



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

**CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA, PROPIEDADES
TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE ALMIDÓN DE TRES
VARIEDADES DE OCA (*Oxalis tuberosa* Mol.)**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

AUTOR:

Br. RIDHER REMIGIO ANTAY CCACCYA

ASESOR:

MSc. THOMAS ANCCO VIZCARRA

CODIGO ORCID:0000-0003-3069-6195

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, BALTAZAR NICOLÁS CÁCERES HUAMBO, quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA, PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE OCA (Oxalis tuberosa Mol.), presentado por: Br. RIDHER REMIGIO ANTAY CCACCYA DNI N° 45638414; para optar el título Profesional/Grado Académico de MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 vez, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 13 de Julio de 2026



Firma

Post firma: Baltazar Nicolás Cáceres Huambo

Nro. de DNI: 23879771

ORCID : 0009-0005-4702-5605

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid: 27259:607581647**

CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA, PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE ALMIDÓN DE TRES VARIEDAD...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:607581647

Fecha de entrega

13 jul 2026, 8:47 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 jul 2026, 8:52 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA, PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE ALMIDÓN DE TRE....pdf

Tamaño del archivo

5.4 MB

135 páginas

29.204 palabras

157.788 caracteres

8% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

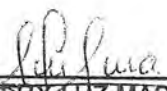
ESCUELA DE POSGRADO

INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS

Dr. TITO LIVIO PAREDES GORDON, Director (e) de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **CARACTERIZACIÓN MORFOLOGICA, PROPIEDADES TÉRMICAS Y REOLÓGICAS DE ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE OCA (Oxalis Tuberosa Mol.)** de la Br. Br. RIDHER REMIGIO ANTAY CCACCYA. Hacemos de su conocimiento que el (la) sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día VEINTIOCHO DE NOVIEMBRE DE 2025.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS.

Cusco, 09 JULIO DE 2026


DR. LEONCIO SOLIS QUISPE
Primer Replicante
MTRO. FIDEL GAMARRA SOTO
Segundo Replicante
DRA. MARY LUZ MASCO ARRIOLA
Primer Dictaminante
MGT. RODNEY VEGA VIZCARRA
Segundo Dictaminante

DEDICATORIA

A **Dios**, por llenarme de bendiciones al ponerme en el camino a personas maravillosas y por siempre darme la fuerza necesaria para seguir adelante.

A mis padres **Remigio y Graciela**, quienes me guiaron por el buen camino, por ser mi ejemplo de trabajo, sacrificio, entrega y amor.

A mis hermanos por ser mi motivación para ser una persona de principios y así luchar por un mañana mejor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	X
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.Situación problemática:	2
1.2.Formulación de problema	4
a. Problema general:.....	4
b. Problema específico:.....	4
1.3.Justificación de la investigación:	4
1.4.Objetivos	5
a. Objetivo general.	5
b. Objetivos específicos.	6
II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	7
2.1. Bases teóricas	7
2.1.1. Generalidades sobre la oca	7
2.1.2. Distribución geográfica	7
2.1.3. Descripción botánica.....	8
2.1.4. Características taxonómicas de la oca	8
Nombre botánico:	9
Nombres comunes	9
2.1.5. Superficie sembrada, producción local y rendimiento del cultivo de oca	9
2.1.6. Cultivares en Andahuaylas	10
2.2.Los nutrientes y su presencia de tubérculos andinos	12
2.3.Análisis proximal de la oca	12
2.4.Almidón	12
2.4.1. Características del almidón	14
2.4.2. Fuentes y composición de almidón.....	14
2.4.3. Análisis proximal del almidón de tubérculos andinos	17
2.4.4. Aspecto microscópico y tamaño de los gránulos de almidón.....	18
2.4.5. Tamaño del granulo de almidón	18
2.4.6. Morfología del granulo de almidón	19
2.5.Propiedades de la pasta de almidón	19

2.5.1. Viscosidad	19
2.5.3. Fuentes industriales de almidón	20
2.5.4. Usos del almidón	20
2.5.5. Importancia del almidón	21
2.5.6. Grupos funcionales del almidón	22
2.5.7. Comportamiento térmico del almidón	22
2.5.8. Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	23
2.5.9. Reología	28
2.5.10. Clasificación reológica de los alimentos	32
2.6. Marco conceptual	33
2.6.1. Oca.....	33
2.6.2. Almidón	33
2.6.3. Amilopectina	33
2.6.4. Amilosa	33
2.6.5. Gelatinización.....	34
2.6.6. Hidratos de carbono	34
2.6.7. Tubérculo	34
2.6.8. Morfología	34
2.6.9. Propiedades térmicas	34
2.6.10. Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	35
2.6.11. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	35
2.6.12. Reología.....	36
2.7. Antecedentes de la investigación.....	36
2.7.1. Antecedentes internacionales	36
2.7.2. Antecedentes nacionales	39
III. HIPOTESIS Y VARIABLE.....	41
a. Hipótesis general.	41
b. Hipótesis específicos.	41
3.1. Identificación de variable e indicadores	42
a. Variables independientes:	42
b. Variables dependientes	42
3.1. Operacionalización de las variables	42
IV. METODOLOGIA	47
4.1. Lugar de ejecución.	47

4.2. Tipo y nivel de investigación	47
4.3. Unidad de análisis	47
4.4. Población de estudio.	47
4.4.1. Muestra.	48
4.5. Tamaño de muestra.....	48
4.6. Materiales y métodos.....	48
4.7. Equipos, materiales e instrumentos.	48
4.8. Método para la extracción de almidón.	50
4.9. Rendimiento de extracción de almidón de las variedades de <i>Oxalis tuberosa</i>	53
4.10. Métodos de análisis.....	54
4.10.1. Determinación de las características morfológicas de almidón de oca	54
4.10.2. Determinación de las propiedades térmicas de almidón de oca.....	54
4.10.3. Determinación de las propiedades reológicas de almidón de oca	55
4.11. Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	56
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
5.1. Características morfológicas de variedades de almidón de oca.....	57
5.1.1. Tamaño del almidón de variedades de oca.....	57
5.1.2. Formas de almidón de variedades de oca	60
5.2. Propiedades térmicas de variedades de almidón oca.	64
5.2.1. Temperatura de transición vítrea	64
5.2.2. Temperatura de cristalización.....	67
5.2.3. Temperatura de entalpia de proceso de gelatinización	69
5.3. Propiedades reológicas de variedades de almidón de oca.	71
5.3.1. Barrido de temperatura	71
5.3.2. Barrido de frecuencia.....	75
5.3.3. Curva de fluidez y viscosidad	79
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFIA	87
ANEXOS.....	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Superficies sembradas, producción y rendimiento de la oca.....	9
Tabla 2	Aspectos ecológicos y fito geográficos de la oca	11
Tabla 3	Análisis proximal de la oca	12
Tabla 4	Características del almidón de algunos productos comunes.	17
Tabla 5	Análisis químico proximal del almidón de tubérculos andinos.....	17
Tabla 6	Tamaños y morfología de los gránulos de almidón	18
Tabla 7	Funciones del almidón en diversos productos alimenticios.	21
Tabla 8	Operacionalización de las variables	42
Tabla 9	Lista de equipos de investigación.....	48
Tabla 10	Lista de materiales e instrumentos de investigación.....	49
Tabla 11	Lista de reactivos utilizados en la investigación	50
Tabla 12	Estadístico de tamaño de almidones de las variedades de oca	57
Tabla 13	Estadístico de las formas de los almidón de variedades de oca.....	61
Tabla 14	Temperatura de transición vítrea del almidón de vareidades de oca	65
Tabla 15	Temperatura de cristalización del almidón de variedades de oca.....	68
Tabla 16	Temperatura de entalpia de gelatinización del almidón de variedades de oca.	70
Tabla 17	Parámetros reológicos del almidón de las variedades de oca.	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estadísticas de producción de las variedades de oca en la provincia de Andahuaylas - Apurímac.....	10
Figura 2 Fotografía de variedades de ocas estudiadas	11
Figura 3 Estructura química de enrollamiento helicoidal de la amilosa.	15
Figura 4 Estructura química de la amilopectina.	16
Figura 5 Estructura del almidón (A) amilosa, (B) amilopectina.....	16
Figura 6 Termograma de calorimetría diferencial de barrido (DSC).	23
Figura 7 Termograma de transiciones térmicas comunes DSC.....	24
Figura 8 Temperatura de transición vítrea (T_g).....	26
Figura 9 Temperatura de cristalización (T_c)	27
Figura 10 Diagrama de bloques del proceso de extracción de almidón de oca	51
Figura 11 Micrografías de SEM de almidón de variedades de oca.....	58
Figura 12 Análisis de tamaño y distribución de gránulos de almidón de oca	59
Figura 13 Análisis de forma de gránulos de almidón de variedades de oca.	62
Figura 14 Temperatura de transición vítrea de almidón de variedades de oca.	64
Figura 15 Temperatura de cristalización de almidón de variedades de oca.	67
Figura 16 Temperatura de entalpia de gelatinización del almidón de variedades de oca.	69
Figura 17 Curvas de barrido de temperatura del almidón de variedades de oca.....	72
Figura 18 Temperatura de gelatinización del almidón de variedades de oca.	74
Figura 19 Curvas de barrido de frecuencia de almidón de variedades de oca.	76
Figura 20 Curvas de fluidez y viscosidad de almidón de Huairi chuchu – oca roja.	80
Figura 21 Curvas de fluidez y viscosidad de almidón de Kheni harinosa – oca amarilla.	80
Figura 22 Curvas de fluidez y viscosidad de almidón de Lunchcho – oca blanca.....	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	100
Anexo 2. Datos de tamaño y forma	102
Anexo 3. Datos de las propiedades térmicas	105
Anexo 4. Análisis de varianza de temperaturas.....	111
Anexo 5. Datos del comportamiento reológicas.....	113
Anexo 6. Balance de masa de extracción de almidón de las tres variedades de oca (Oxalis tuberosa)	117
Anexo 7. Ficha técnica de variedades de oca (Oxalis tuberosa).....	120
Anexo 8. Panel fotográfico	122

SIMBOLOS Y UNIDADES

SEM	: Microscopio electrónico de barrido
DSC	: Calorimetría diferencial de barrido
μm	: Micrómetro
$^{\circ}\text{C}$	: Grados Celsius
G'	: Módulo de almacenamiento
G''	: Módulo de pérdida
cm	: Centímetro
m	:Metro
MINAGRI	: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
g	:Gramo
mg	:Miligramo
μ	:Micra
min	: Minuto
mL	: Mililitro
T_0	: Temperatura inicial
T_p	: Temperatura de pico
T_f	: Temperatura final
RVL	: Región viscoelástica lineal
s	:segundo
DCA	: Diseño completamente al azar
Kg	: Kilogramo
ha	: Hectarea

RESUMEN

El presente estudio evaluó comparativamente las características morfológicas, las propiedades térmicas y el comportamiento reológico del almidón extraído de tres variedades de *Oxalis tuberosa* (Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho), con el propósito de determinar su potencial de aplicación en la industria alimentaria. La morfología de los gránulos se analizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), las propiedades térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y el comportamiento reológico utilizando un reómetro dinámico. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre las variedades. Huairi chuchu presentó los gránulos de mayor tamaño promedio (30,17 μm), forma ovalada alargada, baja variabilidad granulométrica y la mayor estabilidad térmica ($T_v = 62,48\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_c = 72,94\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\Delta H = 2,01\text{ J/g}$), además de formar geles más compactos. Kheni harinosa mostró mayor heterogeneidad en tamaño y forma de los gránulos, estabilidad térmica intermedia y un comportamiento reológico equilibrado, características que favorecen su uso en formulaciones con diferentes texturas. Por su parte, Lunchcho presentó gránulos más redondeados, menores temperaturas de transición térmica, rápida gelatinización y mayor viscosidad, lo que la hace adecuada para productos que requieren elevada resistencia al flujo. En conjunto, las diferencias observadas demuestran que el almidón de *Oxalis tuberosa* posee propiedades funcionales específicas según la variedad, ampliando sus posibilidades de aprovechamiento tecnológico y promoviendo el uso sostenible de este cultivo andino.

Palabras Clave: Almidón, Oca, Morfología, Reología, Térmicas.

ABSTRACT

This study comparatively evaluated the morphological characteristics, thermal properties, and rheological behavior of starch extracted from three varieties of *Oxalis tuberosa* (Huairi chuchu, Kheni harinosa, and Lunchcho) to determine their potential applications in the food industry. Granule morphology was analyzed using scanning electron microscopy (SEM), thermal properties using differential scanning calorimetry (DSC), and rheological behavior using a dynamic rheometer. The results showed significant differences among the varieties. Huairi chuchu exhibited the largest average granule size (30.17 μm), an elongated oval shape, low granulometric variability, and the greatest thermal stability ($T_v = 62.48\text{ }^\circ\text{C}$, $T_c = 72.94\text{ }^\circ\text{C}$, and $\Delta H = 2.01\text{ J/g}$), in addition to forming more compact gels. Kheni floury starch showed greater heterogeneity in granule size and shape, intermediate thermal stability, and balanced rheological behavior, characteristics that favor its use in formulations with different textures. Lunchcho, on the other hand, presented more rounded granules, lower thermal transition temperatures, rapid gelatinization, and higher viscosity, making it suitable for products requiring high flow resistance. Taken together, the observed differences demonstrate that *Oxalis tuberosa* starch possesses specific functional properties depending on the variety, expanding its potential for technological applications and promoting the sustainable use of this Andean crop.

Keywords: Starch, Goose, Morphology, Rheology, Thermal.

INTRODUCCION

El almidón es un producto importante que se encuentra en raíces y tubérculos. Las propiedades del almidón varían según su fuente de origen, y es un componente ampliamente utilizado en las industrias alimentarias y no alimentarias. En la región se cultivan diversos tipos de tubérculos, como la oca, que son consumidos por la población rural. Sin embargo, se ha observado una venta generalizada de este tubérculo. Para aumentar la capacidad de cultivo, es imprescindible caracterizar el almidón de oca, para diferencias de acuerdo a las variedades para su uso industrial.

En este contexto, el almidón de *Oxalis tuberosa* Oca representa una alternativa viable para la industrialización, debido al creciente interés por productos bajos en carbohidratos que prevengan enfermedades como diabetes y obesidad. Aunque poco aprovechada en Perú, su potencial como insumo o aditivo alimentario es prometedor por sus propiedades únicas de temperatura de gelatinización y comportamiento reológico de acuerdo a la forma y tamaño de los gránulos de almidón.

Por lo tanto, la investigación tiene como objetivo evaluar las características morfológicas, propiedades térmicas y comportamiento reológico del almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Oca: Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho, con miras a su potencial uso en la industria alimentaria y no alimentaria. Con este fin, se llevaron a cabo análisis morfológico a partir de imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido (SEM). Luego las propiedades térmicas por calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis reológico por reómetro Anton Paar. Esto permite conocer y describir las propiedades de las variedades de almidón que fueron estudiadas en el trabajo de investigación realizada para clasificar las variedades según su forma, tamaño,

comportamiento térmico y reológico, facilitando su uso en gastronomía, industria alimentaria y no alimentaria.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática:

La región andina se caracteriza por cultivar una amplia variedad de tubérculos andinos, en la región de Apurímac los agricultores cultivan la oca siendo un cultivo autóctono de los Andes, este cultivo se desarrolla en altitudes que oscilan entre los 2.800 y 4.100 m.s.n.m., la cual no está siendo valorada (García, et al., 2023), a pesar de tener altas propiedades nutricionales y contenido de almidón (Cáceres y Valerio, 2021), un problema que ha surgido en nuestro entorno en los últimos años ha sido el decaimiento de la producción de este tubérculo. Según Ministerio de Agricultura, en Apurímac para el año 2022 la producción de oca fue 12.884,40 t/ha, pero para el año 2023 bajo la producción a 11.289,40 t/ha. Este tubérculo es considerado un alimento fundamental para los habitantes andinos, porque consumen de diversas maneras: sopa, pasteles o en guisos. A pesar de su importancia en la dieta local, la oca no es fácil de encontrar en los mercados locales o nacionales debido a que es un producto estacional.

En el distrito de José María Arguedas, ubicado en la provincia de Andahuaylas, se cultiva tradicionalmente la oca de variedades Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho, tubérculos que es parte complementaria de la dieta de la población local debido a sus propiedades beneficiosas y nutricionales para la salud. Sin embargo, estas características tan destacadas no están siendo aprovechadas de manera adecuada. Por tanto, se propone llevar a cabo diversos estudios para poder dar el óptimo uso al cultivo.

La oca presenta un alto contenido de almidón, que varía entre un 28,28% y un 45,89% (Surco Laos, 2004). Además, posee un 88,19% de azúcares totales y un contenido de humedad del 77,73% (Jiménez y Sammán, 2014). Estas características hacen de la oca

un producto prometedor para la alimentación. Aunque su composición incluye un 29% de amilosa y un 76% de amilopectina, actualmente existen pocos productos derivados de este tubérculo. Sin embargo, debido a la singularidad de su composición y las propiedades del almidón que contiene, la oca tiene un gran potencial para ser aprovechada en la industria alimentaria y no alimentaria.

El almidón son la fuente de carbohidratos más abundantes en la naturaleza; pero muchos de estas materias primas no están siendo caracterizadas como por ejemplo los tubérculos andinos tal es el caso de oca, uno de los mayores componentes de este tubérculo es el almidón (Velásquez, 2011). El almidón de oca no es aprovechable para aplicaciones industriales, en parte debido a la dificultad en la extracción del almidón puro y a falta de disponibilidad de información sobre sus propiedades que poseen y son menos conocidos (Narayana, 2002). En nuestro país, el almidón más comercializado de los tubérculos andinos son los de maíz, papa, yuca y arroz. Sin embargo, existen otras fuentes menos conocidas, como el almidón de la oca, por lo que resulta necesario realizar estudios sobre sus propiedades morfológicas, térmicas y reológicas (Castañeta, 2022).

El estudio de las características morfológicas, propiedades térmicas y reológicas de diferentes variedades de almidón *Oxalis tuberosa* es fundamental para comprender cómo las modificaciones en los gránulos de almidón afectan sus propiedades y su aplicación industrial en la industria de alimentaria y no alimentaria. Estas modificaciones pueden tener impacto en aspectos como la consistencia, poder aglutinante, gelificante, dispersión y fluidez del almidón, por lo que es esencial analizar en detalle su comportamiento (Badui, 2006). Por ello en el presente trabajo de investigación se hizo el estudio de almidón en tres variedades de *Oxalis tuberosa* evaluando las características morfológicas, propiedades térmicas y reológicas, para darle un valor agregando al tubérculo y mejorar su producción, generando alternativas de comercialización y mejores

fuentes económicas que beneficien a los productores que se dedican en cultivar este tipo de cultivo.

1.2. Formulación de problema

a. Problema general:

- ¿Qué características morfológicas, propiedades térmicas y comportamiento reológico presentarán el almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho?

b. Problema específico:

- ¿Cuáles son las características morfológicas de los gránulos del almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho?
- ¿Cuáles son las propiedades térmicas del almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho?
- ¿Cómo será el comportamiento reológico del almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho?

1.3. Justificación de la investigación:

El almidón es un carbohidrato complejo fundamental en la dieta humana, utilizado ampliamente como fuente de energía y en diversas aplicaciones industriales. En este contexto, las variedades de *Oxalis tuberosa* como Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho, presentan una gran diversidad de características físicas y bioquímicas, lo que hace necesario estudiar sus almidones con el fin de entender sus propiedades y potenciales aplicaciones.

El interés por evaluar las características morfológicas del almidón de las variedades de *Oxalis tuberosa* radica en la importancia de conocer la estructura física y

la composición de los gránulos de almidón, ya que estas propiedades influyen directamente en su comportamiento durante el procesamiento y en sus aplicaciones tecnológicas. La determinación de las propiedades térmicas es igualmente relevante, dado que estas afectan el comportamiento del almidón bajo distintas condiciones de temperatura, lo cual tiene mucha importancia para su uso en la industria alimentaria y otras aplicaciones tecnológicas como la producción de biopolímeros.

El análisis del comportamiento reológico de los almidones, por su parte, permite estudiar sus características de flujo y viscosidad, lo que impacta directamente en su rendimiento durante la preparación de alimentos o en procesos industriales. La combinación de estas tres dimensiones de estudio proporcionará una visión integral de las propiedades fisicoquímicas del almidón de *Oxalis tuberosa*, lo que permitirá identificar cuál de estas variedades podría ofrecer mejores ventajas para el consumo humano o su aplicación en otras industrias.

Este estudio contribuirá a ampliar el conocimiento sobre los almidones de todas las especies nativas y menos exploradas, promoviendo el aprovechamiento de recursos vegetales autóctonos, lo que puede ser de gran valor para la diversificación de la dieta y el impulso de tecnologías sostenibles basadas en fuentes locales.

1.4. Objetivos

a. Objetivo general.

- Evaluar las características morfológicas, propiedades térmicas y comportamiento reológico que presentaran el almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho.

b. Objetivos específicos.

- Determinar las características morfológicas de los gránulos del almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho.
- Determinar las propiedades térmicas del almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho.
- Determinar el comportamiento reológico de almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho.

II. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Generalidades sobre la oca

Los Andes del Perú se destacan como uno de los principales productores de variedades de oca, todas ellas comparten similitudes en su modalidad de producción. Actualmente, se le concede gran importancia al estudio de la caracterización de propiedades morfológicas, térmicas y reológicas de la oca, tanto en el ámbito científico como en la industria de alimentos. Sin embargo, otros tubérculos, a pesar de sus cualidades nutricionales y productivas, han sido dejados de lado y solo se cultivan de manera empírica (Avalos Moran & Vivero Delgado, 2013).

2.1.2. Distribución geográfica

La oca es un cultivo de gran importancia y se cultiva principalmente en las tierras frías altas de los Andes de Sudamérica, que se encuentran a una altitud de 3000 a 3800 metros sobre el nivel del mar (Tabla 2). Después de la papa, es la especie tuberosa más cultivada en la región andina, especialmente en Perú, Ecuador y Bolivia, donde se estima que se cultivan alrededor de 32,000 hectáreas. Los rendimientos de este cultivo varían entre 6 y 12 toneladas por hectárea (Caceres y Valerio, 2021). En la actualidad la superficie cultivada decae a 14,246 hectáreas con una producción de 15.8 toneladas por hectárea como se muestra en la (Tabla 1) (MINAGRI, 2023).

La oca, un tubérculo andino originario de las zonas altas agro-ecológicas de los Andes en la región central del Perú y el norte de Bolivia, ha sido domesticada junto con otros tubérculos andinos, como la papa. Se cree que su introducción a la actividad agrícola en estas zonas se produjo al mismo tiempo que la papa. Aproximadamente hace 200 ó 300 años a.c., se empezó a cultivar oca en México. Sin embargo, no fue hasta el siglo

pasado cuando este tubérculo fue introducido en Europa y en Nueva Zelanda, el cultivo de oca data desde 1860, pero en los últimos 20 años ha ganado popularidad de manera significativa (Quispe, 2019).

2.1.3. Descripción botánica

La altura de la planta de oca fluctúa entre los 20 y 70 cm, presentando tallos tubulares y jugosos con una ligera pubescencia. Sus hojas son alternas y trifoliadas. La inflorescencia varía ampliamente, pero siempre se produce solo una flor. La oca no produce frutos. Su periodo de crecimiento es de 220 días para las variedades más tempranas y de 269 días para las más tardías. La formación de tubérculos es alrededor de los 110 días después de la germinación. Su crecimiento máximo entre los 170 y 230 días (Tapia y Fries, 2007).

Cárdenas (1985), expresa las diferencias más notables entre las numerosas propiedades físicas y morfológicas basadas en el color de los tubérculos por los polifenoles. Considerando este rasgo, se sugiere agrupar las ocas en tres formas distintas: alba, flava y roseo-violácea. La variación en la forma de los tubérculos es menos pronunciada que la variación en su pigmentación, lo cual podría llevarnos a reducir todas las formas a tres tipos: ovoide, claviforme y cilíndrico. En los tubérculos de tipo ovoide y cilíndrico, el extremo del estolón presenta una curvatura. Los tratamientos que se dan al cultivo son bastantes similares que los que se dan a la papa; se siembra asociada con ulluco, mashua y papa nativa en parcelas de hasta aproximadamente 1000m².

2.1.4. Características taxonómicas de la oca

Según Cruz Hilacondo (2019), las características taxonómicas de la oca *Oxalis tuberosa* se describen de la siguiente manera.

Nombre botánico: *Oxalis tuberosa*.

Taxonomía:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Geraniales

Familia: Oxalidáceas

Género: *Oxalis*

Nombres comunes: Oca, oqa (Perú); apilla (aymara Bolivia, Perú); ibia (Colombia); cuiba (Venezuela).

2.1.5. Superficie sembrada, producción local y rendimiento del cultivo de oca

La Oca es un cultivo de subsistencia y autoconsumo, que se caracteriza por no ser tan exigentes en suelos ni fertilizantes, solo son exigentes en clima calidos. Se cultivan en diversos campos de producción en las diferentes provincias y distritos de la región de Apurímac.

Tabla 1

Superficies sembradas, producción y rendimiento de la oca

Nº	Año	Superficie sembrado por (ha)	Producción (Tm/ha)
1	2015	13584	15.3
2	2016	14136	16.4
3	2017	14885	17.4
4	2018	13037	18.4
5	2019	12788	16.1
6	2020	13100	13.5
7	2021	14105	13.5
8	2022	12660	15.6
9	2023	13505	15.7
10	2024	14246	15.8

Fuente: (MINAGRI, 2023)

2.1.6. Cultivares en Andahuaylas

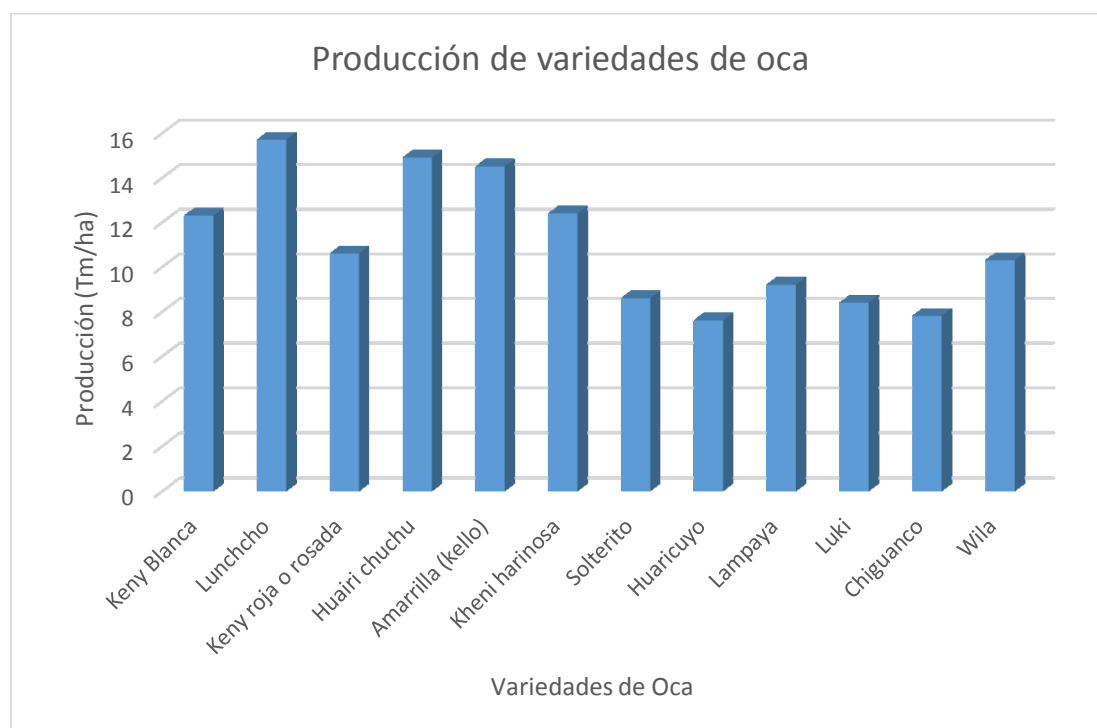
Según MINAGRI (2023), en Andahuaylas se tienen los siguientes cultivares de oca.

En la (Tabla 1), se muestra los aspectos ecológicos y fito geográficos de la oca para su mejor producción de las variedades mencionadas.

- Keny blanca
- Lunchcho
- Keny roja o rosada
- Huairi chuchu
- Amarilla (kello)
- Kheni harinosa
- Solterito
- Huaricuyo
- Lampaya
- Luki
- Chiguanco
- Wila

Figura 1

Estadísticas de producción de las variedades de oca en la provincia de Andahuaylas - Apurímac



Fuente: (MINAGRI, 2023)

Figura 2

Fotografía de variedades de ocas estudiadas



Huairi chuchu (Roja)



Kheni harinosa (Amarilla)



Lunchcho (Blanca)

Tabla 2

Aspectos ecológicos y fito geográficos de la oca

Aspecto	Oca
Altitud	2000 - -4000 m
Clima	Semi-húmedo
Suelo	Laderas andinas
Conservación	Khaya o okhaya y chuño
Plagas importantes	Crisomélidos y nematodos
Fuente: (Espín <i>et al.</i> , 2004).	

2.2. Los nutrientes y su presencia de tubérculos andinos

Los cultivos ancestrales se incluyen en la alimentación del habitante del ande debido a su aporte nutricional, composición química (Tabla 3), así como a propiedades estructurales, térmicas y reológicas específicas; produce ganancias económicas y contribuye a la seguridad alimentaria del habitante, razón por la cual su preservación es relevante (FAO, 2010).

2.3. Análisis proximal de la oca

Según León y Villacorta (2011), la oca presenta el siguiente análisis proximal.

Tabla 3

Análisis proximal de la oca

Composición	Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)
Humedad (g/100g)	86.79
Proteína (g/100g)	0.77
Estracto etéreo (g/100g)	0.47
Fibra cruda (g/100g)	0.78
Carbohidratos (g/100g)	10.41
Cenizas (g/100g)	0.78
Fósforo (g/100g)	28.20
Hierro (g/100g)	12.53
Calcio (g/100g)	17.18
Cinc (g/100g)	1.79
Vitamina A (UI/100 g)	0.99
Vitamina B1 (mg/100 g)	0.05
Vitamina B2 (mg/100 g)	0.94
Vitamina B3 (mg/100 g)	1.09
Vitamina B12 (mg/100 g)	0.91
Vitamina C (mg/100 g)	39.68

Fuente: (León y Villacorta, 2011).

2.4. Almidón

Las regiones tropicales presentan una amplia diversidad de raíces y tubérculos. Estas plantas se caracterizan por tener un contenido de agua que oscila entre el 70% y

80%, mientras que su contenido de almidón alcanza entre el 16% y 24%. Además, presentan cantidades mínimas de proteínas y lípidos, que no superan el 4% (Hoover, 2001).

El almidón se caracteriza por ser un polisacárido semicristalino. Esto se debe a su contenido de amilosa y la distribución de la longitud de la cadena ramificada de la amilopectina, que representa entre el 70% y 80% de su peso total. Esta proporción se mantiene constante sin importar el tamaño de los gránulos (Singh & Kaur et al., 2014).

Por otra parte el almidón poseen moléculas de amilopectina con una alta proporción de cadenas ramificadas largas presentan niveles más elevados de cambios de temperatura y entalpía de gelatinización (Jane et al., 1999; Kasemsuwam et al., 1998; Franco et al., 2002). La presencia de grupos monoéster de fosfato en la amilopectina disminuye la temperatura de gelatinización del almidón. (Jane et al., 1999). Las características físicas y químicas del almidón, así como sus propiedades funcionales, están determinadas por su naturaleza, morfología y estructural (Kaur et al., 2007).

La organización de los gránulos de almidón es un proceso altamente complejo que depende en gran medida de su origen botánico. Estos gránulos se encuentran de forma natural como gránulos en forma globulares o circulares dentro de las células vegetales y son almacenados en los amiloplastos (Santacruz, 2004).

El polisacárido, componente del almidón, se compone de moléculas de glucosa en forma de granos, que generalmente poseen formas circulares o irregulares. Las dimensiones fluctúan entre 2 micrómetros y 100 micrómetros, siendo específicas de cada especie de vegetación. En su composición, el polisacárido está conformado por una mezcla de dos sustancias: la amilosa y la amilopectina, las cuales se diferencian

únicamente por su estructura. Asimismo, este polisacárido aporta a la dieta de los seres humanos más calorías que cualquier otra sustancia (Melian, 2010).

2.4.1. Características del almidón

La estructura del almidón se compone de partículas llamadas gránulos, los cuales poseen características únicas en cuanto a su forma, composición química y estructura molecular que varían según la especie. Cuando estos gránulos se extraen y se secan, adquieren la apariencia de un polvo blanco.

El gránulo de almidón está formado por múltiples capas que rodean una región central conocida como núcleo. Esta estructura le confiere al gránulo de almidón cierta resistencia mecánica y lo hace prácticamente insoluble en agua fría (Whistler, 1984).

Tester y Debon (2000) hacen referencia que usualmente, el gránulo de almidón se compone de amilosa y amilopectina, representando alrededor del 98-99% del peso en seco.

2.4.2. Fuentes y composición de almidón

El almidón es un polímero de glucosa parcialmente cristalino y parcialmente amorfo (Quispe, 2018), es visto como un elemento de reserva (carbohidrato) en ciertas plantas como la oca, y tiene características térmicas y reológicas distintivas y relevantes para el procesamiento de alimentos.

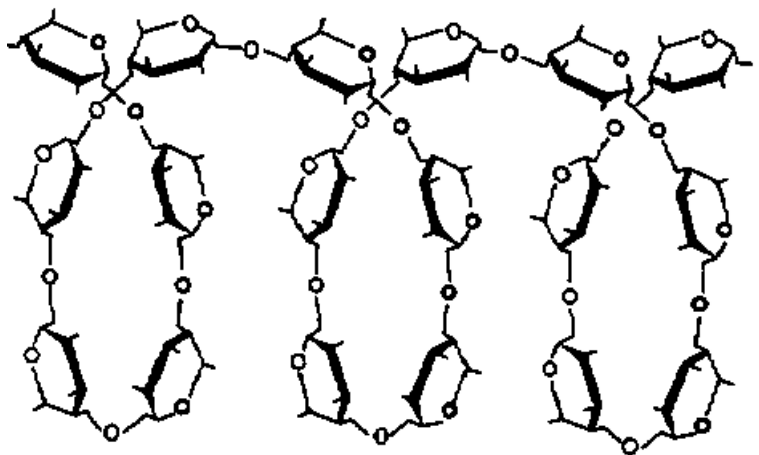
a) La amilosa

En la composición de los gránulos de almidón se encuentran esencialmente un polímero lineal; porque forma cadenas largas lineales donde los monosacáridos se unen a través de enlaces glucosídicos α -D-(1,4) en los gránulos de almidón este polímero está presente en forma cristalina (por lo que solamente se hincha a temperaturas elevadas), debido principalmente al gran número de enlaces hidrogeno existentes entre los grupos hidroxilos (Badui, 2006). Charley (2008), la amilosa es fácilmente soluble en agua y

forma una solución ligeramente viscosa difícil de gelatinizar, tiende a formar estructuras helicoidales, capaces de incluir otras moléculas como ácidos grasos o hidrocarburos. En la (figura 3) se presenta la estructura química (Badui, 2006).

Figura 3

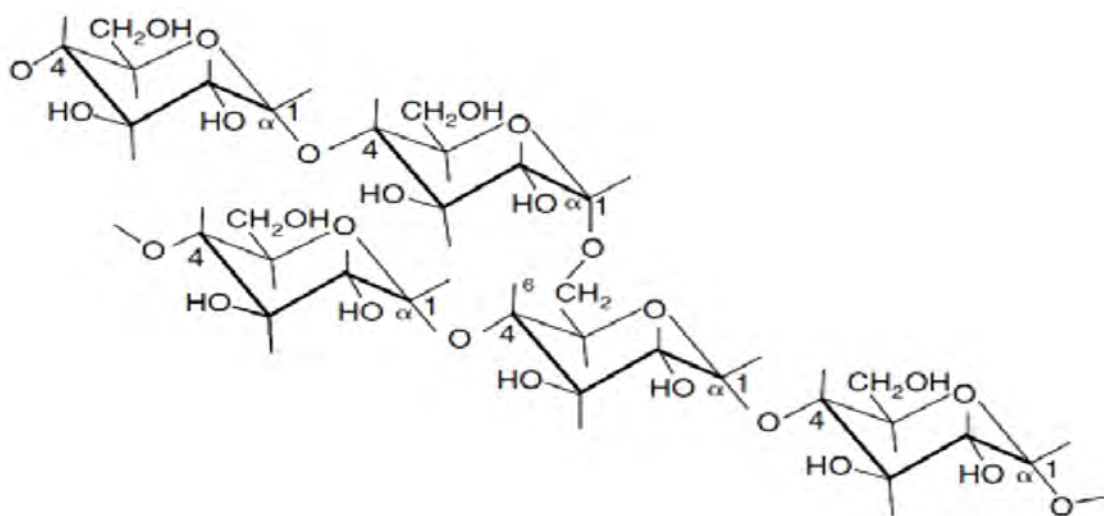
Estructura química de enrollamiento helicoidal de la amilosa.



Fuente: (Badui, 2006).

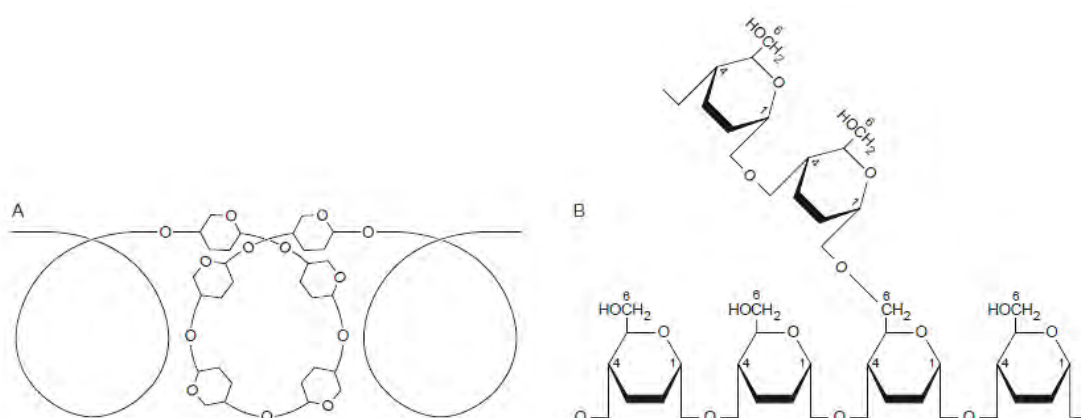
b) La amilopectina

La amilopectina es un polímero muy ramificado y tiene mayor estabilidad que la amilosa por ello su tendencia a la retrogradación después de la gelatinización es mucho menor. Lo cual es muestra la diferencia con respecto a la amilosa. Estas ramificaciones que están incorporadas a la cadena principal ubicadas cada 15 a 25 unidades lineales de glucosa con enlaces α -D-(1,6) (Badui, 2006). La proporción relativa de amilosa y amilopectina varía de un almidón a otro. En general, el almidón contienen más amilopectina que amilosa, la mayor parte del almidón contienen entre 20 y 25% de amilosa, para el isaño y la oca está entre 26 y 29% (Coultate, 1998). En la (Figura 4) se representa la estructura química (Badui, 2006).

Figura 4*Estructura química de la amilopectina.*

Fuente: (Badui, 2006).

También se muestra el enrollamiento helicoidal de la amilosa y estructura química de la amilopectina donde nos ayudara a diferencias las estructuras de acuerdo al comportamiento de la amilosa y amilopectina en la Figura 5, se muestra la diferencia de la estructura de almidón de amilosa espiral helicoidal y amilopectina que muestra punto de ramificación (Harper y Murray, 2009).

Figura 5*Estructura del almidon (A) amilosa, (B) amilopectina.*

Fuente (Harper y Murray, 2009).

En la Tabla 4, se muestra las características del almidón algunos productos comunes como: porcentaje de amilopectina y amilosa y el tamaño de algunos tubérculos

y granos de alto contenido de almidón y esto nos ayudara a dar una panorama mucho mejor para diferencia el contenido del almidón de algunos productos comunes.

Tabla 4

Características del almidón de algunos productos.

Tipo	Amilopectina%	Amilosa%	Tamaño (micras)
Maíz	73	23	5 – 25
Maíz amiláceo	20 – 45	55 – 80	5 – 25
Papa	78	22	5 – 100
Arroz	83	17	2 – 55
Yuca	82	18	5 – 35
Maíz céreo	99 – 100	0 – 1	5 – 25
Sorgo	99 – 100	0 – 1	5 – 45
Trigo	76	24	11 – 41
Oca	71	29	20 – 29
Mashua	73	27	5 – 10

Fuente: (Badui, 2006).

2.4.3. Análisis proximal del almidón de tubérculos andinos

En la Tabla 5, se muestra el análisis químico proximal del almidón de tubérculos andinos por cada 100 g de muestra.

Tabla 5

Análisis químico proximal del almidón de tubérculos andinos

Determinación (g/100g)	Oca	Olluco	Mashua
Humedad	84.50	85.90	86.95
Proteína	0.97	1.00	1.20
Grasa	0.80	0.0	0.02
Cenizas	0.57	0.52	0.70
Fibra	0.76	0.58	0.79

Fosforo	0.03	0.04	0.05
Carbohidratos	13.16	12.58	10.95

Fuente: (Surco,2004).

*(%)

2.4.4. Aspecto microscópico y tamaño de los gránulos de almidón

En la Tabla 6, se muestra los gránulos de almidón pueden reconocerse por su forma y tamaño. El tamaño y la forma están relacionados con la fuente biológica del cual fue aislado el almidón (Reyes, 2007).

Tabla 6

Tamaños y Morfología de los gránulos de almidón

Tubérculo	Eje mayor (micras)	Eje menor (micras)	Forma
Oca	30,94	19,13	Ovoidal
Melloco	24,06	16,45	Ovoidal
Mashua	15	13,07	Esférica
Miso	13,88	9,96	Esférica
Zanahoria blanca	9,57	5,86	Esférica
Papa	30,90	19,72	Ovoidal

Fuente: (Espín *et al.*, 2004)

2.4.5. Tamaño del granulo de almidón

En general, el tamaño fluctúa entre menos de 1 μ a más de 100 μ (Tabla 5) generalmente, el tamaño del granulo está referido al diámetro promedio del granulo de almidón. Las superficies de los gránulos de almidón de oca eran lisas, planas, no presentaban grietas evidentes y mostraban formas ovales y poligonales (Reyes, 2007). Lideboom, Chang y Tyler (2004), proponen que los tamaños de los gránulos de almidón están comprendidos dentro de la siguiente clasificación: grandes (>25 μ), mediano (10 – 25 μ), pequeño (5 - 10 μ) y muy pequeño (<5 μ).

2.4.6. Morfología del granulo de almidón

La estructura de los gránulos de almidón varía en cada clase de oca y melloco. Estos pueden presentar formas ovoides, como en la mashua, miso y la zanahoria blanca; usualmente son esféricas. Espín *et al.*, (2004) Los gránulos de almidón proveniente de diversas especies botánicas difieren en su morfología. Además presentan forma ovalada, redondeada, esférica y poligonal en tubérculos y raíces; en almidones de frijoles y arvejas exhiben formas de discos con un corte central, final o en sus alrededores. Algunos almidones de nueces tienen una inusual morfología de media esfera, aunque la mayoría presenta forma redondeada (Reyes, 2007).

2.5. Propiedades de la pasta de almidón

2.5.1. Viscosidad

Cuando el almidón es expuesto a calor y se encuentra en contacto con agua, experimenta alteraciones reológicas. Igualmente, el calentamiento produce un líquido formado por poros, en el que se hallan gránulos dilatados y gelatinizados con amilopectina suspendida en la solución caliente de amilosa (Morris, 1990 mencionado por (Raygada, 2011)).

Los equipos comúnmente usados para registrar los cambios de viscosidad de soluciones o pastas de almidón calentadas son el viscosímetro Scott, el viscosímetro Brookfield y el viscosímetro Brabender (amilografo) el cual es muy utilizado (Lewis, 1993).

2.5.2. Grado de gelatinización:

Se realiza la medición de la entalpia de gelatinización de cada una de las muestras de almidón gelatinizada, en un calorímetro de barrido diferencial (TA Instruments, DSC Q20), aplicando un procedimiento de medición ajustado y adaptado de trabajos de otros investigadores (Ricci *et al.*, 2018). Para establecer el nivel de gelatinización, es necesario

preparar 25 mg de almidón en agua destilada, almacenados en un pan o capsula de aluminio sellados herméticamente, y sometidos a un calentamiento de 10°C/min desde 20°C hasta 100 °C.

2.5.3. Fuentes industriales de almidón

El maíz la papa y cereales son fuentes industriales de almidón en todo el mundo, representa una producción de mil millones de toneladas al año. De los cuales más de la mitad se utiliza como alimento para personas después de un procesado mínimo, mientras que el resto soporta las transformaciones industriales (Vega y Bontoux, 2000).

La producción industrial de almidón proveniente del maíz ocupa el primer lugar con 20 millones de toneladas, 1.2 millones de toneladas proviene del trigo, 1.3 millones de toneladas proviene de las papas, 2000 toneladas de arroz, seguidos de yuca, camotes, sorgo (Nagahama y Troung, 1994 mencionado por Cui, 2005).

Beltiz (1997) menciona que en el año 1980, el 77% de la producción global de almidón proviene del maíz, el 10% de la papa, el 8% de la mandioca y el 4% del trigo. Las leguminosas, como otras fuentes de almidón, resultan beneficiosas en la elaboración de reemplazos de almidón modificado químicamente.

2.5.4. Usos del almidón

El uso de productos amiláceos crece por la industria de platos preparados y la demanda de consumidores, mejorando textura, apariencia, humedad, consistencia y estabilidad en alimentos.

Los almidones permiten reemplazar ingredientes más costosos y facilitar la fabricación de diferentes productos ,se les utiliza para espesar o fluidificar, para clarificar o volver opaco, para traer la humedad o repelerla para producir texturas cortas o largas lisas o pulposas , revestimiento blandos o crujientes, los almidones u sus productos derivados se utilizan en fabricaciones tan diversas como las conservas, los productos

frescos o ultracongelados, las bebidas, los productos de panadería, los productos deshidratados o extruidos (Linden y Loriet, 1994).

En la Tabla 7, se muestra las funciones del almidón en diversos productos alimenticios estos nos ayuda a entender la importancia en la industria alimentaria para diferentes fines como: aditivos alimentarios o insumos alimentarios.

Tabla 7

Funciones del almidón en diversos productos alimenticios.

Función	Alimento
Adhesión	Rebozados, revestimiento
Anti – adhesión	Pan, gomas
Ayuda a la fluidez	Materias grasas, polvo para fermentar
Anti – endurecimiento	Productos de panadería
Encofrado	Confitería
Encapsulado	Aceites esenciales y aromas
Espesante	Salsas, sopas
Confección	Carne, productos para animales domésticos
	Confitería
	Confitería, pastelería
	Albóndigas de carne, patatas, extruidos
	Marshmallows, bebida
	Carnes, productos de panadería
	Bebidas, salsas para ensaladas emulsificantes

Fuente: (Linden y Loriet, 1994).

2.5.5. Importancia del almidón

En la alimentación, la energía requerida se obtiene de fuentes de almidón, particularmente de sus unidades de glucosa hidrolizada. Debido a sus características tecnológicas y funcionales, se utiliza extensamente en las industrias de alimentos para conseguir diversas texturas. Como fuente de almidón el banano verde es muy competitivo según estudios realizados; este contiene aproximadamente un 70%, cantidad que es

comparable con la que presentan algunos cereales como maíz, arroz (30-80%) y tubérculos (60-90%) (Melian, 2010).

2.5.6. Grupos funcionales del almidón

Los grupos funcionales son parte importante de la química orgánica. Por lo tanto cuando se encuentra en una molécula complicada que contiene varios grupos funcionales diferentes, se espera que las propiedades de cada molécula sean una mezcla de las propiedades de los distintos grupos presentes en diferentes mezclas (Thornton Morrison y Boyd, 1999).

Si cada molécula de monómero contiene justamente dos grupos funcionales, el crecimiento solo puede ocurrir en dos direcciones, con lo que se obtiene un polímero lineal como es el caso del Dacron. En el caso de almidón ciertos grupos funcionales como grupos hidroxilo (OH) proporcionan la reactividad química del almidón. Estos grupos más voluminosos que sustituyen al hidrogeno, evitan que se asocie la amilosa que ha escapado de los gránulos del almidón, mientras que los enlaces glucosídicos (C-O-C) definen la estructura y las propiedades funcionales del polisacárido(Charly, 2014)

2.5.7. Comportamiento térmico del almidón

Los análisis térmicos es un término que abarca numerosas técnicas, los cuales miden los cambios químicos o físicos de una sustancia cuando una muestra es sometida a lo largo del tiempo a un programa de temperatura controlada. Los productos alimentarios o los componentes de los alimentos son mezcla químicamente compleja. Pueden incluir moléculas pequeñas como son los polímeros naturales, tales como la amilosa y al amilopectina procedentes del almidón (Paul Singh y Heldman, 2009).

Las técnicas de análisis térmico moderno más popular son aquellas que siguen dinámicamente los cambios fisicoquímicos que experimenta una sustancia durante su

calentamiento o su enfriamiento. La calorimetría diferencial de barrido (DSC), el análisis térmico diferencial (DTA), y el análisis termogravimétrico (TGA) son tres técnicas termoanalíticas dinámicas habituales (Paul Singh y Heldman, 2009).

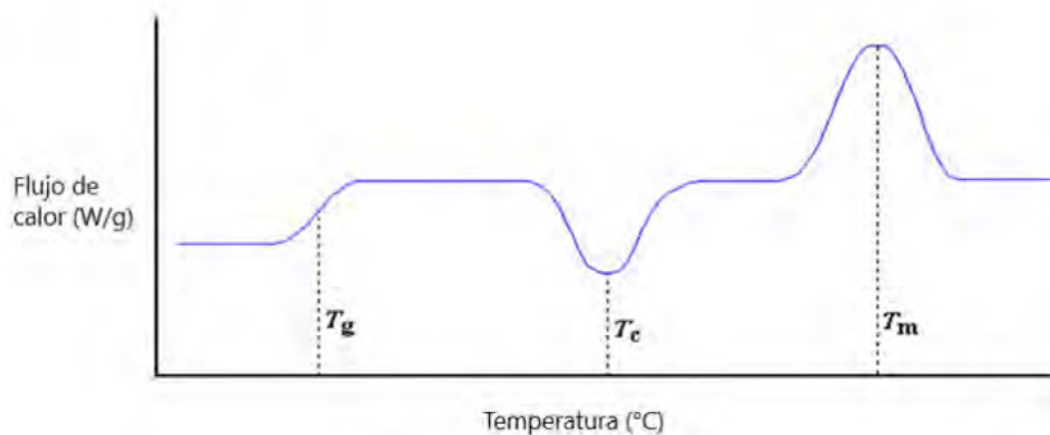
2.5.8. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC, por sus siglas en inglés) mide las entalpías asociadas con las transiciones y las reacciones, así como las temperaturas a las que se producen estos procesos; siendo la entalpía, la cantidad de calor a presión constante que transfiere una sustancia (Mosquera et al., 2015). La cantidad de agua influye en la temperatura del proceso térmico, por ello se emplea para detectar cambios endotérmicos o exotérmicos durante una medida dinámica en función de la temperatura que se manifiestan como picos de primer orden, y saltos en el flujo de calor o cambios de segundo orden (Martínez et al., 2019).

La calorimetría diferencial de barrido es una técnica avanzada que nos permite analizar de forma detallada cómo varía la capacidad calorífica de un material a medida que cambia su temperatura. Este método consiste en someter una muestra de masa conocida a un programa de calentamiento o enfriamiento controlado, mientras se registran los cambios en la cantidad de calor necesario para mantener la temperatura constante (Prieto, 2007).

Figura 6

Termograma de calorimetría diferencial de barrido (DSC).

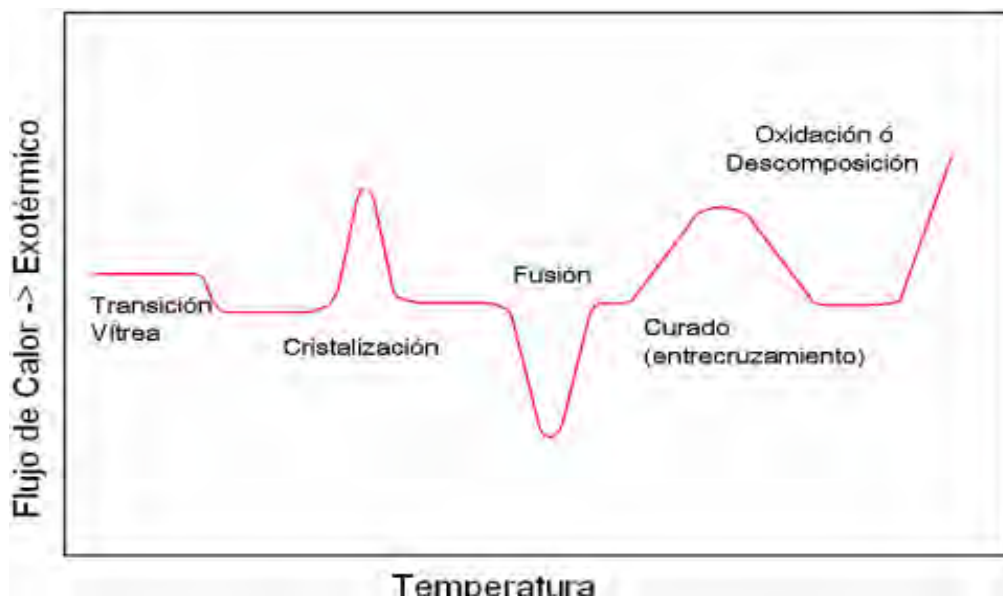


Fuente: (Prieto, 2007).

El DSC es capaz de detectar diversos tipos de transiciones (Figura 7) ocurridas en la muestra ensayada debido al calentamiento, una de las transiciones más comunes es la fusión cristalina (proceso endotérmico ya que la muestra debe absorber energía), que queda representada como un pico en la curva del flujo de calor.

Figura 7

Termograma de transiciones térmicas comunes DSC.



Fuente: (Holde et al., 2006)

Cuando se desea medir algunas propiedades físicas productos de la fusión, cristalización, o transiciones vítreas, es necesario someter al alimento a calentamiento

donde reacciona en función a la temperatura producto de ello puede liberar o absorber calor (Holde et al., 2006) los cambios que se manifiestan producto de las reacciones químicas son:

- Transiciones térmicas físicas (fusión, cristalización y transiciones vítreas)
- Transiciones térmicas químicas (calor de reacción, ya sea exotérmico o endotérmico)

Estas transiciones son posibles de determinar mediante la Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC), que medirá el flujo de calor requerido para mantener a temperatura constante una muestra alimenticia frente a uno referencial. Las temperaturas de ambas incrementan simultáneamente con el tiempo. La diferencia entre la energía de entrada requerida para hacer coincidir la temperatura de la muestra con la de la referencia sería la cantidad de exceso de calor absorbido o liberado por la molécula en la muestra (Kirkitaдзе et al., 2014).

Las técnicas calorimétricas han contribuido a la comprensión de la gelatinización del almidón nativo y recocado, y sus interacciones con proteínas y lípidos (Bogacheva et al., 2002).

Mediante DSC es también posible comprender y determinar las características de desnaturalización térmica útil para determinar la fuerza de los enlaces en función a la cantidad de energía requerida para romperlos, y estas dependen de la velocidad de calentamiento y del nivel de hidratación de la muestra las velocidades de calentamiento oscilan en el orden de 5 a 20°C/min, a mayores temperaturas (300°C) habrá mayor desnaturalización (Ricci et al., 2018).

2.5.8.1. Transición vítrea

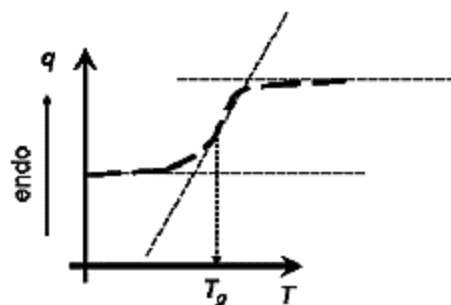
La transición vítrea se manifiesta como un salto en la línea base, provocado por un cambio en la capacidad calorífica del material. Esta capacidad aumenta por encima de la temperatura de transición vítrea, que marca el cambio de un polímero amorfo de un estado rígido y quebradizo a uno blando y maleable. Este fenómeno, específico de los polímeros amorfos y variable según el polímero, se atribuye a la excitación causada por el aumento de temperatura, que activa movimientos vibratorios o rotacionales de átomos, grupos atómicos y segmentos de cadena (Kissinger, 1957).

La temperatura de transición vítrea (T_g) de un polímero refleja la movilidad de sus cadenas: bajo la T_g , el material es más resistente, mientras que sobre ella, su resistencia disminuye.

En la Figura 8, muestra que el cambio no ocurre súbitamente, por el contrario, sucede a través de un rango de temperaturas; lo que resulta ligeramente complicado escoger una T_g discreta, pero generalmente se toma como T_g el punto medio de la región inclinada (Kissinger, 1957).

Figura 8

Temperatura de transición vítrea (T_g).



Fuente: (Kissinger, 1957).

2.5.8.2. Cristalización

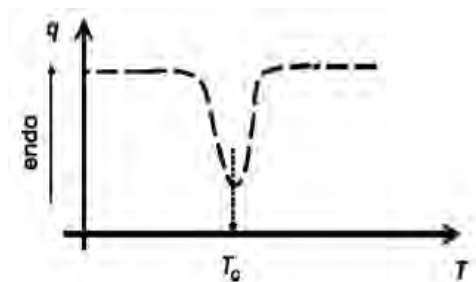
Los polímeros exhiben una alta movilidad por encima de la temperatura de transición vítrea (T_g). Cuando alcanzan la temperatura adecuada, adquieren la energía

necesaria para organizarse en una estructura cristalina ordenada. Al disponerse en esos patrones cristalinos, los polímeros liberan calor, lo que impide que el módulo DSC continúe suministrando calor para aumentar la temperatura del crisol. (Mathot, 1994). Esta caída en el flujo de calor puede verse como una gran depresión en la curva calorimétrica Figura 9.

La temperatura en la depresión mostrada en la Figura 8, correspondiente a la temperatura de cristalización del polímero (T_c), junto con la energía latente de cristalización, define la capacidad del polímero para cristalizar. Además, la cristalización se caracteriza como una transición exotérmica debido a la liberación de calor que implica (Kissinger, 1957).

Figura 9

Temperatura de cristalización (T_c)



Fuente: (Kissinger, 1957).

2.5.8.3. Aplicación de la DSC en alimentos

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) facilita el reconocimiento de dos clases de transiciones: 1) las de primer orden, como la fusión, y 2) las de segundo orden, como la cristalización. Los procesos de transición de fusión son beneficiosos para examinar procesos como la desnaturalización de proteínas, la gelatinización del almidón y la fusión de cristales grasos. Por otro lado, se utilizan las transiciones de cristalización para describir los gránulos de almidón. Se emplea principalmente la DSC para analizar biopolímeros presentes en alimentos, tales como proteínas, almidón y grasas. En los

termogramas, la desnaturalización térmica de las proteínas se manifiesta como un pico endotérmico, dado que la ruptura de los enlaces intramoleculares de hidrógeno es un proceso endotérmico. Por otro lado, las interacciones hidrofóbicas pueden desintegrarse y fusionarse, lo que provoca reacciones de calor y puede tener un impacto en la definición de la entalpía completa. Sin embargo, el área bajo la curva de transición ofrece un estimado de la energía térmica requerida para desnaturalizar la proteína (Kissinger, 1957). En el caso del almidón, la calorimetría diferencial de barrido (DSC) ha demostrado su naturaleza biopolimérica y su comportamiento como un biopolímero vítreo parcialmente cristalino. Esta técnica también es útil para analizar cómo la molