suspensión: Agua: solido)</p> <ul style="list-style-type: none"> - S1: 7 % (p/v) - S2: 9 % (p/v) 	<p>Comportamiento de curva de flujo y Viscosidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • n (Índice de comportamiento de flujo) • k (Coeficiente de consistencia)
<p>Barrido de temperatura</p> <p>Variedad de harina de tunta (HV)</p> <ul style="list-style-type: none"> - HV1: Canchan - HV2: Serranita - HV3: Yungay 	<p>Gelatinización</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de gelatinización (en función a al módulo de almacenamiento G' y módulo de pérdida G'')

3.5.2.2. Transiciones Térmicas de las Harinas de Tunta

Barrido de Frecuencia

Las muestras de harina de tunta (100 micrómetros) de las variedades HV1: Canchan; HV2: Serranita; y HV3: Yungay, fueron pesadas en balanza analítica (2.1g (7%) y 2.7g (9%)) y suspendidas en 27.9 ml y 27.38 ml de agua destilada, para homogenizar la suspensión, se depositó en un balón de vidrio de 50 ml y en un vortex fueron homogenizadas y trasvasadas a un vaso de precipitados, donde fueron gelificadas a 60°C en baño térmico, los geles obtenidos se depositaron en el plato inferior del reómetro, donde alcanzaron el equilibrio a 25°C, para proceder a analizar las muestras, de 0.1 a 40 Hz (0.628 – 249.944 rad/s).

Barrido de Temperatura

Las muestras de harina de tunta (grado de finura: 100 micrómetros) de las variedades HV1: Canchan; HV2: Serranita; y HV3: Yungay, fueron pesadas en una balanza analítica (20g) y suspendidas en 80 ml de agua destilada, para homogenizar la suspensión se depositó en un balón de vidrio de 50 ml y en un vortex fue homogenizado. Inmediatamente se procedió a depositar la muestra al plato inferior del reómetro. Para la prueba de barrido de temperatura el reómetro se programó considerando un rango de temperatura de 20°C a 75°C, a 2°C/min de velocidad de calentamiento y se consideró una tensión de corte de 2% dentro de la Región Viscoelástica Lineal (RVL), y frecuencia de 1Hz. La temperatura de gelatinización se lee en el intercepto del módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G'').

Curva de Fluidez y Viscosidad

Las muestras de harina de tunta (100 micrómetros) fueron pesadas en balanza analítica (2.1g (7%) y 2.7g (9%)) y suspendidas en 27.9 ml y 27.38 ml de agua destilada, para homogenizar la suspensión, se depositó en un balón de vidrio de 50 ml y en un vortex fueron homogenizadas y trasvasadas a un vaso de precipitados, donde fueron gelificadas a 60°C en baño térmico, los geles obtenidos se depositaron en el plato inferior del reómetro, donde alcanzaron el equilibrio a 25°C, necesario para el análisis de pruebas de cizalla, el

reómetro, se programó considerando 1000 a $0.1s^{-1}$. La curva de flujo resultante se ajustada al modelo de Herschel – Bulkley, Cross y Carreau. a partir de las curvas de ajuste se determinó el índice de comportamiento de flujo adimensional η ; y Esfuerzo de fluencia (Pa) σ_0 .

3.5.2.3. Prueba Estadística Inferencial

Los resultados del análisis reológico, fueron sometidos a pruebas de estadística Inferencial paramétrica, con la que se determinó la media y desviación estándar. asimismo, los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA), considerando para ello un Diseño Factorial 3(variedades de harina de tunta) x 2 (suspensiones) los análisis se efectuaron a un nivel de confianza de 95%. Adicionalmente los datos fueron sometidos a pruebas de comparaciones de medias de Tukey empleando el paquete estadístico SAS (Montgomery, 2004).

3.5.3. Propiedades Funcionales

3.5.3.1. Variables Analizadas

Para caracterizar las propiedades funcionales de harinas de tunta se consideraron, tanto variables independientes como dependientes o de respuesta, siendo estas las presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5

Variables implicadas en las Propiedades Funcionales

Variables Independientes	Variables Dependientes
Variedad de la harina de tunta (HV)	Propiedades funcionales
- HV1: Canchan	- Capacidad de hinchamiento
- HV2: Serranita	- Capacidad de absorción de agua
- HV3: Yungay	- Capacidad de absorción de aceite

3.5.3.2. Propiedades Funcionales

Capacidad de Hinchamiento (CH)

Se pesaron 1.5 g de harina de tunta (100 micrómetros) en una probeta graduada de 10 mL (V_i). depositada la muestra, en la probeta graduada, se agregó agua hasta enrazado en 10 ml, la muestra se dispersó con Vortex para dejarlo reposar en baño térmico a 18, 30, 40 y 50 °C, por 30 minutos, así lograr el hinchamiento completo V_f de las muestras de harina de tunta en sus diferentes variedades. Pasado este tiempo, se procedió a medir el volumen final ocupado por la harina mojada y sedimentada en el fondo del tubo de ensayo y con la ecuación 08 se procede a determinar la capacidad de hinchamiento.

$$CH = \left(\frac{V_f - V_i}{V_i} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 08})$$

Capacidad de Absorción de Agua (CAA)

Se pesaron (m_s) 1.5 g de harina (100 micrómetros) y se agregarán 8.5 mL de agua destilada, la muestra se dispersó con Vortex, y se dejaron reposar en baño térmico a 18, 30, 40 y 50 °C, por 30 minutos, las muestras se centrifugaron a 4750 rpm por 30 min. El volumen de sobrenadante se midió en una probeta graduada (10 mL) y se determinó su peso de la muestra o torta húmeda (m_h), con la ecuación 9 se calculó la capacidad de absorción de agua.

$$CAA = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 09})$$

Capacidad de Retención de Aceite (CRA)

Se pesaron 1.5 g de harina de tunta (P_h) en sus distintas variedades (100 micrómetros) y se agregaron aproximadamente 5 mL de aceite comercial, las muestras de harina y aceite fueron sometidos a agitación durante 30 min. posterior a ello, se centrifugó a 4750 rpm por 30 min. terminado el proceso

de centrifugado se separó el sobre nadante del sedimento (P_s) y con la ecuación 10 se calculó la capacidad de retención de aceite.

$$CRA = \left(\frac{P_s - P_h}{P_h} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 10})$$

3.5.3.3. Prueba Estadística Inferencial

Los resultados de la capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de agua y capacidad de absorción de aceite; se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) bajo un Diseño Completo al azar (D.C.A.) de un solo factor (Variedad de harina de tunta), los análisis se efectuaron a un nivel de confianza de 95%. Adicionalmente los datos fueron sometidos a pruebas de comparaciones de medias de Tukey empleando el paquete estadístico SAS (Montgomery, 2004).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades Térmicas

4.1.1. Temperatura Inicio de Gelatinización

La gelatinización de la suspensión de harina de tunta, permite que se forme una masa suave y elástica que se puede moldear y hornear, por tanto, el producto obtenido es una matriz compleja que determina las características finales del alimento. Los resultados obtenidos, indican que las harinas de tunta, variedades Canchan, Serranita y Yungay tienen una influencia significativa ($P < 0.05$) en la temperatura de inicio de gelatinización. Sin embargo, no se encontró ningún efecto significativo de los porcentajes de suspensión ni de la interacción entre Variedad y Suspensión en este aspecto. La alta bondad de ajuste del modelo, con un valor de R cuadrado de 0.931 y un R cuadrado corregida de 0.900, indica que el diseño estadístico utilizado es confiable y adecuado para el análisis de los datos. (Ver Anexo 1 para más detalles sobre los resultados del estudio).

En la Figura 4 se presenta el análisis de comparación de medias, para la influencia de la variedad en la temperatura inicio de gelatinización.

Conocer adecuadamente el punto exacto de la temperatura inicio de gelatinización permite caracterizarlos (Xu *et al.*, 2021) comprender cuál es el punto del proceso hidrotérmico en el cual los almidones presentes en la harina de tunta alcanza el límite máximo de hidratación y cambiar su estructura, formando una red tridimensional para lograr la consistencia deseada al alimento. Esto ocurre cuando la harina de tunta se mezcla con agua y se calienta a una temperatura específica (Avula *et al.*, 2009), y puede variar dependiendo de la calidad y composición de la harina (Kumoro *et al.*, 2012), así como de las condiciones de procesamiento (Xiaoyan *et al.*, 2023) para

lograr una textura y sabor adecuados para su consumo (Figura 5). Este proceso es de sumo interés para la preparación de varios alimentos a base de carbohidratos, como panes, pasteles, galletas y otros productos de panadería.

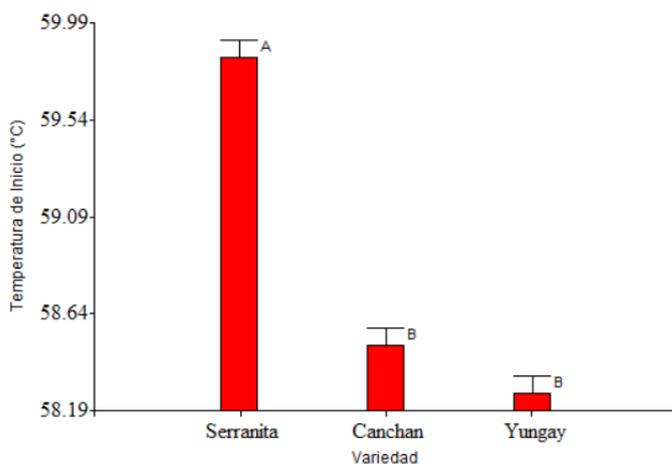


Figura 4. Variación de la Temperatura Inicio de Gelatinización

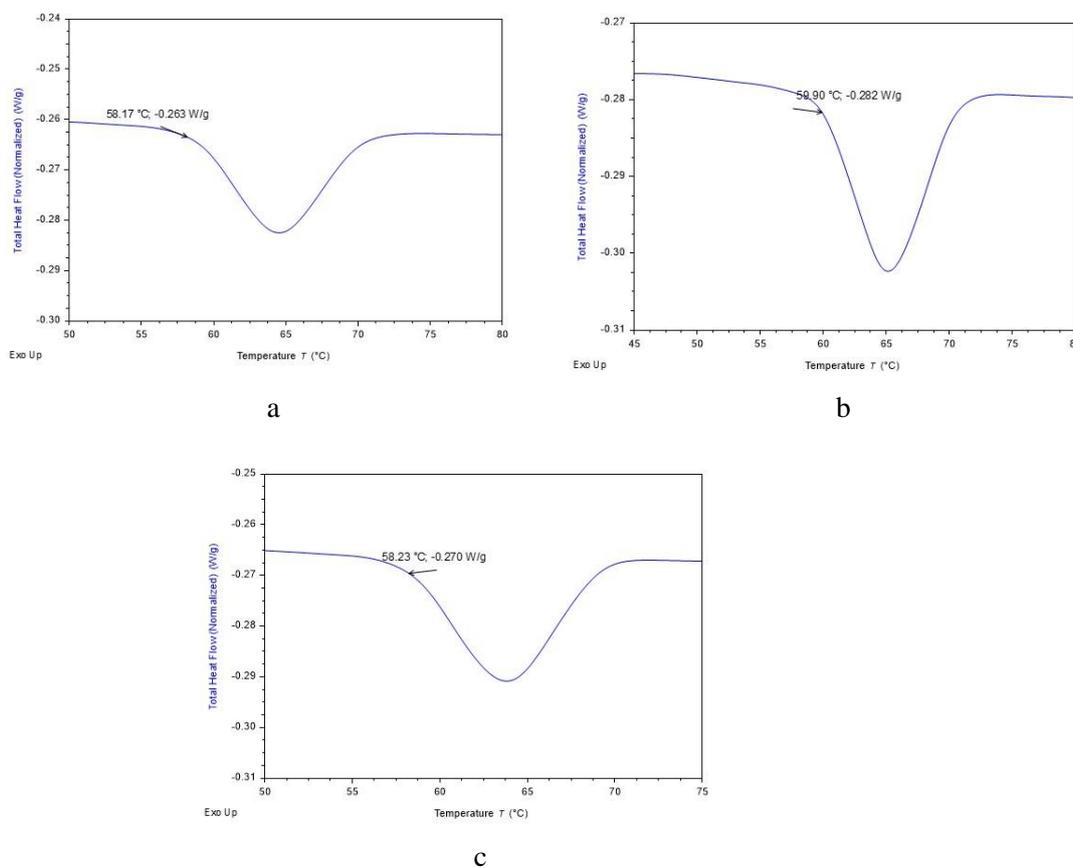


Figura 5. Variación de la Temperatura Inicio de Gelatinización según Variedades
Nota: (a) Harina de Tunta Canchan; (b) Harina de Tunta Serranita; (c) Harina de Tunta Yungay

Estos resultados demuestran (Tabla 6) que la harina de la variedad Serranita (59.83°C) tienen una mayor resistencia a la gelatinización, lo que significa que necesita temperatura más alta para que la harina gelatinice. Por otro lado, las variedades Canchan (58.49°C) y Yungay (58.26°C) tiene menor resistencia al proceso de gelatinización, ya que sus almidones gelatinizan a temperaturas más bajas.

Estos valores de temperatura pueden ser útiles para caracterizar el comportamiento de las variedades (Dereje *et al.*, 2020) poco estudiadas sin la necesidad de separar el almidón, lo cual es una técnica comúnmente utilizada en investigaciones de este tipo. Además, se han establecido límites de confianza al 95% para poder utilizar estos valores como referencia en futuras investigaciones (Tabla 6).

Tabla 6

Limites de Confianza para Temperatura Inicio de Gelatinización

Variedad	Ti	σ	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Serranita	59.831 ^a	0.17	59.661	60.001
Canchan	58.490 ^b	0.37	58.120	58.860
Yungay	58.269 ^b	0.18	58.089	58.449

De los resultados, obtenidos y expuesto, la diferenciación en el comportamiento de la temperatura de inicio de gelatinización entre las variedades estudiadas puede atribuirse al tamaño de los gránulos de almidón (Dereje *et al.*, 2020) y su composición (Wang Xu *et al.*, 2022) presentes en cada variedad. Los gránulos más pequeños tienen una mayor velocidad de cambio de estructura y tienden a calentarse más rápido, lo que lleva al inicio de la gelatinización y la formación de estructuras amorfas en esta etapa (Pineda *et al.*, 2010).

4.1.2. Temperatura Pico de Gelatinización

La Figura 6 muestra este incremento de temperatura durante el proceso de calentamiento de la suspensión de harina de tunta y agua. A medida que se aplica

calor a la mezcla, y es fundamental para lograr una adecuada desestructuración de las moléculas y alcanzar a formar una pasta viscosa con particulares características de calidad y estabilidad deseada en la suspensión.

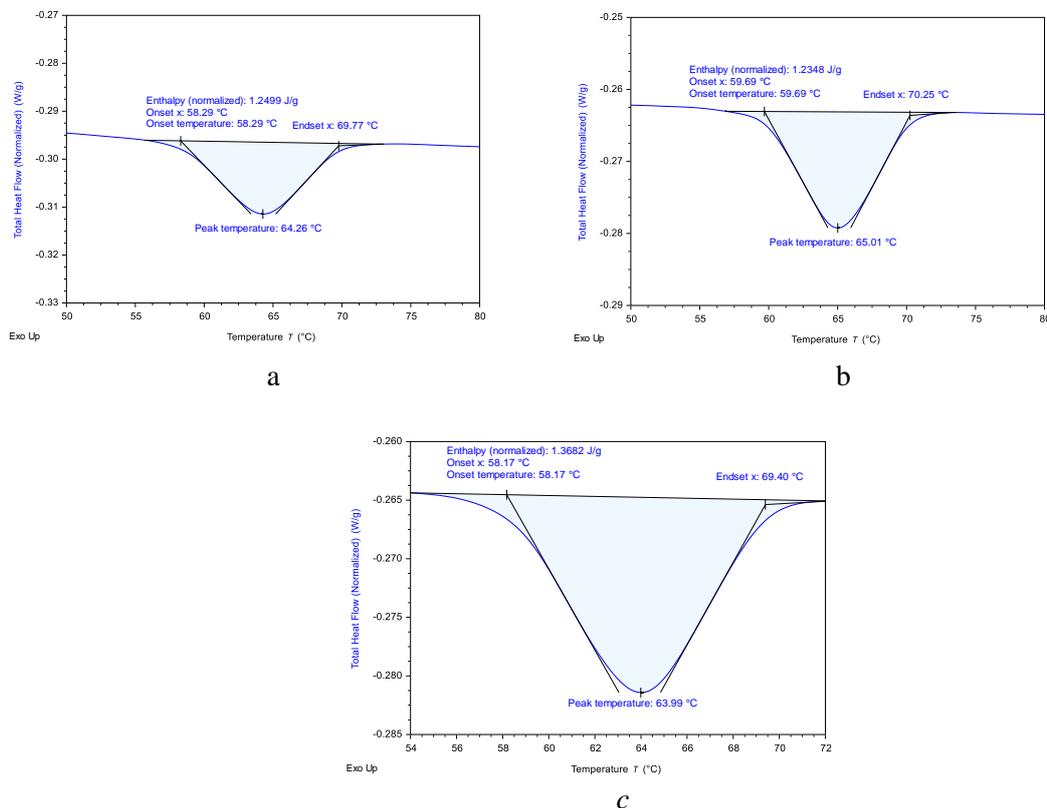


Figura 6. Variación de la Temperatura de Gelatinización según Variedades
Nota: (a) Harina de Tunta Canchan; (b) Harina de Tunta Serranita; (c) Harina de Tunta Yungay

La temperatura de pico de gelatinización es una medida utilizada en la industria alimentaria para determinar el punto en el cual ocurre la máxima expansión y ruptura de las zonas amorfas presentes en las harinas de tunta, para alcanzar la gelatinización y permite también conocer y determinar el grado de debilitamiento estructural (Huayin *et al.*, 2017). Este proceso de calentamiento es esencial para mejorar las propiedades culinarias de las suspensiones de harina de tunta (Mosquera *et al.*, 2015). A medida que la harina rehidratada acumula mayor energía en forma de calor, se producen rupturas en las estructuras moleculares presentes en la harina debido a la estructura de sus proteínas, azúcares, ácidos (Han-kun *et al.*, 2021). Esto a su vez provoca un aumento de la temperatura de la suspensión, permite obtener texturas más suaves y consistentes, mejorar la retención de agua, espesar y estabilizar los productos, así como mejorar la digestibilidad de los alimentos preparados a base de

harina de tunta, tras la pérdida de las dobles hélices de amilosa tras el proceso endotérmico de gelatinización.

Los resultados de las pruebas térmicas con DSC han demostrado que la variedad de procedencia de la harina de tunta tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en la gelatinización de las suspensiones de harina: agua. Esto significa que las diferentes variedades de harina de tunta tienen diferentes propiedades de gelatinización (Zhang *et al.*, 2018). Por otro lado, no se encontró ninguna influencia significativa ($p > 0.05$) de las suspensiones en la gelatinización. Esto indica que la cantidad de agua en la suspensión no afectó la gelatinización de la harina de tunta. Además, no se observó ninguna influencia significativa ($p > 0.05$) de la variedad combinada con la suspensión en la gelatinización. Esto significa que la combinación de diferentes variedades de harina de tunta con diferentes cantidades de agua no afectaron la gelatinización, hallazgos que son de interés al diseñar procesos (Xu *et al.*, 2021). El análisis de varianza presentado en el Anexo 1 proporcionó información complementaria de los resultados obtenidos. En ella se observa que el modelo utilizado es confiable, con un valor de R cuadrado de 0,96. Esto indica que el modelo explica el 96% de la variabilidad en los datos, por tanto, hay alta precisión en la determinación de la gelatinización de las suspensiones de harina de tunta.

En la Figura 7, se presenta el análisis de comparación de medias, para la influencia de la variedad en la temperatura de gelatinización.

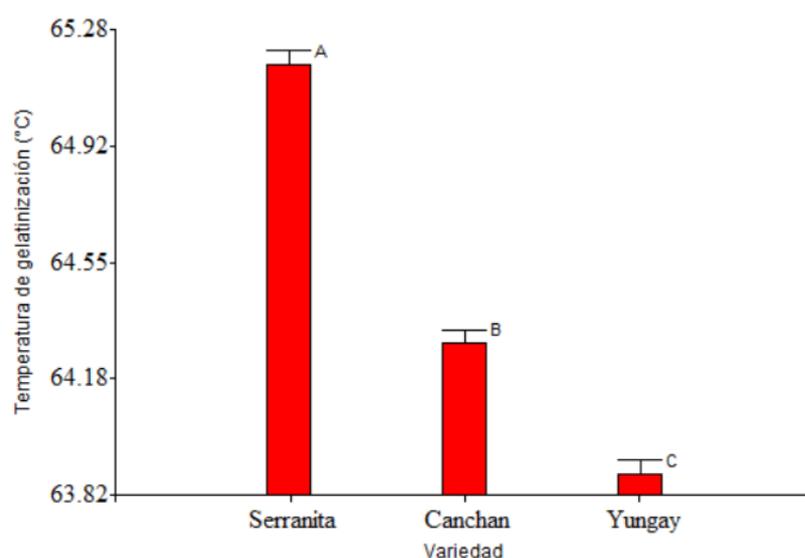


Figura 7. Variación de la Temperatura de Gelatinización según Variedades

En la Figura 7 se observa que notoriamente la Variedad Serranita presenta marcada diferencia con relación a la temperatura de gelatinización que presentan las variedades Canchan y Yungay. La variedad Serranita logra alcanzar una temperatura pico de gelatinización a 65.17°C, seguido de las variedades Canchan (64.29°C) y Yungay (63.88°C). Es importante destacar que las diferencias en las temperaturas de gelatinización (Tabla 7) entre las variedades son pequeñas pero significativas en términos de aplicaciones gastronómicas y propiedades reológicas (Buzera et al., 2023 y Martínez *et al.*, 2019). Estas diferencias pueden influir en las características y propiedades de los geles o productos obtenidos a partir de cada variedad (Zhu & He, 2020); Además, es importante considerar otros factores como la composición intrínseca de cada variedad y las propiedades funcionales de los ingredientes utilizados en el proceso de preparación (Julianti *et al.*, 2017), como la proporción de harina y agua (Xu *et al.*, 2017). Se han establecidos límites de confianza al 95% límites que se encuentran dentro de los valore determinados para gelatinizar harina de papa (Kun Zhu *et al.*, 2021).

Estos límites proporcionan un rango dentro del cual se espera que se encuentren las temperaturas de gelatinización en futuras aplicaciones o investigaciones (Tabla 7).

Tabla 7

Límites de Confianza para Temperatura de Gelatinización

Variedad	Tg	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Serranita	65.172 ^a	0.043	65.082	65.262
Canchan	64.294 ^b	0.043	64.205	64.384
Yungay	63.882 ^b	0.043	63.792	63.972

4.1.3. Temperatura Final de Gelatinización

La temperatura final es la temperatura a la que se encuentra la muestra al término del proceso, es decir después de haberse enfriado y estabilizado. De los resultados obtenidos, afirmamos que el 90% de la variabilidad ($R^2=0,90$) en las suspensiones (Figura 8) puede ser explicada por el efecto de la variedad. Además, el valor $p<0.05$ indica que esta influencia es altamente significativa ($p<0.05$). lo que significa que existe una relación fuerte y confiable entre la variedad de harina de tunta utilizada y las suspensiones obtenidas. Por lo que, la adecuada elección de la variedad (Harina de tunta) tuvo un impacto significativo en la calidad de las suspensiones. Toda esta información se encuentra respaldada por el análisis de varianza presentado en el Anexo 1, lo que asegura la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. En la Figura 8, se presenta el análisis de comparación de medias, para la influencia de la variedad en la temperatura final de gelatinización.

La temperatura final de gelatinización, puede ser igual a la temperatura inicial si no ocurren transiciones, en esta etapa las suspensiones de harina de tunta pueden solidificar o en ocasiones retrogradar (Cuq *et al.*, 2003), presentar cambios en la textura, cambios en la apariencia, y las propiedades físicas (Huayin *et al.*, 2017), por ello es importante tener en cuenta que estos cambios son específicos por el tipo de producto y varían según los componentes y el método de preparación empleado (Zhang *et al.*, 2020).

Observando los valores de temperatura final de gelatinización, no superaron los rangos determinados por (Huayin *et al.*, 2017); menos los valores determinados por (Velásquez *et al.*, 2017) esto implica que una temperatura final de gelatinización inadecuada (por debajo de 69°C) puede afectar negativamente las preparaciones de harina de tunta, resultando en texturas crudas o poco pegajosas (las dobles hélices de amilopectina se rompen y la amilosa se lixiviana al cocinar) en el caso de temperaturas bajas, y en texturas duras o secas o demasiado pegajosas, en el caso de temperaturas altas (por encima de los 71°C), es por ello, para obtener mejores resultados, es importante encontrar el equilibrio adecuado en la temperatura de gelatinización y formar una matriz estable al utilizar harina de tunta en preparaciones culinarias.

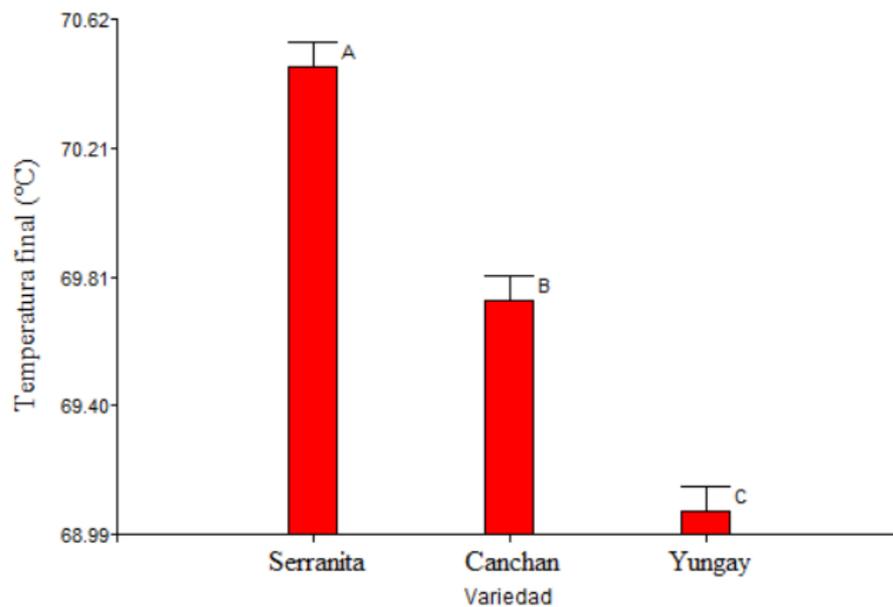


Figura 8. Temperatura Final de Gelatinización por Variedades

Las suspensiones de harina de la Variedad Serranita (70.50°C) presentaron una influencia significativa en la temperatura final de gelatinización (Figura 8) en comparación con las harinas de las variedades Canchan (69.73°C) y Yungay (69.10°C). Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos valores varían dentro de los límites de confianza (95%) establecidos; esto significa que existe un margen de error alrededor de los valores reportados. Es así que, para la variedad Serranita, el valor reportado es de 70.50°C, pero es posible que el valor real esté dentro de un intervalo que va desde un poco menos de 70.50°C hasta un poco más de 70.50°C (Tabla 8). De manera similar, los valores reportados para las variedades Canchan (69.73°C) y Yungay (69.10°C) también pueden variar dentro de sus respectivos límites de confianza del 95%. Estos intervalos de confianza se establecen para tener en cuenta la variabilidad inherente al proceso de gelatinización y asegurar que los valores reportados sean representativos de la temperatura final promedio de gelatinización para cada variedad.

Tabla 8

Limites de Confianza para Temperatura Final de Gelatinización

Variedad	Tf	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Serranita	70.469 ^a	0.078	70.305	70.633
Canchan	69.728 ^b	0.078	69.563	69.892
Yungay	69.064 ^c	0.078	68.900	69.229

4.1.4. Temperatura Transición Vítrea

Los resultados obtenidos, indican que la variedad de donde provienen las harinas de tunta influyó significativamente ($p < 0.05$) en la temperatura de transición vítrea de las suspensiones. Sin embargo, la suspensión en sí misma y su interacción con la variedad no tuvieron ningún efecto significativo (análisis de varianza presentado, Anexo 1).

Además, el valor de R cuadrado de 0,92 sugiere que el modelo utilizado tiene un buen ajuste y explica el 92% de la variación en los resultados. Por lo tanto, se afirma que los resultados obtenidos son confiables y son considerados como representativos de la relación entre la variedad de la harina de tunta y la temperatura de transición vítrea de las suspensiones.

En la Figura 9 se presenta el análisis de comparación de medias, para la influencia de la variedad en la temperatura de transición vítrea de gelatinización.

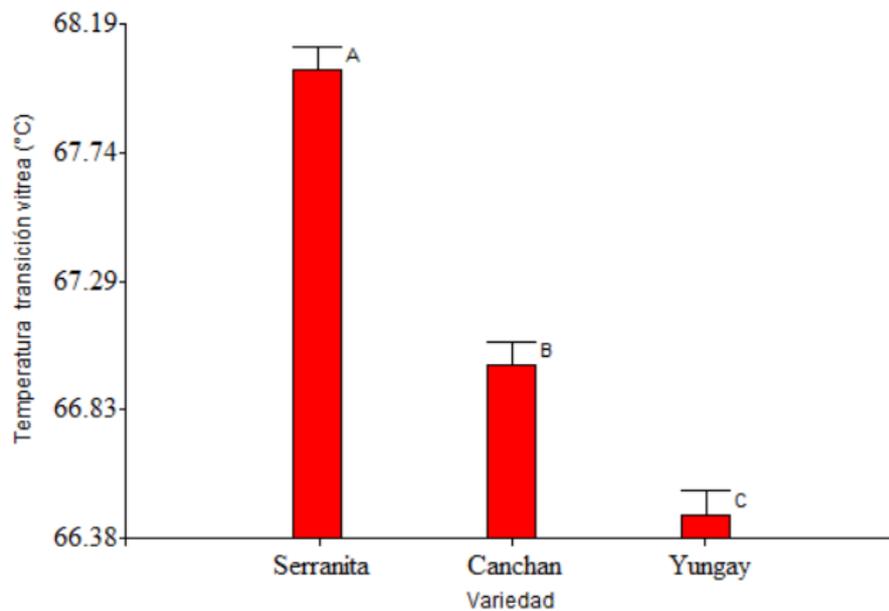


Figura 9. Temperatura de Transición Vítrea según Variedad de Harina de Tunta

La Figura 9, permite visualizar que la variedad Serranita (68.01°C) tuvo una mayor temperatura de transición vítrea en comparación con las variedades Canchan (66.99°C) y Yungay (66.50°C). Esto se debe a factores, como la composición química y la estructura molecular de cada variedad. Cabe destacar que los valores de temperatura de transición vítrea obtenidos para cada variedad pueden variar dentro de los límites de confianza del 95% establecidos en la Tabla 9. Esto significa que existe un margen de error en las mediciones y los valores reales podrían estar dentro de ese rango de confianza, conocer esta información es de utilidad para sus aplicaciones en los procesos de cambio donde las matrices buscan y pasar de ser líquidos, gomosos o sólidos (Roos, 2003), por tanto, se requerirá diferentes entalpias para lograr los cambios de fase (Peña, 2017) por tanto, respecto al estudio efectuado, podemos afirmar que al ser alta la temperatura de transición vítrea de la harina de la variedad Serranita, manifestaron cambios de estado rápidos muy posiblemente estas sean debidas a su alta capacidad de absorción de agua (Gray & Bemiller, 2003), que le permitieron lograr una adecuada gelatinización producida por la adecuada dispersión de las moléculas de amilosa y amilopectina, que finalmente provocaron cambios estructurales diferenciados con repercusiones en la viscosidad. además los valores determinados en el estudio, son de utilidad para lograr controlar y evitar procesos de gelificación inadecuados, debido a que al observar una transición vítrea

en las harinas es posible el control de los cambios de estado rígido a un estado más flexible y viscoso con fase amorfa (Ramesh & Sngh, 2009) para garantizar el logro del diseño adecuado de matrices y/o producto estables (Zhu & He, 2020).

Tabla 9

Límites de Confianza para Temperatura de Transición Vítrea

Variedad	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Serranita	68.029 ^a	0.083	67.855	68.203
Canchan	66.990 ^b	0.083	66.816	67.164
Yungay	66.460 ^c	0.083	66.286	66.634

Por lo manifestado, podemos afirmar que el conocimiento del manejo de un proceso implica estimar con precisión las transiciones vítreas de las harinas de tunta de forma diferenciada según la variedad, debido a que contribuye en su proceso de gelatinización (Avula *et al.*, 2009), que indica el punto en el cual las suspensiones de harina de tunta alcanzan un estado óptimo de gelatinización (Mosquera *et al.*, 2015). Una temperatura demasiado baja de transición vítrea en las suspensiones de harina de tunta, puede resultar en una gelatinización incompleta, mientras que una temperatura demasiado alta puede sobre-gelatinizar las suspensiones de harina de tunta y alterar su textura y propiedades; por ello conocer estos valores de transición vítrea, permite a priori estimar la formación de una pasta viscosa y espesa (Xu *et al.*, 2021), lo que contribuye en mejorar la textura y consistencia requeridas en diversas preparaciones culinarias cuando se haga uso de harina de tunta, además este conocimiento posiblemente permita desarrollar o lograr características definidas en productos procesados a base de harina de tunta, sin menos preciar la procedencia de la harina de tunta al ser un producto multicomponentes.

4.1.5. Entalpia del Proceso Gelatinización

Según los resultados obtenidos en la investigación, se observó que la entalpia del proceso de gelatinización está fuertemente relacionada con el porcentaje de harina en la suspensión (Figura 10). El análisis de datos reveló que el modelo utilizado explica aproximadamente el 98% de la variabilidad observada (Anexo 1). Los resultados también mostraron que el valor de $p < 0,05$, lo cual indica que efectivamente existe diferencias estadísticas significativas en la entalpia de gelatinización de las suspensiones de harina de tunta en sus tres variedades.

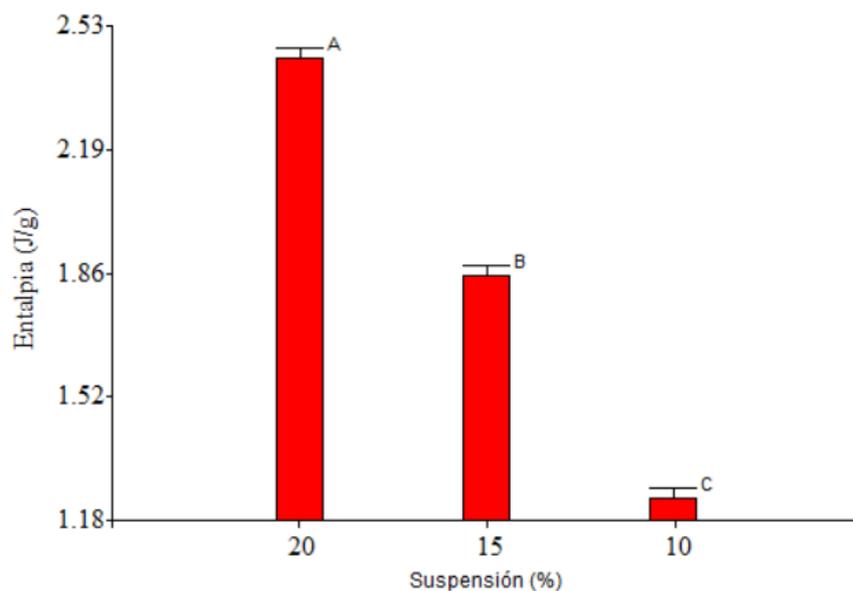


Figura 10. Entalpia para la Gelatinización según la Suspensión

La Tabla 10 indican que a medida que incrementa la concentración de harina en la suspensión, fue necesario mayor energía (2.44 J/g-1) para la gelatinización, para la suspensión al 20%, en comparación con las suspensiones de 15% (1.85 J/g-1) y 10% (1.24 J/g-1); estos valores, posiblemente varíen dentro de sus límites de confianza del 95% sin embargo los valores obtenidos están por debajo de los encontrados por Peña (2017), por tanto la harina de tunta, requiere menor energía para gelatinizar a diferencia de las papas amargas las que en promedio requieres de 14.3 J/g. por ello los geles formados de harina de tunta son menos resistentes al calor y por tanto, manifiestan diferentes propiedades termoplásticas (Xu *et al.*, 2021).

Tabla 10

Limites de Confianza Entalpía de Gelatinización (ΔH) en Suspensiones

Suspensión (%)	ΔH (J/g-1)	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
20	2.443 ^a	0.027	2.386	2.500
15	1.850 ^b	0.027	1.793	1.907
10	1.244 ^c	0.027	1.187	1.301

En el caso específico de la harina de tunta variedad Yungay, Cancha y Serranita con una concentración del 20%, fue necesario mayor cantidad de energía (Figura 11), a diferencia de las variedades Serranita y Canchan en concentraciones de 15% y 10%. El estudio demuestra que para lograr una transición vítrea que modifique las estructuras de la nueva matriz formada a mayores concentraciones, se requiere energía diferenciada para que las partículas de proteínas, azúcares, ácidos, y otros elementos presentes en la harina de tunta se desnaturalicen y formen una matriz gelatinizada y logren mostrar sus propiedades espesantes (Angulo-Olais *et al.*, 2018).

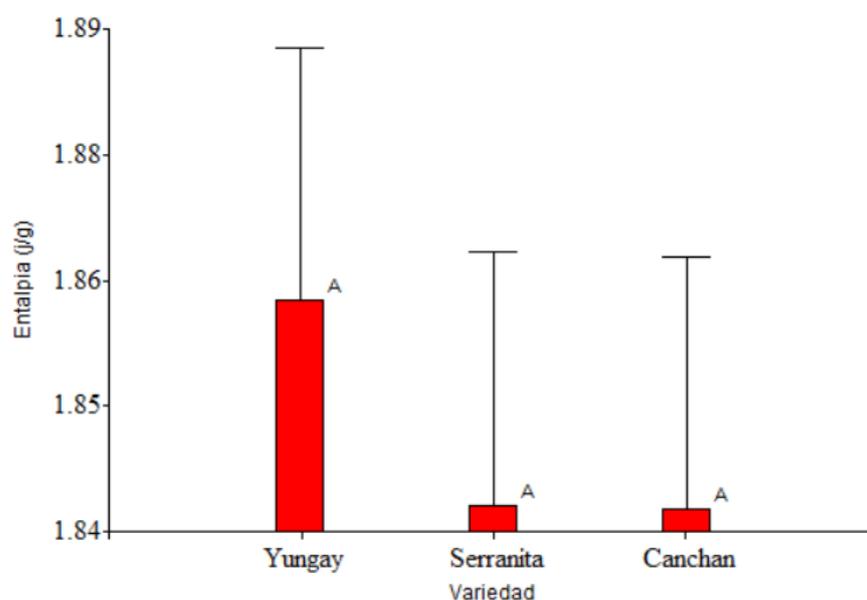


Figura 11: Entalpía para la Gelatinización según la Variedad de Harina de Tunta

Sin embargo, el hecho de que la variedad de procedencia de la harina de tunta no tuvo influencia en la entalpía de gelatinización, nos da a entender que si empleamos la misma cantidad para preparar una suspensión, se requerirá la misma cantidad de calor para que las proteínas, azúcares y otros elementos presentes en la harina de tunta se desnaturalicen y formen una matriz gelatinizada permitiendo que la harina se convierta en una masa maleable (Zhang *et al.*, 2020). El conocimiento de los valores de la entalpía de gelatinización determinados: son importantes para la industria alimentaria, ya que tiene un impacto en las propiedades y características de los productos elaborados a base de harina de tunta, y pueden mejorar en especial la textura (Huayin *et al.*, 2017), la viscosidad (Buzera *et al.*, 2023) y la capacidad de retención de agua si se conoce la energía necesaria para tales fines; también puede influir en mejorar la digestibilidad y la estabilidad de los geles formados a partir de harina de tunta. Por lo tanto, es ineludible comprender y controlar la entalpía de gelatinización para optimizar los procesos de producción y garantizar la calidad de los productos finales, esto en razón de que la entalpía del proceso de gelatinización de las suspensiones de harina de tunta determinados al estar por debajo de los valores reportados por (Martínez *et al.*, 2019 y Huayin *et al.*, 2017), y también al fluctuar entre los valores determinados por (Velásquez *et al.*, 2017), hacen notar que no todos los productos requieren similares entalpías para gelatinizar, cuando la concentración de la suspensión cambia (Dereje *et al.*, 2020 y Mosquera *et al.*, 2015) además es necesario considerar el control de otros factores asociados al proceso de gelatinización como la temperatura de la suspensión inicial (Han-kun *et al.*, 2021) el tiempo de cocción y la presencia de otros ingredientes o aditivos en la suspensión (Xu *et al.*, 2021).

4.2. Propiedades Reológicas

4.2.1. Barrido de Frecuencia

Las suspensiones de harina de tunta, presentaron propiedades viscoelásticas, lo que significa que se comportan, tanto como un líquido o como un sólido dependiendo de la fuerza aplicada sobre ella. El barrido de frecuencia ayudó a comprender la deformación que las suspensiones de harina de tunta sufren en un determinado rango de frecuencia (generalmente en un rango específico). Estas mediciones pueden incluir la viscosidad, el módulo de almacenamiento (que representa las propiedades

elásticas) y el módulo de pérdida (que representa las propiedades viscosas) de la harina de tunta.

En las Figuras 12, 13 y 14 se presentan los módulos de almacenamiento G' y de pérdida G'' en función al rango de frecuencia (0 a 100 rad/s) para los geles de las suspensiones (7% y 9%) de harina de tunta en sus variedades, Canchan, Serranita y Yungay.

Las suspensiones de harina de tunta, en las variedades Canchan al 7% y 9% (Figura 11), Yungay al 7% y 9% (Figura 13), y Serranita al 9% (Figura 12b), presentaron una consistencia elástica, lo que significa que tienden a recuperar su forma original después de ser deformadas. Además, los geles formados por estas suspensiones mostraron una resistencia a fluir, lo que significa que son menos viscosos y no fluyen fácilmente. Esto se debe a que el módulo de almacenamiento G' (que mide la capacidad del material para almacenar y recuperar energía) es mayor que el módulo de pérdida G'' (que mide la capacidad del material para disipar energía) en el rango de frecuencias observado (0 a 100 rad/s).

Las suspensiones de harina de tunta, estudiadas, presenta predominio de $G' > G''$, característico de un material viscoso (Shen *et al.*, 2020) lo que resulta en una mayor pérdida de energía (Wang *et al.*, 2016) debido a que las partículas que componen las harinas de tunta no tienen suficiente tiempo para moverse y deformarse, lo que resulta en un comportamiento más elástico, posiblemente este comportamiento se deba a la presencia y diferencia de algunos componentes que tenga la harina de tunta (proteínas, almidones, etc), en sus distintas variedades (Zhu & He, 2020), además

los cambios composicionales derivados del proceso de congelado descongelado, lavado propios del proceso tradicional de obtención de tunta hayan modificado sustancialmente las características de los almidones predominantes en las variedades estudiadas (Zhou *et al.*, 2021) y esto ocasiona que las células de los almidones presentes en la harina de tunta no gelatinicen completamente y los geles serían muy débiles.

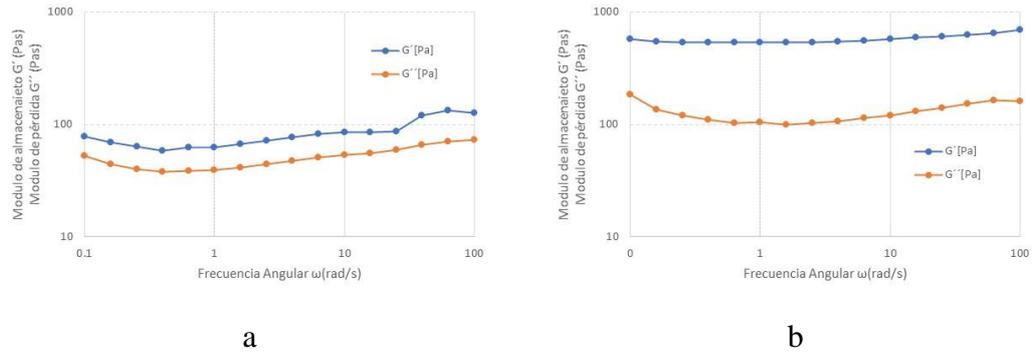


Figura 12. Curvas de Barrido de Frecuencia Cachan
a) suspensión 7%; b) suspensión 9%

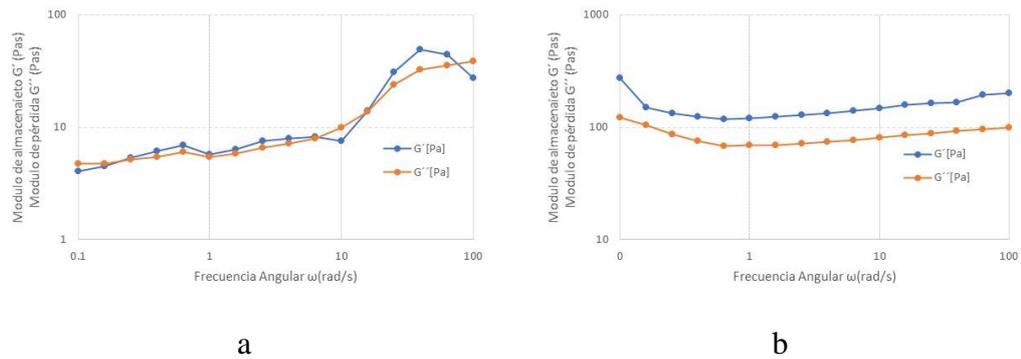


Figura 13. Curvas de Barrido de Frecuencia Serranita
a) suspensión 7%; b) suspensión 9%

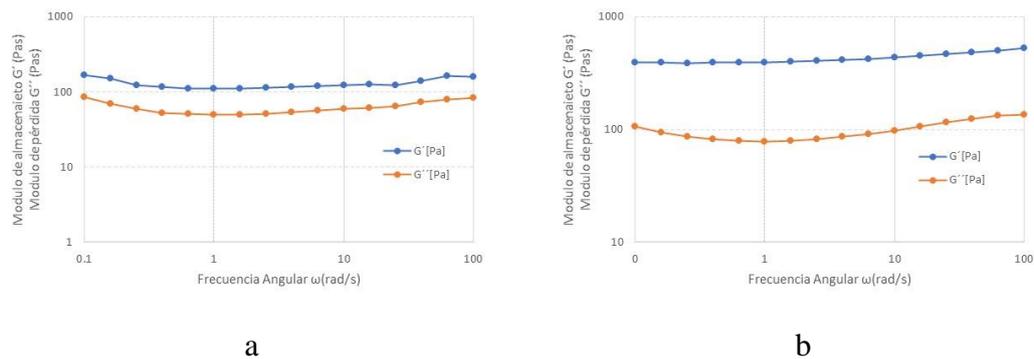


Figura 14. Curvas de Barrido de Frecuencia Yungay
a) suspensión 7%; b) suspensión 9%

Sin embargo, la Figura 12a muestra que la suspensión de harina de tunta variedad Serranita al 7%, durante el barrido de frecuencia de 0 a 3 rad/s, se observa un entrecruzamiento entre G' y G'' . En una primera instancia, G'' es mayor que G' , lo que indica que la suspensión presentó un comportamiento viscoso de un líquido predominante con una estructura desordenada y la falta de resistencia al flujo (Sanchez-González *et al.*, 2019). A partir de los 9 rad/s, el material suspendido

comenzó a comportarse de manera gomosa, es decir, tuvo propiedades tanto elásticas como viscosas (Singh *et al.*, 2003) con mayor rigidez y resistencia al flujo que posiblemente depende de la composición del material (Chun & Yoo, 2006). A medida que la frecuencia angular sigue en aumentando, la resistencia a fluir del gel disminuyó y se volvió más fluido. Sin embargo, a altas frecuencias, alrededor de 90 rad/s, el material tuvo un comportamiento más elástico y su capacidad de fluir disminuyó e incrementó la capacidad de almacenamiento de energía. Según la Figura 12a (suspensión de harina de tunta serranita) la suspensión al 7% posiblemente solidifique y definitivamente no fluyan.

4.2.2. Barrido de Temperatura

En el rango de temperatura de 20 °C a 62.5 °C, el módulo de almacenamiento $G' < G''$ (comportamiento más viscoso) y en el rango de temperatura de 64 °C a 80 °C el módulo de almacenamiento $G' > G''$ (comportamiento más elástico), gráficamente se observa que la variedad de la tunta afectó de manera significativa ($p < 0.05$) en la temperatura a la cual la gelatinización ocurrió.

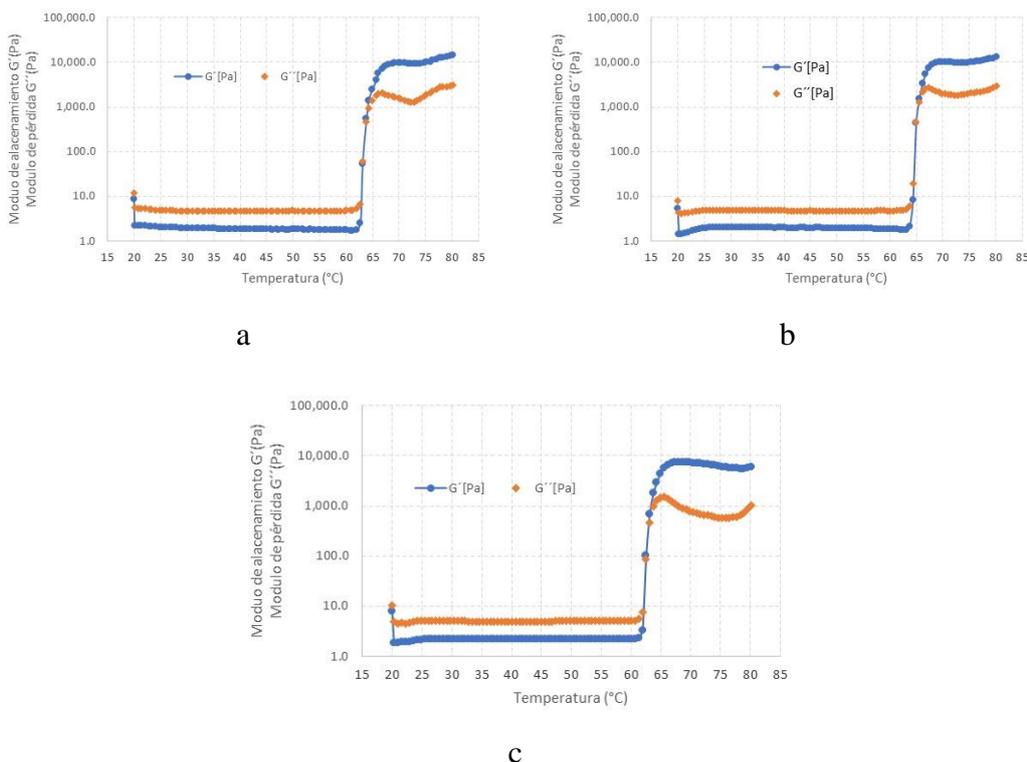


Figura 15. Curvas de Barrido de Temperatura
a) Canchan; b) Serranita; c) Yungay

La variedad Canchan tuvo una Temperatura de gelatinización (Tg) promedio de 64.23 ± 0.2 °C, la variedad Serranita una Tg promedio de 65.56 ± 0.01 °C, y la variedad Yungay una Tg promedio de 63.13 ± 0.01 °C (Figura 15). Esto indica que la variedad Serranita mostró la temperatura de gelatinización más alta, seguida por la variedad Canchan y luego la variedad Yungay (Figura 16). Estas diferencias significativas ($p < 0.05$) en la Tg pueden ser atribuidas a las características químicas (proteína, azúcares, ácidos, fibra) y físicas (Tamaño) de cada variedad de tunta.

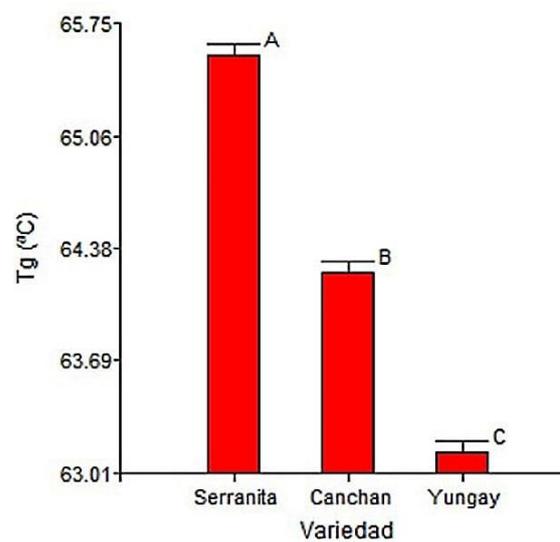


Figura 16. Temperatura de Gelatinización según Variedad de Harina de Tunta

La proporción de amilosa y amilopectina en las harinas de tunta, influyó en sus propiedades de gelatinización (Jha *et al.*, 2020), así como en los puntos de equilibrio ($G' = G''$) y la desestructuración eficaz de la harina de tunta (Burroughs *et al.*, 2023). Esto afectar en las propiedades de los productos finales que contienen harina, los rangos de temperatura (Angulo-Olais *et al.*, 2018) pueden afectar en la textura y la viscosidad, puesto que, según los valores obtenidos podemos confirmar que las harinas están en un rango de amilosa:amilopectina de 28:72 (Jha *et al.*, 2020), que también son variables a considerar para un determinado proceso, que pueden influir en la calidad esperada (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2005).

Los resultados obtenidos, mediante el barrido de temperatura para el estudio de reología de suspensiones de harina de tunta, permitieron evidenciar que a temperaturas más altas, es posible que las partículas de harina de tunta se hidraten más rápidamente y formen redes más fuertes, lo que resultara en un aumento de la viscosidad de la suspensión. Conocer cómo varía la viscosidad en función de la temperatura y tensión aplicada que ocasionan gradientes de deformación frente a los cambios de fase (Akhila *et al.*, 2022) es fundamental para determinar las condiciones óptimas de procesamiento y almacenamiento (Jha *et al.*, 2020) de las suspensiones de harina de tunta, así como conocer cómo puede afectar la estructura y las propiedades de la suspensión y optimizar su procesamiento y aplicación en la industria alimentaria, además permite en el futuro lograr trabajos más eficientes al efectuar estudios de marketing sensorial como estrategia de negocios.

4.2.3. Curvas de Flujo y Viscosidad Experimental

En la Tabla 11 se presentan los parámetros adimensionales (n y k) de las suspensiones al 7% y 9%. Los índices de comportamiento (η) determinados fluctuaron entre 0.369 (menor valor) y 0.962 (mayor valor), que representa el alejamiento del comportamiento de las suspensiones tratadas del flujo newtoniano. Considerando que los valores obtenidos al estar próximos a cero, el comportamiento que presentan es de tipo no newtoniano. Estos parámetros son de utilidad teórica y práctica en cálculos de ingeniería y diseño de matrices alimentarias.

Un gel creado de una suspensión específica debe tener características claras en términos de flujo (n) y consistencia (k). Por lo tanto, no debe ser poco extensible (muy viscoso) ni demasiado extensible (muy fluido) para evitar problemas estructurales indeseables al aplicarlo en las preparaciones. Cada producto hecho con harina de tunta debe tener cierta estabilidad y flujo, por lo que estos resultados permiten conocer estos índices que definen su comportamiento en cumplimiento de las especificaciones establecidas para productos alimenticios.

Sin embargo, las suspensiones de harina de tunta (7 % y 9 %) de las variedades Canchan y Yungay (Figuras 17b, 18b y Figura 22b) presentaron variación en su viscosidad en función del esfuerzo aplicado, lo que indica un comportamiento Bingham Pseudoplástico. El aumento del esfuerzo de corte provoca una

disminución en la viscosidad de las suspensiones, lo que hace que las suspensiones de harina se tornen más fluidas y menos viscosas con un mayor esfuerzo.

Tabla 11

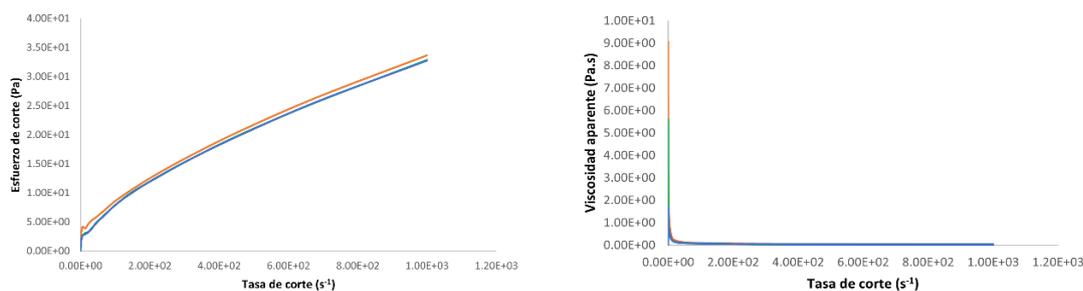
Ajuste de Modelos para Curva de Flujo

Variiedad de harina	Modelo	Constantes	S:7%	S:9%	
Canchan	Herschel - Bulkley	y0	1.1408	16.5618	
		K	0.3486	5.4862	
		n	0.6536	0.466	
	Cross	A1	1.149	18.971	
		A2	4442.067	391.754	
		t	0	0	
		m	0.657	0.606	
		Carreau	A1	1.149	19.37
	Serranita	Herschel - Bulkley	A2	4580.614	2677.375
			t	0	0.003
			a	0.657	0.65
		Herschel - Bulkley	n	0.369	0.962
y0			0	0	
K			1.576	1.289	
n			0.523	0.548	
Cross			A1	0	0
			A2	417.992	4067.611
			t	0	0
Carreau			m	0.581	0.57
			A1	0	0
	A2	429.243	4243.591		
	t	0	0		
	a	0.581	0.57		
	n	0.462	0.461		
Yungay	Herschel - Bulkley	y0	0	14.763	
		K	3.293	7.851	
		n	0.451	0.437	
	Cross	A1	0	17.847	
		A2	398.108	473.434	
		t	0	0	
		m	0.52	0.561	
		Carreau	A1	0	18.156
	Carreau	A2	405.856	1402.185	
		t	0	0.002	
		a	0.52	0.582	
		n	0.512	0.911	

Nota: constantes obtenidas a partir de las curvas experimentales

De manera similar, las suspensiones de variedades Serranita al 7% y 9% (Figuras 19b y 20b) y la variedad Yungay al 7% (Figura 21b) mostraron un comportamiento pseudoplástico,

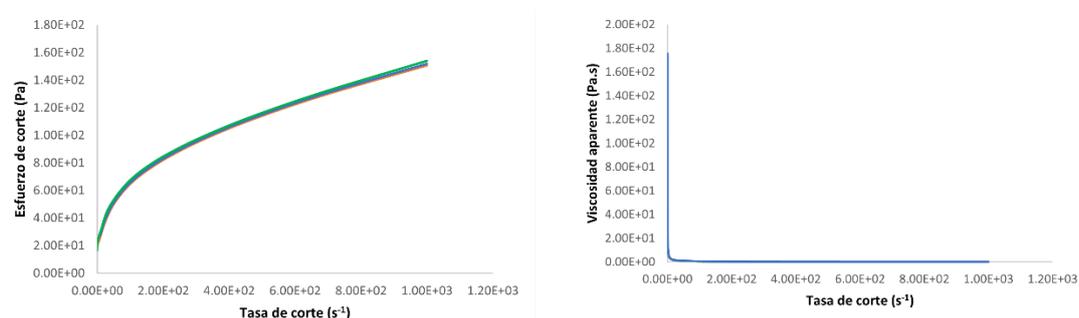
Desde el punto de vista culinario, estos resultados obtenidos a partir de las suspensiones de harina de tunta Serranita, hacen notar que el gel formado es más estable y mantiene su forma y estructura durante el proceso como refleja los coeficientes n y k (Lewandowicz *et al.*, 2022). Esto es especialmente importante en preparaciones como postres, salsas o platos que requieran cierta consistencia definida según su naturaleza.



(a)

(b)

Figura 17. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Canchan (7%)
a: Curva de flujo; b: Curva de viscosidad



(a)

(b)

Figura 18. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Canchan (9%)
a: Curva de flujo; b: Curva de viscosidad

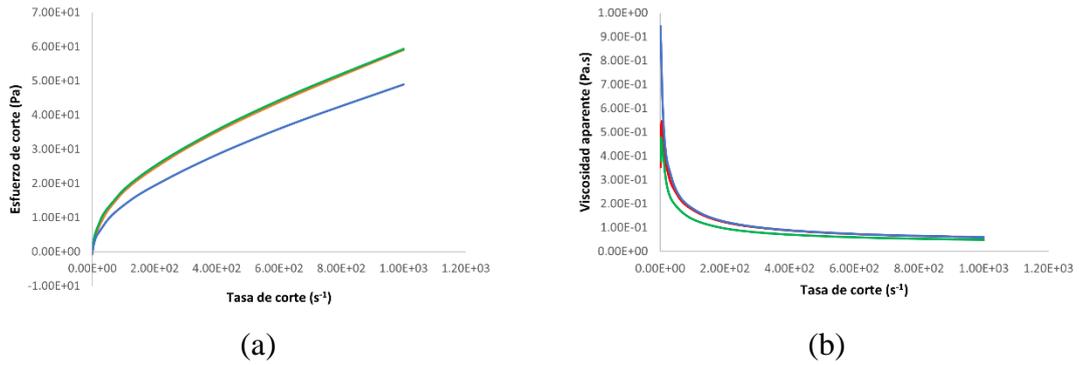


Figura 19. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Serranita (7%)
a: Curva de flujo; b: Curva de viscosidad

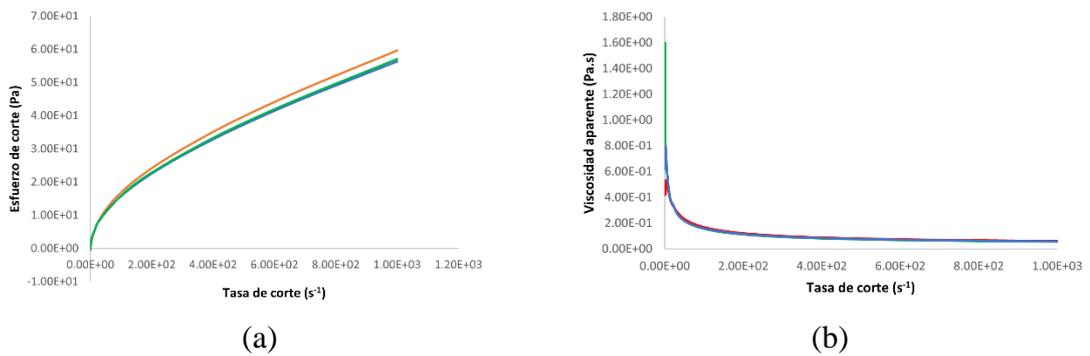


Figura 20. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Serranita (9%)
a: Curva de flujo; b: Curva de viscosidad

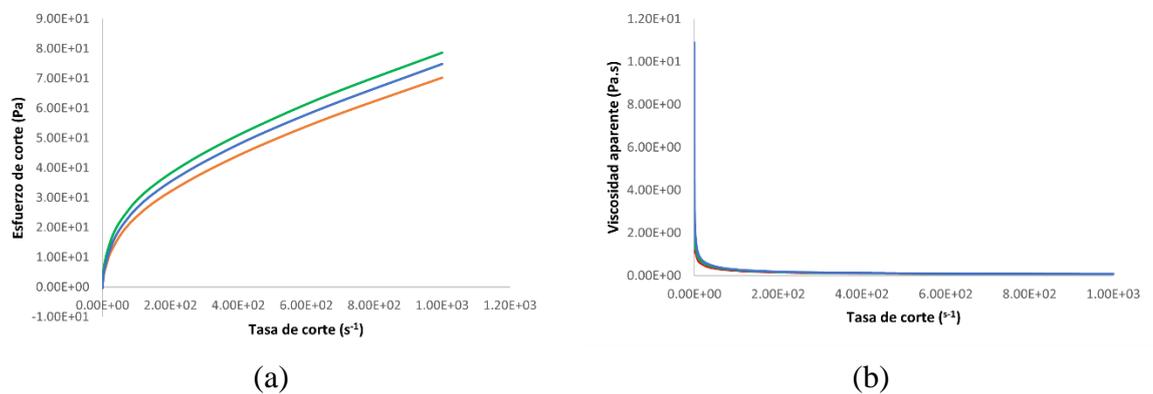


Figura 21. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de Tunta Yungay (7%)
a: Curva de flujo; b: Curva de viscosidad

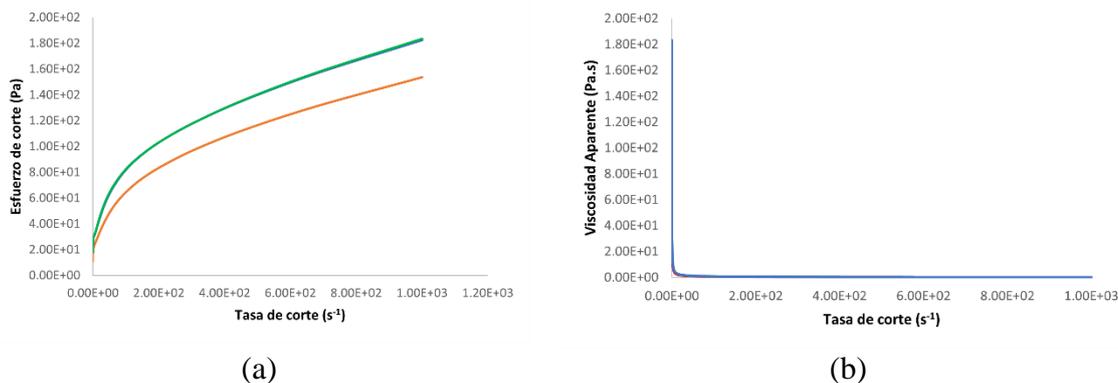


Figura 22. Curvas de Flujo y Viscosidad de Harina de tunta Yungay (9%)
a: Curva de flujo; b: Curva de viscosidad

El modelo de Carreau presentó un ajuste mejor para caracterizar las curvas de flujo de las suspensiones de harina de tunta variedad Canchan al 7%, mientras que tanto el modelo de Cross como el modelo de Carreau fueron igualmente adecuados para caracterizar las curvas de flujo de la suspensión al 9% en la variedad Canchan. Por lo tanto, el comportamiento de flujo de las suspensiones de harina de tunta variedad Canchan puede ser descrito de manera precisa utilizando modelos reológicos como el de Carreau o el de Cross o caso contrario el modelo de Herschel - Bulkley.

En el caso de las suspensiones de harina de tunta variedad Serranita al 7% y 9%, el modelo de Herschel - Bulkley presentó el mejor ajuste y permitió caracterizar la curva de flujo de manera adecuada (Tabla 12). Tanto los modelos Herschel - Bulkley, Carreau y Cross fueron adecuados para caracterizar la curva de flujo de las suspensiones de harina de tunta variedad Serranita. Sin embargo para la variedad Yungay, los modelos de Carreau y Cross fueron los que mejor describieron su comportamiento de flujo, tanto al 7% como al 9%.

Estos modelos (Tabla 12) son útiles para comprender el comportamiento de las suspensiones de harina de tunta y predecir su viscosidad en diversas condiciones. Esto es particularmente importante para aplicaciones industriales donde la harina de tunta se utilizará como espesante o estabilizante en una variedad de productos.

Como se puede ver en las figuras 17a al 22a, la zona de fluencia mide el umbral límite de deformación que presentan las suspensiones de harina de tunta, que tienen la apariencia de fluidos semisólidos (Mezger G., 2014).

Tabla 12

Constantes de Modelos

Variedad de harina	Modelo	Constantes	S:7%	S:9%
Canchan	Herschel - Bulkley	R-Square	0.9965	0.9963
	Cross	R-Square	0.9964	0.9976
	Carreau	R-Square	0.9962	0.9976
Serranita	Herschel - Bulkley	R-Square	0.9981	0.9988
	Cross	R-Square	0.9978	0.9989
	Carreau	R-Square	0.9976	0.9988
Yungay	Herschel - Bulkley	R-Square	0.9966	0.9975
	Cross	R-Square	0.9983	0.9984
	Carreau	R-Square	0.9983	0.9983

Constantes Obtenidas a partir de Datos experimentales ajustados a modelos Hersen, Cross y Carreau

4.2.4. Influencia de la Variedad de Harina de Tunta y Contenido de Agua (Suspensión) en las Propiedades, Reológicas

Del estudio se ha determinado que existe una relación significativa ($P_{valor} < 0.05$) entre la variedad de procedencia de la harina de tunta y el contenido de agua (%) en las suspensiones con el índice de flujo (η) y el coeficiente de consistencia (κ) de las muestras analizadas (Anexo 2).

Además, se encontró un efecto de interacción entre la variedad y la suspensión, lo que indica que el efecto de la variedad en los parámetros analizados depende del contenido de agua en las suspensiones. Por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a).

Por lo tanto, es fundamental seleccionar cuidadosamente la harina procedente de la variedad de tunta y controlar la cantidad de agua utilizada para obtener el flujo y la consistencia deseada en los preparados con harina de tunta. De esta manera, se puede garantizar una consistencia adecuada y un buen comportamiento de la harina de tunta en diferentes aplicaciones, como la producción de alimentos o productos industriales. Además, estos resultados ponen de manifiesto la importancia de realizar pruebas y análisis exhaustivos para comprender mejor las propiedades y características de la harina de tunta, y así poder optimizar su uso y rendimiento. Además, al conocer la

influencia de estos factores, se pueden realizar ajustes y mejoras en la formulación de productos, lo que puede llevar a una mayor satisfacción del consumidor y un producto final de mayor calidad. Por lo tanto, es importante considerar estos factores al formular productos que utilizan harina de tunta como ingrediente.

En la Tabla 13 se puede observar que las variedades de harina de tunta Canchan, Serranita, y Yungay a diferentes concentraciones de suspensión, presentan distintas propiedades de fluidez (η), lo cual es importante para la producción de geles y otros productos alimenticios. En el caso de la variedad Canchan al 7% de suspensión (0.65 ± 0.65), un mayor contenido de agua en la suspensión resulta en un gel más fluido. Sin embargo, en el caso de las muestras de harina de tunta variedad Serranita al 7% y 9% de suspensión, el contenido de agua no parece afectar significativamente la fluidez del gel, ya que ambos mostraron un índice de flujo similar (0.55 y 0.52). Lo mismo sucede con las muestras de harina de tunta variedad Canchan al 9% (0.47 ± 0.47) y Yungay al 7% (0.45 ± 0.45) y 9% (0.44 ± 0.44) de suspensión, todas ellas presentaron índices de flujo similares según los datos estadísticos.

Tabla 13

Comparación de Medias del Índice de Flujo y Coeficiente de Consistencia

Variedad	Suspensión	η	Variedad	Suspensión	κ
C	7	0.65 ± 0.65^a	Y	9	7.85 ± 1.26^a
S	9	0.55 ± 0.55^b	C	9	5.49 ± 0.55^b
S	7	0.52 ± 0.52^b	Y	7	3.29 ± 0.41^c
C	9	0.47 ± 0.47^c	S	7	1.58 ± 0.15^d
Y	7	0.45 ± 0.45^c	S	9	1.29 ± 0.06^d
Y	9	0.44 ± 0.44^c	C	7	0.35 ± 0.03^d

η : Índice de flujo; κ : Coeficiente de consistencia

Evaluando los reportes del coeficiente de consistencia (κ) varía en función del índice de flujo de las diferentes variedades y concentraciones de harina. En el caso de la variedad Canchan al 7%, se obtiene un coeficiente de consistencia de 0.35 ± 0.03 . Esto indica que la harina de esta variedad a esta concentración tiene una mayor capacidad

de fluir, es decir, es menos espesa o viscosa. Por otro lado, la variedad Yungay al 9% presenta el mayor coeficiente de consistencia ($\kappa = 7.85 \pm 1.26$), lo que significa que esta harina a esta concentración tiene una menor capacidad de fluir (Chen *et al.*, 2020), es más viscosa (Gong *et al.*, 2019) y puede variar con la velocidad de cizallamiento (Stojkov *et al.*, 2021), por tanto las muestras requieren bajos niveles de energía para mezclarse y posiblemente reflejen una descomposición estructural en el gel formado ya sea al bajar o subir la velocidad de corte (Mezger G., 2014).

Debido a las ligeras variaciones en el umbral de fluencia entre las suspensiones (7%) y el umbral de fluencia (9%), la fuerza requerida para iniciar el flujo será inferior para suspensiones al 7% debido a la menor viscosa que presentan.

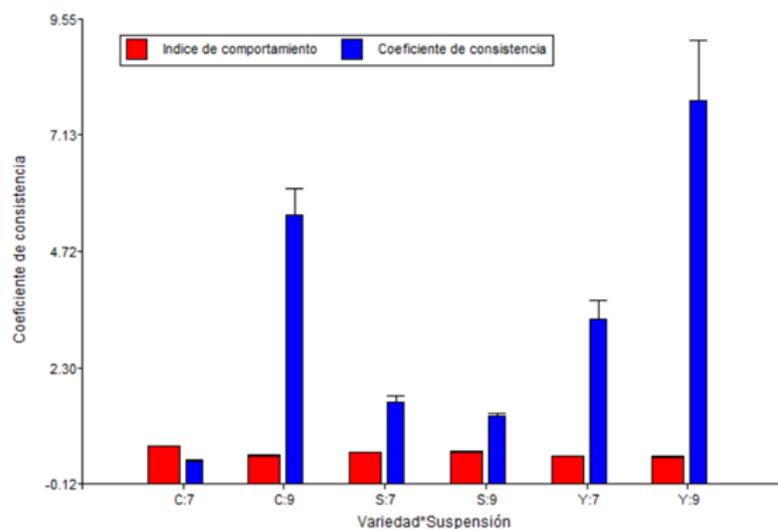


Figura 23. Comportamiento del Índice de Flujo y Coeficiente de Consistencia

Las harinas de las variedades Canchan al 9%, ($\kappa = 5.49 \pm 0.55$), Yungay al 7% ($\kappa = 3.29 \pm 0.41$), Serranita al 7% ($\kappa = 1.58 \pm 0.15$) y 9% ($\kappa = 1.29 \pm 0.06$) tienen coeficientes de consistencia intermedios, lo que indica que presentan diferentes grados de fluidez y viscosidad (Mezger G., 2014) respectivamente (Figura 23).

4.3. Propiedades Funcionales

Las evaluaciones efectuadas en las propiedades funcionales evidencian que la temperatura, la variedad de harina de tunta y de forma asociada de estas variables influenciaron significativamente ($p < 0.05$) en las propiedades funcionales de capacidad de hinchamiento y capacidad de absorción de agua (Ver Anexo 3).

Las propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento y capacidad de absorción de agua) de la harina de tunta ayudan a mejorar la textura, viscosidad y estabilidad de los alimentos, lo que la convierte en un ingrediente versátil en la industria alimentaria. La capacidad de absorción de agua está relacionada a la capacidad espesante, gelificante, en tanto, la capacidad de hinchamiento está relacionado a su capacidad de aumentar su volumen cuando se mezcla con líquidos y la capacidad de absorción de aceite esta referida a la habilidad de absorber aceite y grasa, lo que la convierte en un buen emulsionante.

Por otro lado, de los resultados afirmamos que la variedad Canchan tiene una mayor capacidad de hinchamiento a temperaturas más altas (50 °C). Las variedades Serranita y Yungay también mostraron cierta capacidad de hinchamiento a esta temperatura, pero en menor medida que Canchan (figuras 24 y 25)

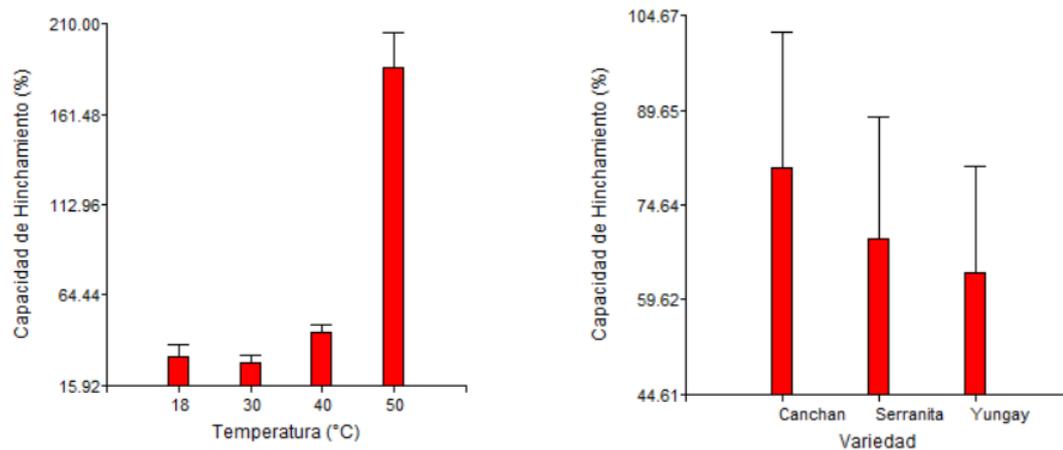


Figura 24. Capacidad de Hinchamiento

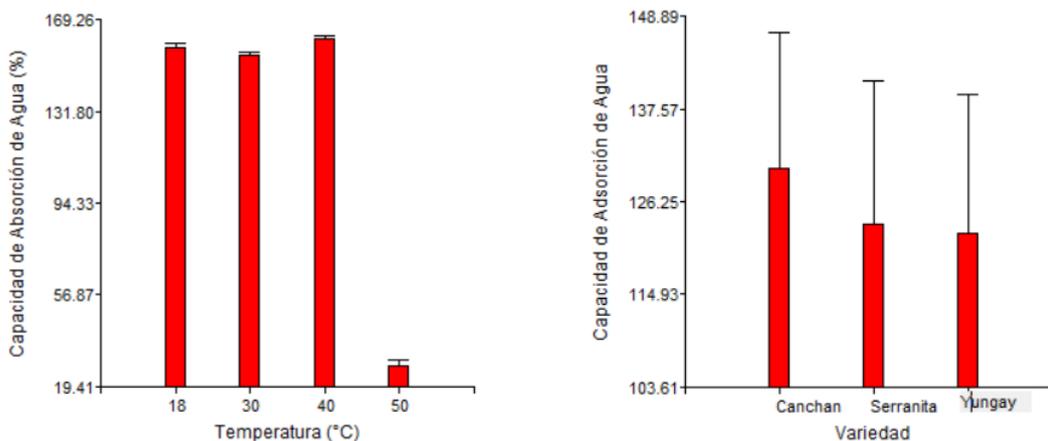


Figura 25. Capacidad de Absorción de Agua

A 40 °C, las variedades Canchan Serranita y Yungay presentaron capacidades de hinchamiento similares. Esto significa que estas variedades tienen una buena capacidad de hinchamiento a esta temperatura. sin embargo; a temperaturas más bajas, como 18 °C y 30 °C, las variedades Canchan, Yungay y Serranita (figuras 24 y 25) mostraron una capacidad de hinchamiento similar. Esto indica que estas variedades tienen una capacidad de hinchamiento estable incluso a temperaturas más frías. asimismo, observando la tabla 14 la harina de tunta variedad Canchan tiene una mayor capacidad para absorber agua en comparación con la harina de tunta de las variedades Serranita y Yungay frente a las temperaturas de 18°C, 40°C, 30°C y 50°C respectivamente. Lo que indica que su capacidad de absorción de agua no varió significativamente frente a estas temperaturas de estudio.

Tabla 14

Propiedades Funcionales de Harina de Tunta

Variedad	Temperatura	Capacidad de Hinchamiento	Capacidad de Absorción de Agua
Canchan	18	39±1 ^e	164±3 ^a
Serranita	18	25±0 ^g	155±4 ^{bc}
Yungay	18	30±2 ^{fg}	155±2 ^{bc}
Canchan	30	33±1 ^f	158±6 ^{abc}
Serranita	30	26±3 ^g	154±1 ^c
Yungay	30	27±2 ^g	152±1 ^c
Canchan	40	48±2 ^d	164±3 ^a
Serranita	40	47±0 ^d	163±3 ^{ab}
Yungay	40	40±0 ^e	158±1 ^{abc}
Canchan	50	203±3 ^a	36±1 ^d
Serranita	50	179±0 ^b	23±1 ^e
Yungay	50	159±0 ^c	26±3 ^e

En la misma Figura 26 la harina de tunta de la variedad cancha tiene la mayor capacidad para absorber aceite, seguida de la harina de Serranita y finalmente la harina de Yungay. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p>0,05$) entre las harinas en términos de capacidad de absorción de aceite, estos resultados sugieren que la harina de tunta cancha podría ser la opción preferible si se busca una mayor capacidad de absorción de aceite.

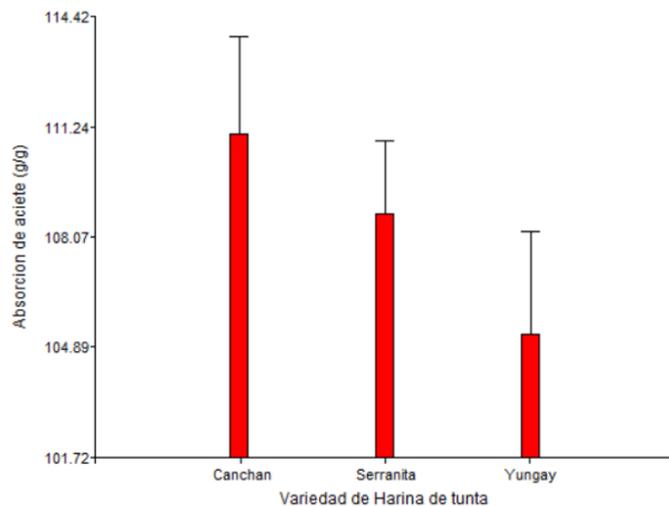


Figura 26. Absorción de Aceite en Harina de Tunta

Las propiedades funcionales (figuras 24 y 25) de la harina de tunta al verse afectadas por los cambios de temperatura (Liu *et al.*, 2000 y Putri *et al.*, 2014), posiblemente modifiquen su estructura y textura, con repercusiones en los productos elaborados con esta harina. Por lo tanto, es necesario controlar este parámetro afín de controlar la capacidad de absorción de agua (Iwe *et al.*, 2016b), para generar productos con mejor viscosidad y la capacidad de retención de grasa muchas veces necesario en productos finales (Marta & Tensiska, 2017).

El efecto de la variedad de harina de tunta (figuras 24 y 25) sobre las propiedades funcionales (Zhu & He, 2020) son debidas a la composiciones químicas y las estructuras físicas que esta presentan, y al variar las mismas generan propiedades funcionales diferenciadas según el origen de la harina (Juz *et al.*, 2017). Por lo tanto, una variedad de harina de tunta con más almidón, más proteínas; puede retener más agua que una variedad con menos almidón (Chimphepo *et al.*, 2021 y Xu *et al.*, 2017).



Además, la interacción entre la temperatura y la variedad de harina de tunta en la capacidad de hinchamiento, puede tener un efecto conjunto en las propiedades funcionales (Guan *et al.*, 2020). Es así, que ciertas variedades de harina de tunta pueden ser más sensibles a cambios de temperatura que otras, lo que podría resultar en variaciones en las propiedades funcionales con desenlaces en la capacidad espesante y gelificante (Marta & Tensiska, 2017)

CONCLUSIONES

Del estudio se concluye:

- Las propiedades térmicas de las harinas de tunta Canchan, Serranita y Yungay demuestran que la temperatura de inicio de gelatinización de las muestras se encuentra en un rango de resistencia a la hidratación de zonas amorfas entre 58°C y 60°C. Esto sugiere que la zona de tratamiento hidrotérmico, que es responsable de romper los enlaces de hidrógeno, será estable y uniforme, y son de gran interés para la industria de procesamiento de alimentos. Así mismo la temperatura pico de gelatinización en las harinas de tunta de las variedades demuestran que las harinas a las suspensiones estudiadas son estables al fenómeno endotérmico de gelatinización, y son adecuados o ideales para modificar texturas en la industria de los alimentos. Adicionalmente la transición vítrea de las harinas a las suspensiones 10, 15 y 20% indican que es un material líquido viscoso y térmicamente estable al 67°C, y las harinas de tunta Serranita y Canchan requieren menor energía para gelatinizar (1.84 J/g).
- Las propiedades reológicas de las harinas de tunta mostraron que el módulo de almacenamiento (G'), que es la capacidad de almacenar y recuperar energía, fue más significativo que el módulo de pérdida (G'') en las variedades Chanchan al 7% y Yungay al 9%, sin embargo, en caso de la variedad Serranita al 7% mostraba una tendencia a un comportamiento sólido y líquido viscoelástico, lo que indica que la harina de tunta tiene propiedades elásticas y viscosas al mismo tiempo, y la elasticidad era dominante. Respecto a la temperatura de gelatinización, Serranita necesita una temperatura más alta para solidificarse o gelificarse ($T_g: 65.56 \pm 0.01$) y pasar de un estado líquido a un estado sólido o gelificado, a diferencia de las harinas de tunta en sus variedades Canchan y Yungay. El comportamiento de flujo de las harinas de tunta muestra que las harinas en sus variedades Canchan y Yungay al 7% y 9% muestran un comportamiento pseudoplástico, con diferencias marcadas de índice de flujo y coeficiente de consistencia
- Las propiedades funcionales de las harinas de tunta como capacidad de absorción de agua, capacidad de hinchamiento y absorción de aceite de la variedad Canchan, reflejan las excelentes propiedades de procesamiento y aplicación en la industria gastronómicas diferencia de las harinas de las variedades serranita y Yungay.



- Las excelentes propiedades térmicas, reológicas y funcionales de las harinas de tunta en sus variedades Canchan, Serranita y Yungay, revelan posibilidades de desarrollarse como materiales funcionales para aplicaciones en la industria alimentaria, incluido su uso como agentes espesantes, gelificantes o estabilizadores.

RECOMENDACIONES

- a. En la industria gastronómica, se debe tener en cuenta la resistencia a la gelatinización de la harina de tunta. Si se quiere obtener una mayor resistencia, se recomienda utilizar las variedades Canchan y Serranita. Por otro lado, si se busca una menor resistencia, la variedad Yungay sería más adecuada.
- b. Para lograr la desestructuración de las moléculas y obtener la calidad y estabilidad deseada en la suspensión de harina de tunta, es esencial alcanzar la temperatura pico de gelatinización. En este sentido, la variedad Serranita tiene una temperatura pico más alta que las variedades Canchan y Yungay, por lo que se recomienda el uso de esta variedad.
- c. Se recomienda la selección adecuada de la variedad y concentración de harina de tunta para lograr las propiedades reológicas deseadas, es importante considerar estos comportamientos reológicos en la industria alimentaria para asegurar los procesos adecuados de mezclado, bombeo y distribución de las suspensiones de harina de tunta.
- d. Los modelos reológicos como Carreau, Cross y Herschel-Bulkley son útiles para caracterizar las curvas de flujo de las suspensiones de harina de tunta. Es importante seleccionar el modelo adecuado según la variedad de harina y concentración para comprender y controlar el comportamiento reológico.
- e. En cuanto a las propiedades funcionales de la harina de tunta, se debe tener en cuenta que la capacidad de hinchamiento y absorción de agua varía según la temperatura y la variedad de harina. Esta información es relevante al seleccionar la variedad de harina de tunta que mejor se adapte a las necesidades del proceso.
- f. Replicar el estudio, a fin de valor los cultivos andinos olvidados como chuño, kaya, uma kaya, Linli y otros; buscando aplicaciones para la gastronomía novo andina.

BIBLIOGRAFÍA

- Akhila, P. P., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Navaf, M., Sudheesh, C., Yadav, D. N., Khan, M. A., Mir, S. A., & George, J. (2022). Morphological, physicochemical, functional, pasting, thermal properties and digestibility of hausa potato (*Plectranthus rotundifolius*) flour and starch. *Applied Food Research*, 2(2), 100193. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100193>
- Angulo-Olais, R., Illescas, J. F., Aguilar-Pliego, J., Vargas, C. A., & Haro-Pérez, C. (2018). Gel Point Determination of TEOS-Based Polymeric Materials with Application on Conservation of Cultural Heritage Buildings. *Advances in Condensed Matter Physics*, 2018, 7. <https://doi.org/10.1155/2018/5784352>
- Avula, R. Y., Rakesh, •, & Singh, K. (2009). Functional Properties of Potato Flour and its Role in Product Development-A Review. *Global Science Book*, 105–112.
- Awuchi Chinaza, G., Igwe Somtochukwu, V., & Echeta Chinelo, K. (2019). the Functional Properties of Foods and Flours. *International Journal of Advanced Academic Research / Sciences*, 5(11), 2488–9849.
- Biliaderis, C. G. (1983). Differential scanning calorimetry in food research-A review. *Food Chemistry*, 10(4), 239–265. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(83\)90081-X](https://doi.org/10.1016/0308-8146(83)90081-X)
- Burroughs, M. C., Schloemer, T. H., Congreve, D. N., & Mai, D. J. (2023). Gelation Dynamics during Photo-Cross-Linking of Polymer Nanocomposite Hydrogels. *ACS Polymers Au*, 3(2), 217–227. <https://doi.org/10.1021/acspolymersau.2c00051>
- Buzera, A., Nkirote, E., Abass, A., Orina, I., & Sila, D. (2023). Chemical and Pasting Properties of Potato Flour (*Solanum tuberosum* L.) in relation to Different Processing Techniques. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2023/3414760>
- Chalco Ibarra, R. (2022). Análisis de la comercialización de chuño y moraya en las Comunidades del Distrito de Cotabambas – Región Apurímac – 2016. *Teis*, 96.
- Chen, X., Song, Z., Li, S., Tat Thang, N., Gao, X., Gong, X., & Guo, M. (2020). Facile one-pot synthesis of self-assembled nitrogen-doped carbon dots/cellulose nanofibril hydrogel with enhanced fluorescence and mechanical properties. *Green Chemistry*,

- 22(10), 3296–3308. <https://doi.org/10.1039/d0gc00845a>
- Chimphepo, L., Alamu, E. O., Monjerezi, M., Ntawuruhunga, P., & Saka, J. D. K. (2021). Physicochemical parameters and functional properties of flours from advanced genotypes and improved cassava varieties for industrial applications. *Lwt*, *147*(May), 111592. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111592>
- Chun, S. Y., & Yoo, B. (2006). Steady and dynamic shear rheological properties of sweet potato flour dispersions. *European Food Research and Technology*, *223*(3), 313–319. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0205-9>
- Correia, Calpe, E., Igual, M., García martinez, E., Gemma, M., & Martinez Navarrete, N. (2011). *Efecto de la Adición de Solutos en Propiedades Físicoquímicas Relacionadas con la Calidad y Estabilidad de Pomelo Liofilizado en Polvo*. 1–24. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/28127/Trabajo Fin de Máster Esperanza Correia Calpe.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/28127/Trabajo_Fin_de_Máster_Esperanza_Correia_Calpe.pdf?sequence=1)
- Cuq, B., Abecassis, J., & Guilbert, S. (2003). State diagrams to help describe wheat bread processing. *International Journal of Food Science and Technology*, *38*(7), 759–766. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00748.x>
- Dereje, B., Girma, A., Mamo, D., & Chalchisa, T. (2020). Functional properties of sweet potato flour and its role in product development: a review. *International Journal of Food Properties*, *23*(1), 1639–1662. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1818776>
- Donovan, J. W. (1979). Phase transitions of the starch–water system. *Biopolymers*, *18*(2), 263–275. <https://doi.org/10.1002/bip.1979.360180204>
- Fonseca, C., & Ordinola, M. (2011). Mejorando la competitividad de la agroindustria rural: el caso de la tunta en el altiplano peruano. In *Mejorando la competitividad de la agroindustria rural: el caso de la tunta en el altiplano peruano*. <https://doi.org/10.4160/9789290604129>
- Gong, J., Wang, L., Wu, J., Yuan, Y., Mu, R. J., Du, Y., Wu, C., & Pang, J. (2019). The rheological and physicochemical properties of a novel thermosensitive hydrogel based on konjac glucomannan/gum tragacanth. *Lwt*, *100*, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.080>

- Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x>
- Guan, E., Yang, Y., Pang, J., Zhang, T., Li, M., & Bian, K. (2020). Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. *Food Science and Nutrition*, 8(6), 2581–2587. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1431>
- Guidi, A., Aguilera, J., & Devaux, A. (2002). Características de la Cadena Agroalimentaria de Chuño y Tuna para el Altiplano Central de Bolivia. In Fundación PROINPA (Ed.), *Documento de Trabajo 19*. [https://www.proinpa.org/tic/pdf/Papa/Varios Papa/Características de la cadena agroalimentaria de chuno y tunta para el Altiplano Central de Bolivia.pdf](https://www.proinpa.org/tic/pdf/Papa/Varios%20Papa/Caracteristicas%20de%20la%20cadena%20agroalimentaria%20de%20chuno%20y%20tunta%20para%20el%20Altiplano%20Central%20de%20Bolivia.pdf)
- Hackley, V. A., & Ferraris, C. F. (2001). Guide to Rheological Nomenclature: Measurements in Ceramic Particulate Systems. In *Nist Special Publication (Issue 945)*.
- Han-kun, Z., Xian-fa, F., Yong, W., Dong, L., & Li-jun, W. (2021). Thermal, structure, and rheological properties of native potato flour prepared under different combined drying methods. *Drying Technology*, 39(5), 698–709. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1705332>
- Hernández-Centeno, F., López-De la Peña, H. Y., Hernández-González, M., Rodríguez-González, C. A., Tirado-Gallegos, J. M., Rios-Velasco, C., & Zamudio-Flores, P. B. (2020). Physicochemical, thermal, rheological and morphological characteristics of flour and starch from a non-conventional source: Cucurbita foetidissima Kunth roots. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(4), 1976–1985. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00444-x>
- Huayin, P., Jianling, W., Wang, L., Huang, J., Chen, X., Luo, C., Liu, S., & Zhang, H. (2017). Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles. *Journal of Cereal Science*, 76, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.020>
- Hug-Iten, S., Handschin, S., Conde-Petit, B., & Escher, F. (1999). Changes in Starch

- Microstructure on Baking and Staling of Wheat Bread. *LWT - Food Science and Technology*, 32(5), 255–260. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0544>
- Iwe, M. O., Onyeukwu, U., & Agiriga, A. N. (2016a). Proximate, functional and pasting properties of FARO 44 rice, African yam bean and brown cowpea seeds composite flour. *Cogent Food and Agriculture*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1142409>
- Iwe, M. O., Onyeukwu, U., & Agiriga, A. N. (2016b). Proximate, functional and pasting properties of FARO 44 rice, African yam bean and brown cowpea seeds composite flour. *Cogent Food and Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1142409>
- Jha, P., Dharmalingam, K., Nishizu, T., Katsuno, N., & Anandalakshmi, R. (2020). Effect of Amylose–Amylopectin Ratios on Physical, Mechanical, and Thermal Properties of Starch-Based Bionanocomposite Films Incorporated with CMC and Nanoclay. *Starch/Staerke*, 72(1–2), 1–9. <https://doi.org/10.1002/star.201900121>
- Julca, B. (2016). Impacto del Gorgojo de los Andes (*Premnotrypes* spp.) en la producción y comercialización del chuño blanco en las economías campesinas del departamento de Puno. *Extracción Y Caracterización De Aceite Vegetal De Las Semillas De Uva Borgoña (Vitis Vinifera) Utilizando Enzimas*, 84. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2232/L73-C6-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Julianti, E., Rusmarilin, H., Ridwansyah, & Yusraini, E. (2017). Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.005>
- Juz, S., David, J., Herrera, V., Carlos, J., Aguirre, L., Dumar, V., & Castaño, Q. (2017). *Physical-chemical characteristics determination of potato (Solanum phureja Juz . & Bukasov) starch*. 66, 323–330.
- Kugimiya, M., & Donovan, J. W. (1981). Calorimetric Determination of the Amylose Content of Starches Based on Formation and Melting of the Amylose-Lysolecithin Complex. *Journal of Food Science*, 46(3), 765–770. <https://doi.org/10.1111/j.1365->

2621.1981.tb15344.x

- Kumoro, A. C., Retnowati, D. S., Budiayati, C. S., Manurung, T., & Siswanto. (2012). Water solubility, swelling and gelatinization properties of raw and ginger oil modified gadung (*Dioscorea hispida* dennst) flour. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(17), 2854–2860.
- Lewandowicz, J., Le Thanh-Blicharz, J., & Szwengiel, A. (2022). The Effect of Chemical Modification on the Rheological Properties and Structure of Food Grade Modified Starches. *Processes*, 10(5), 1–12. <https://doi.org/10.3390/pr10050938>
- Lingling, C., Yange, T., Shuangqi, T., Yanbo, W., & Fuqiang, G. (2018). Preparation of Potato Whole Flour and Its Effects on Quality of Flour Products: A Review. *Grain & Oil Science and Technology*, 1(3), 145–150. <https://doi.org/10.3724/sp.j.1447.gost.2018.18037>
- Liu, H., Yu, L., Xie, F., & Chen, L. (2006). Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content. *Carbohydrate Polymers*, 65(3), 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.026>
- Liu, W., Shen, J., Lu, F., & Xu, M. (2000). Effect of Physical Aging on Fracture Behavior of Polyphenylquinoxaline Films. *Journal of Applied Polymer Science*, 78(8), 1275–1279. <https://doi.org/10.1002/pen.760310803>
- Liu Xing-Li, Mu, T., Sun, H., Zhang, M., & Chen, J. (2016). Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(11), 2666–2676. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61388-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61388-6)
- Marta, H., & Tensiska, T. (2017). Functional and Amylographic Properties of Physically-Modified Sweet Potato Starch. *KnE Life Sciences*, 2(6), 689. <https://doi.org/10.18502/cls.v2i6.1091>
- Martínez, P., Peña, F., Bello-Pérez, L. A., Núñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X*, 2(April), 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>
- Mezger G., T. (2014). The Rheology Handbook. In *Applied Rheology* (4th ed., Vol. 12,

- Issue 5). <https://doi.org/10.1515/arh-2002-0029>
- Mosquera, L., Arias, S., Jimenez, D., Lopez, D., & Osorio, A. (2015). Transición vítrea en alimentos: sistemas binarios agua-carbohidratos. *Revista Vector*, 9(2014), 24. http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector9_4.pdf
- NTP 339.088. (2019). Norma Técnica Peruana. *Dirección de Normalización-INACAL*, 3, 1–10. file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/pdf-ntp-339088-aguas_compress.pdf
- Patrón Espá, A., Albors Sorolla, A. M., & Dolores, R. Jiménez M. (2019). *Caracterización Funcional Y Química De Chuño Comercializadas En España* [Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/129068>
- Peña Carrasco, E. F. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de Ilave (Puno)*. 4–6. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2655/Q02-P45-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peñarrieta, J. M., Juan Antonio Alvarado, K., Bravo, J. A., & Bergenståhl, B. (2012). Chuño and tunta; The traditional andean sun-dried potatoes. *Potatoes: Production, Consumption and Health Benefits, January*, 1–12.
- Pineda Gómez, P., Rodríguez-garcía, M. E., & Coral, D. F. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz : estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y Ciencia*, 6(January), 129–141. <https://www.researchgate.net/publication/277268929%0APapel>
- Putri, W. D. R., Zubaidah, E., & Ningtyas, D. W. (2014). Effect of heat moisture treatment on functional properties and microstructural profiles of sweet potato flour. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 6(5), 655–659. <https://doi.org/10.19026/ajfst.6.90>
- Ramesh, Y. A., & Singh, R. K. (2009). Functional properties of sweet potato flour and its role in product development: a review. *Global Science Books*, 23(1), 105–112. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1818776>
- Roos H, Y. (2003). Thermal analysis, state transitions and food quality. *Journal Of Thermal Analysis and Calorimetry*, 71(1–4), 193–199. <https://doi.org/10.1023/A>

- Rosino Rosino, J. M. (2015). *Características físicas de peloides extemporáneos constituidos por mezclas de montmorillonita y zeolita con agua tridestilada y agua marina*.
- Sahin, S., & Sumnu, G. (2006). Rheological properties of foods. *Handbook of Food Engineering, Second Edition*, 1–124. <https://doi.org/10.1201/b18668-4>
- Samavati, V., Emam-Djomeh, Z., Mohammadifar, M. A., Omid, M., & Mehdinia, A. L. I. (2012). Stability and rheology of dispersions containing polysaccharide, oleic acid and whey protein isolate. *Journal of Texture Studies*, 43(1), 63–76. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2011.00317.x>
- Sanchez-González, J. A., Echeverria, C., Lescano, L., Linares, G., Arteaga-Miñano, H. L., Soriano-Colchado, J., & Barraza-Jáuregui, G. (2019). Physico-chemical, thermal and rheological characteristics of starch isolated from four commercial potatoes cultivars. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 63–71. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.07>
- Shen, G., Zhang, L., Hu, T., Li, Z., Chen, A., Zhang, Z., Wu, H., Li, S., & Hou, X. (2020). Preparation of potato flour by freeze-thaw pretreatment: Effect of different thawing methods on hot-air drying process and physicochemical properties. *Lwt*, 133(August), 110157. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110157>
- Singh, J., Singh, N., Sharma, T. R., & Saxena, S. K. (2003). Physicochemical, rheological and cookie making properties of corn and potato flours. *Food Chemistry*, 83(3), 387–393. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00100-6)
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, S. N., & Gill, B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 220–228. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Stojkov, G., Niyazov, Z., Picchioni, F., & Bose, R. K. (2021). Relationship between structure and rheology of hydrogels for various applications. *Gels*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/gels7040255>
- Sun, A., & Gunasekaran, S. (2009). Measuring rheological characteristics and spreadability of soft foods using a modified squeeze-flow apparatus. *Journal of Texture Studies*, 40(3), 275–287. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2009.00181.x>

- Suresh, C. (2013). Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural Research*, 8(38), 4849–4852. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6905>
- Svensson, E., & Eliasson, A. C. (1995). Crystalline changes in native wheat and potato starches at intermediate water levels during gelatinization. *Carbohydrate Polymers*, 26(3), 171–176. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(95\)00007-T](https://doi.org/10.1016/0144-8617(95)00007-T)
- Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 67, Issues 1–2). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062>
- Thanh-Blicharz, J. Le, & Lewandowicz, J. (2020). Functionality of native starches in food systems: Cluster analysis grouping of rheological properties in different product matrices. *Foods*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/foods9081073>
- Tortoe, C., Akonor, P. T., Koch, K., Menzel, C., & Adofo, K. (2017). Amylose and amylopectin molecular fractions and chain length distribution of amylopectin in 12 varieties of Ghanaian sweet potato (*Ipomoea batatas*) flours. *International Journal of Food Properties*, 20(12), 3225–3233. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1283326>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223–230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Velásquez Herrera, J. D., Lucas Aguirre, J. C., & Quintero Castaño, V. D. (2017). Physical-chemical characteristics determination of potato (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov) starch. *Acta Agronomica*, 66(3). <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52419>
- Wang, H., Yang, Q., Gao, L., Gong, X., Qu, Y., & Baili, F. (2020). Functional and physicochemical properties of flours and starches from different tuber crops. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.146>
- Wang, L., Guo, J., Wang, R., Shen, C., Li, Y., Luo, X., Li, Y., & Chen, Z. (2016). Studies on quality of potato flour blends with rice flour for making extruded noodles. *Cereal*

- Chemistry*, 93(6), 593–598. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-05-16-0147-R>
- Wang Xu, Li, C., Zhengbiao Gu, Yan, H., Li, Z., Li, C., & Ban, X. (2022). Effects of different gelatinization degrees of potato flour on gluten network integrity and dough stickiness. *Lwt*, 153(February 2021), 112577. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112577>
- Worldwide, M. I. (2016). A Basic Introduction to Rheology Shear Flow. In *RHEOLOGY AND VISCOSITY* (Vol. 35, Issue 4, pp. 415–435). <https://cdn.technologynetworks.com/TN/Resources/PDF/WP160620BasicIntroRheology.pdf>
- Xiaoyan, H., Xiaowan, L., Jianlong, L., Jun, C., Guanghuin, S., Anjun, C., & Zhiqing, Z. (2023). Changes in structural and physicochemical characteristics of potato subjected to ultrasonication. *Chongqing Academy of Animal Science*.
- Xu, F., Hu, H., Liu, Q., Dai, X., & Zhang, H. (2017). Rheological and microstructural properties of wheat flour dough systems added with potato granules. *International Journal of Food Properties*, 20(June), S1145–S1157. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1337791>
- Xu, F., Zhang, L., Liu, W., Liu, Q., Wang, F., Zhang, H., Hu, H., & Blecker, C. (2021). Physicochemical and structural characterization of potato starch with different degrees of gelatinization. *Foods*, 10(5), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods10051104>
- Yang, S. (2020). *The utilisation of potato flour in pasta production : the effect of starch-protein interactions on the physical chemical properties , and in vitro digestion behaviour , of potato enriched pasta*. 1994(Lincoln University), 159.
- Zhang, K., Tian, Y., Liu, C., & Xue, W. (2020). Effects of temperature and shear on the structural, thermal and pasting properties of different potato flour. *BMC Chemistry*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13065-020-00670-w>
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., & Wei, C. (2018). Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids*, 80, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.006>



- Zhou, T., Zhang, L., Liu, Q., Liu, W., & Hu, H. (2021). Rheological behaviors and physicochemical changes of doughs reconstituted from potato starch with different sizes and gluten. *Food Research International*, 145(May), 110397. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110397>
- Zhu, F., & He, J. (2020). Physicochemical and functional properties of Maori potato flour. *Food Bioscience*, 33(February 2019), 100488. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100488>
- Zhu, H. kun, Yang, L., Fang, X. fa, Wang, Y., Li, D., & Wang, L. jun. (2021). Effects of intermittent radio frequency drying on structure and gelatinization properties of native potato flour. *Food Research International*, 139, 109807. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109807>

ANEXOS

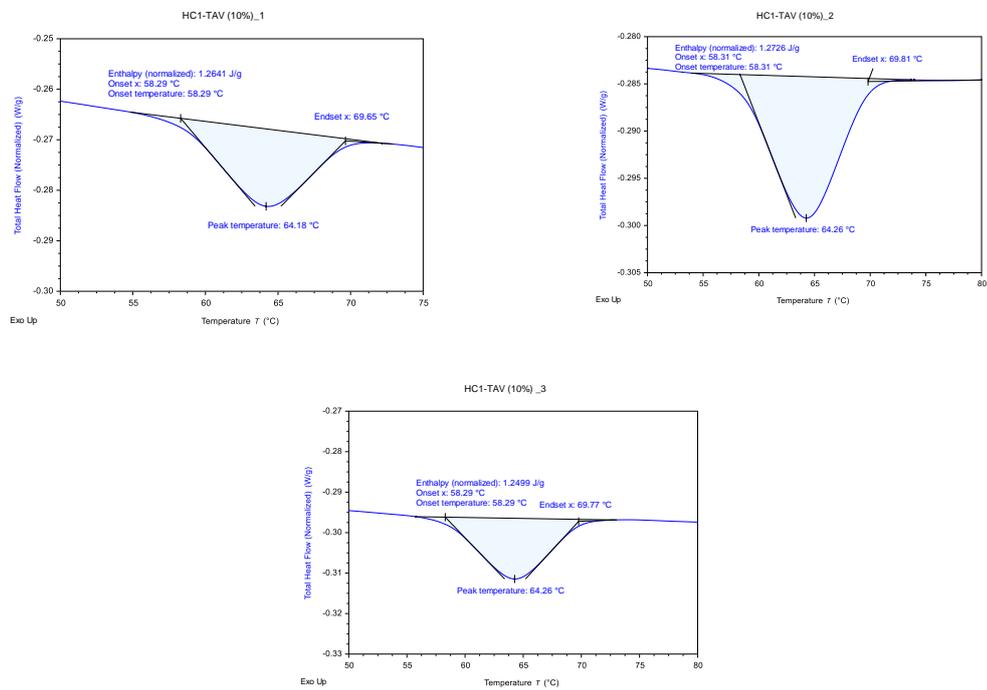
Anexo 1

Propiedades Térmicas.

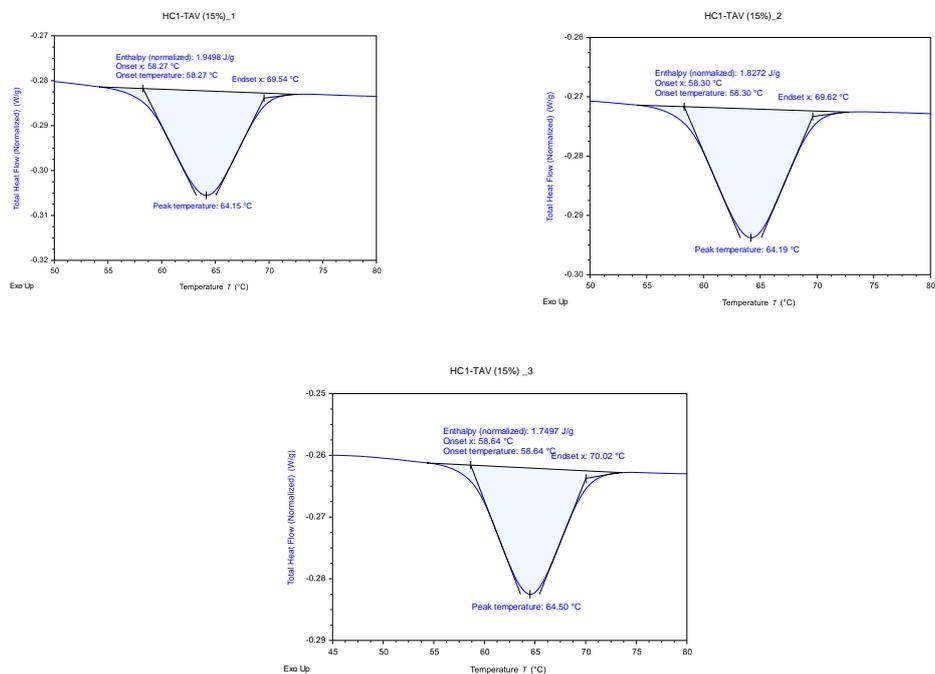
a. Curvas de propiedades térmicas

Curvas de Comportamiento térmico de harinas de tunta Canchan, Serranita y Yungay

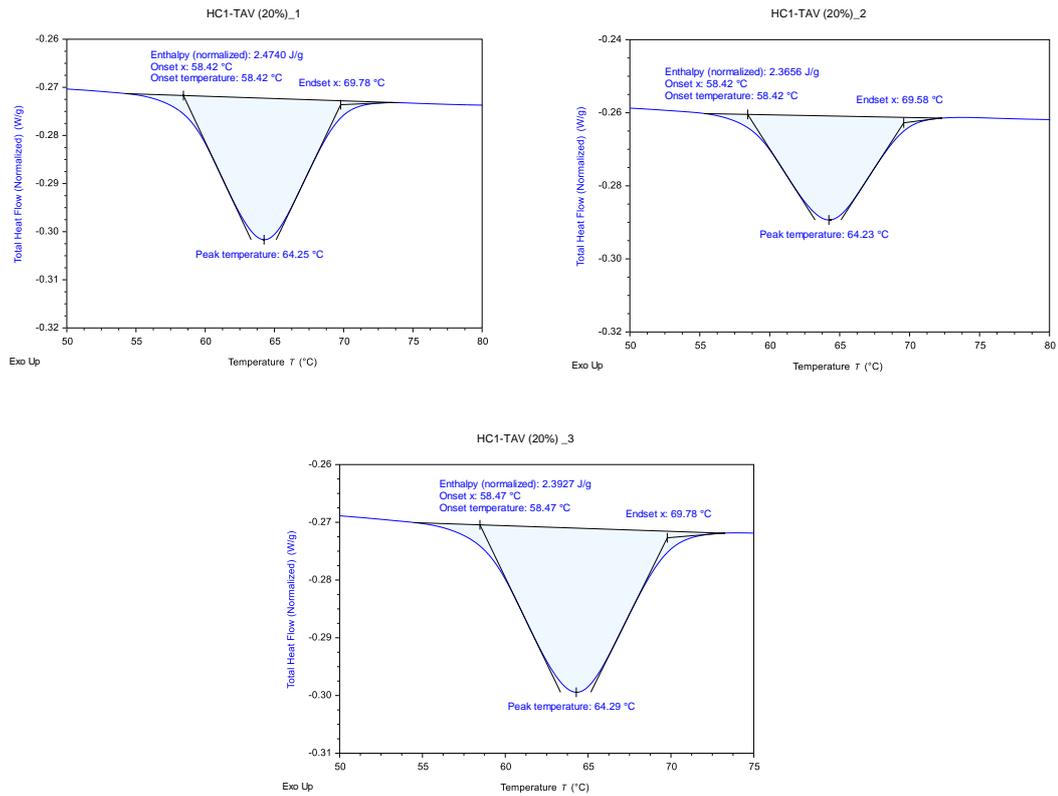
Harina de tunta Canchan 10%



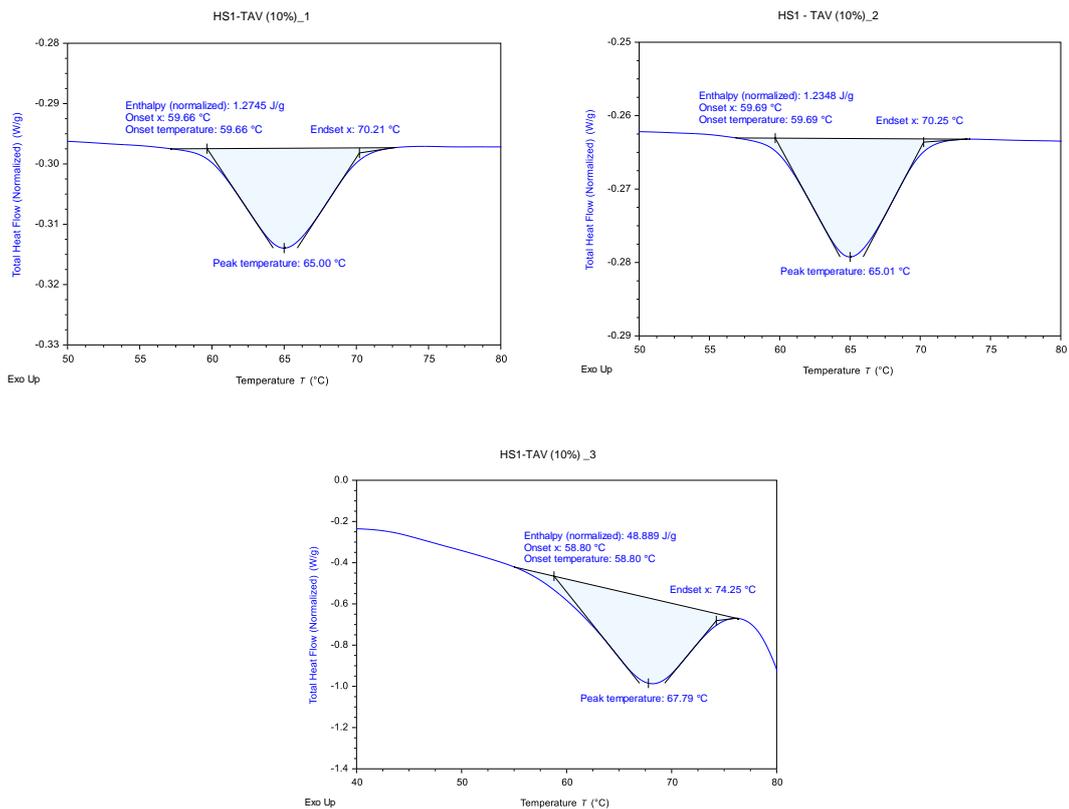
Harina de tunta Canchan 15%



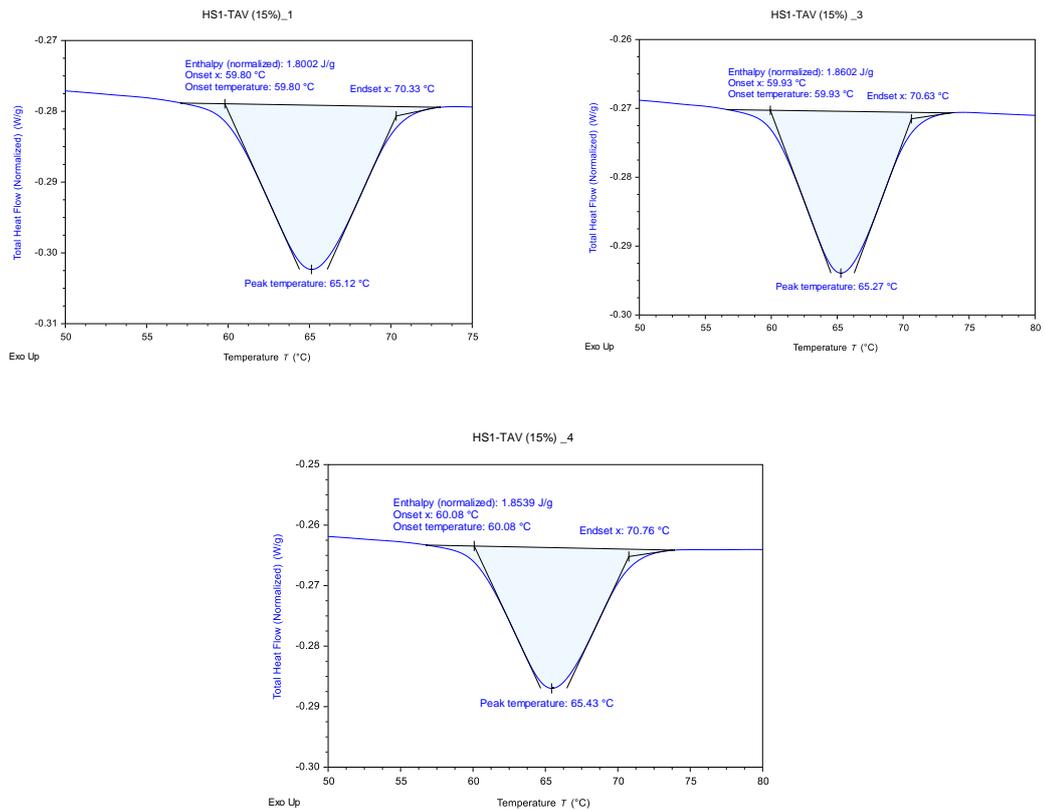
Harina de tunta Canchan 20%



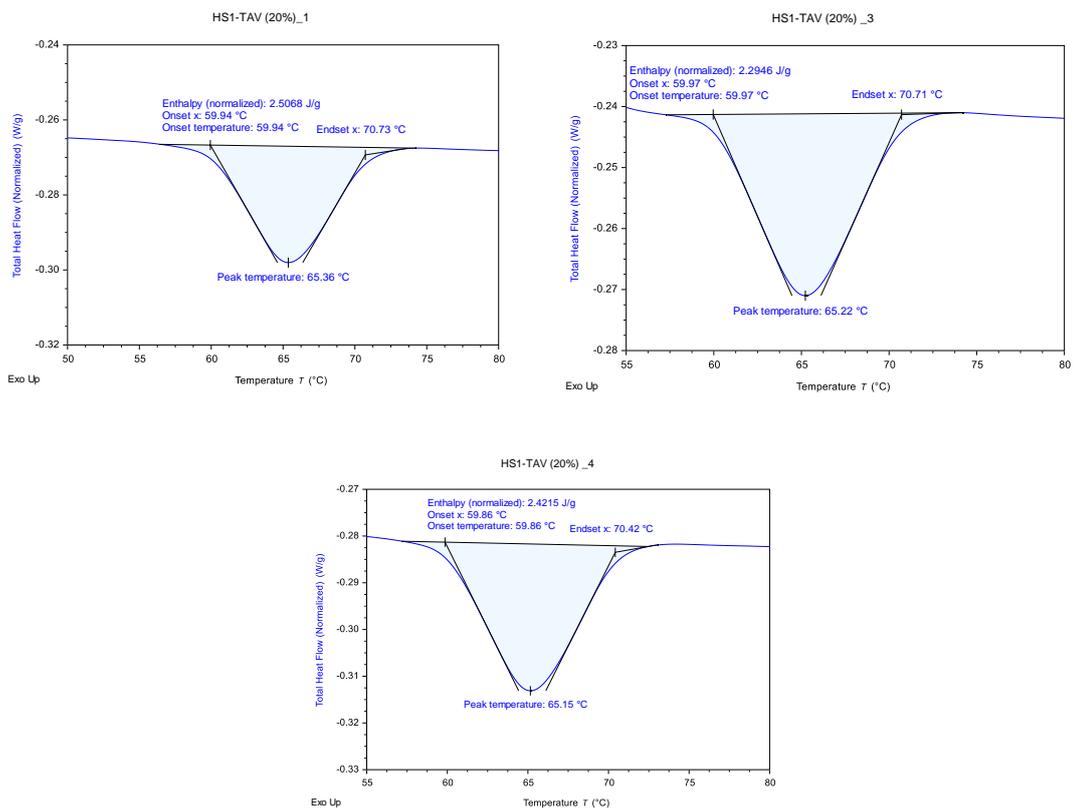
Harina de tunta Serranita 10%



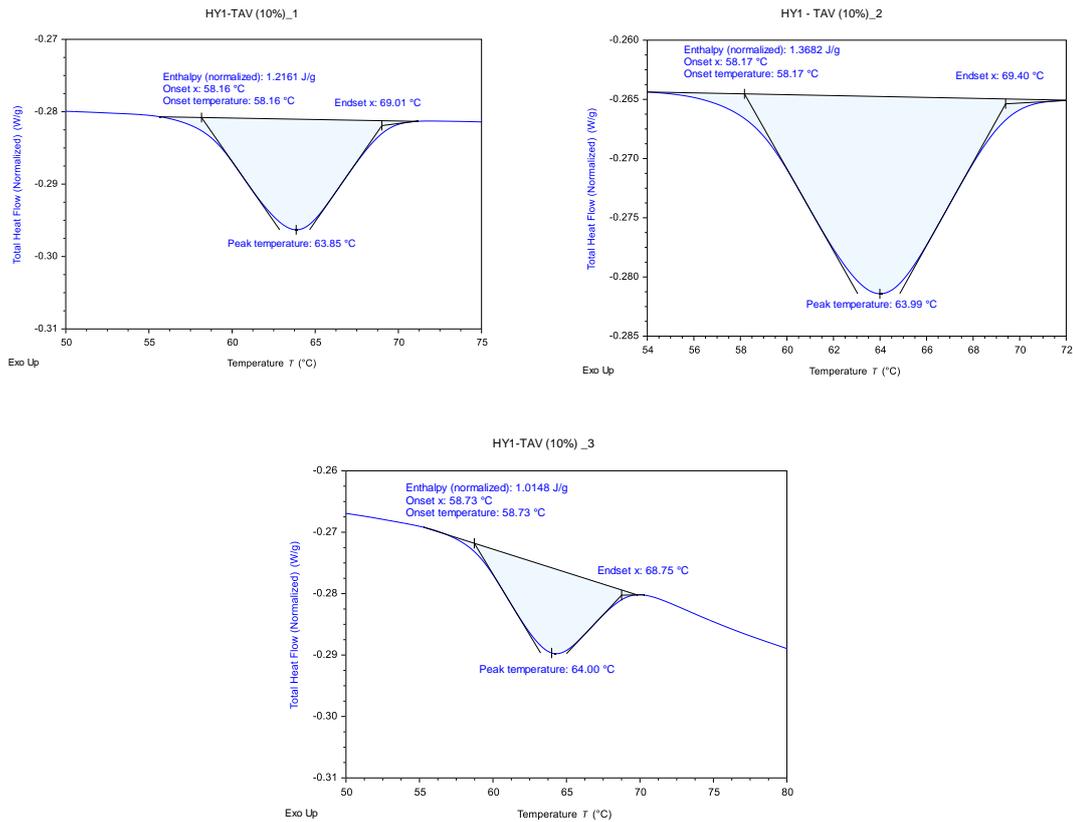
Harina de tunta Serranita 15%



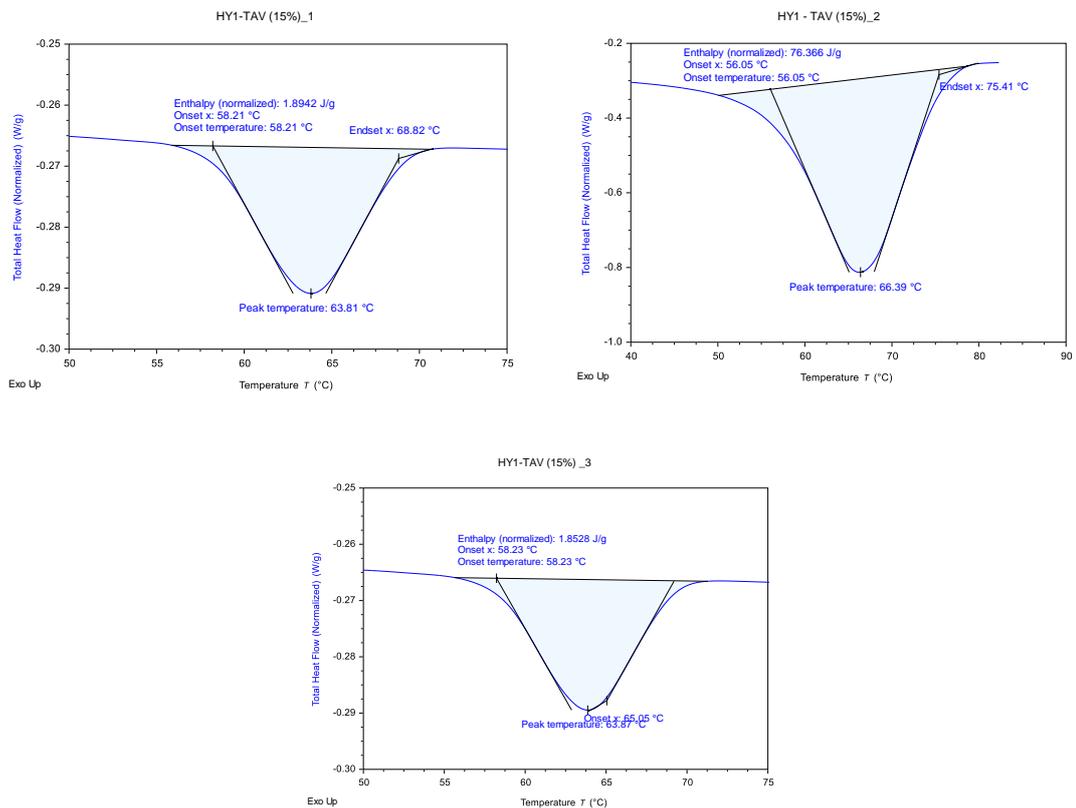
Harina de tunta Serranita 20%



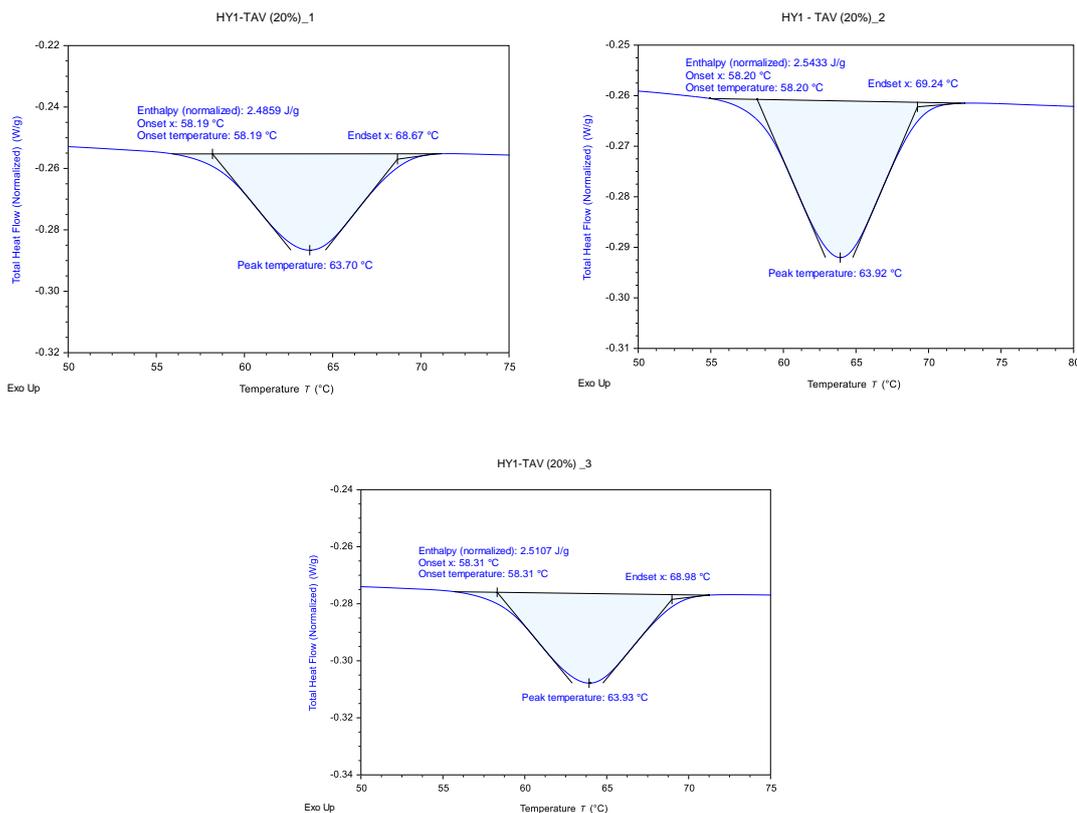
Harina de tunta Yungay 10%



Harina de tunta Yungay 15%



Harina de tunta Yungay 20%



b. Análisis de varianza Propiedades térmicas

Análisis de Varianza para Temperatura Inicio de Gelatinización

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo corregido	13,443a	8	1,680	30,298	0,000
Variedad	12,864	2	6,432	115,977	0,000
Suspensión	0,208	2	0,104	1,878	0,182
Variedad * Suspensión	0,370	4	0,093	1,669	0,201
Error	0,998	18	0,055		
Total corregida	14,441	26			

Análisis de Varianza para Temperatura Pico de Gelatinización

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo corregido	7,980 ^a	8	,998	60,633	0,000
Variedad	7,814	2	3,907	237,468	0,000
Suspensión	0,006	2	0,003	0,184	0,834
Variedad * Suspensión	0,161	4	0,040	2,440	0,084
Error	0,296	18	0,016		
Total	8.28	26			

Análisis de Varianza para Temperatura Final de Gelatinización

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo corregido	9,230 ^a	8	1,154	20,959	0,000
Variedad	8,885	2	4,443	80,698	0,000
Suspensión	0,041	2	0,021	0,376	0,692
Variedad * Suspensión	0,304	4	0,076	1,380	0,280
Error	0,991	18	0,055		
Total corregida	10,221	26			

Análisis de Varianza para Temperatura de Transición Vítrea de Gelatinización

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo corregido	11,861 ^a	8	1,483	24,088	0,000
Variedad	11,465	2	5,732	93,137	0,000
Suspensión	0,043	2	0,022	0,350	0,710
Variedad * Suspensión	0,353	4	0,088	1,433	0,264
Error	1,108	18	0,062		
Total corregida	12,968	26			

Análisis de Varianza para Entalpia de Gelatinización

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo corregido	6,505 ^a	8	0,813	122,690	0,000
Variedad	0,003	2	0,002	0,227	0,799
Suspensión	6,472	2	3,236	488,290	0,000
Variedad * Suspensión	0,030	4	0,007	1,121	0,378
Error	0,119	18	0,007		
Total corregida	6,624	26			

Anexo 2

Propiedades Reológicas

Análisis de Varianza Para el Índice de Flujo (η).

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Variedad	0.04	2	0.02	180.07	<0.0001
Suspensión	0.02	1	0.02	125.96	<0.0001
Variedad*Suspensión	0.04	2	0.02	154.95	<0.0001
Error	1.5E-03	12	1.2E-04		
Total	0.10	17			

Análisis de Varianza Para el índice de Consistencia (κ).

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo	123.64	5	24.73	71.30	<0.0001
Variedad	52.76	2	26.38	76.07	<0.0001
Suspensión	44.26	1	44.26	127.61	<0.0001
Variedad*Suspensión	26.62	2	13.31	38.38	<0.0001
Error	4.16	12	0.35		
Total	127.80	17			

Anexo 3

Propiedades Funcionales

Análisis de Varianza para Capacidad de Absorción de Agua.

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo corregido	116573.40	11	10597.58	938.14	<0.0001
Temperatura	116099.33	3	38699.78	3425.85	<0.0001
Variedad	383.59	2	191.79	16.98	<0.0001
Temperatura * Variedad	90.49	6	15.08	1.34	0.2804
Error	271.11	24	11.30		
Total corregida	116844.52	35			

Análisis de Varianza para Capacidad de Hinchamiento.

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo corregido	159536.15	11	14503.29	851.74	<0.0001
Temperatura	156631.92	3	52210.64	3066.20	<0.0001
Variedad	1584.74	2	792.37	46.53	<0.0001
Temperatura * Variedad	1319.49	6	219.92	12.92	<0.0001
Error	408.67	24	17.03		
Total corregida	159944.82	35			

Análisis de Varianza para Capacidad de Absorción de Aceite

F de V	SC	GI	CM	F	Sig.
Modelo	50.56	2	25.28	1.20	0.3650
Variedad	50.56	2	25.28	1.20	0.3650
Error	126.64	6	21.11		
Total	177.20	8			

Panel Fotográfico del estudio.



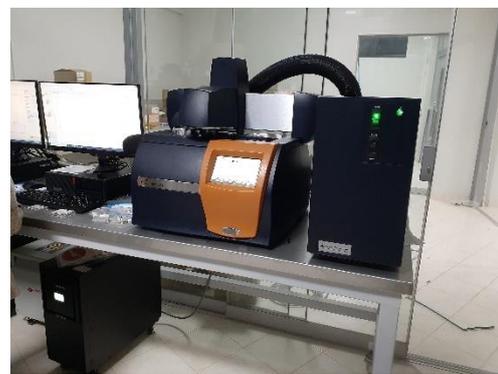
Muestras de Tunta



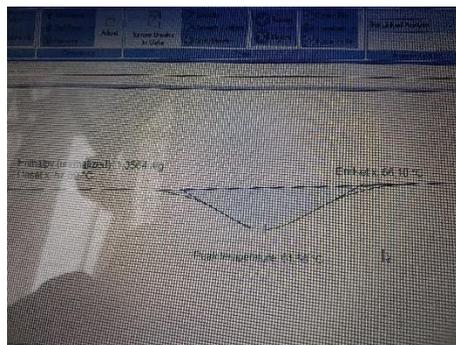
Molienda de tunta



Pesado y sellado de Muestras



Calorímetro Diferencial de Barrido TA



Visor de Monitoreo DSC



Reómetro con muestras (UNA-
PUNO)



Reómetro con muestras (UPeU)



Muestra en baño térmico



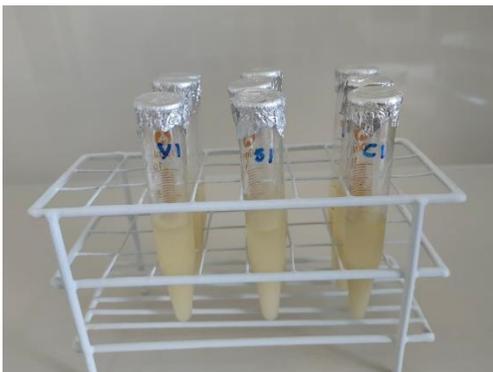
Suspensión de tunta gelatinizada



Muestras para análisis de absorción



Prueba de absorción de agua



Muestras con aceite



Muestra con aceite



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Thomas ANCCO VIZCARRA
identificado con DNI 01777376 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“CARACTERIZACION DE PROPIEDADES TÉRMICAS REOLÓGICAS Y FUNCIONALES DE HARINAS DE TUNTA
DE TRES VARIEDADES DE PAPA OBTENIDAS MEDIANTE PROCESO CONVENCIONAL”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 12 de Enero del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Thomas Ancco Vizcarra,
identificado con DNI 01777376 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

„ CARACTERIZACION DE PROPIEDADES TÉRMICAS REOLÓGICAS Y FUNCIONALES

DE HARINAS DE TUNTA DE TRES VARIETADES DE PAPA OBTENIDAS MEDIANTE PROCESO CONVENCIONAL

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 12 de enero del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella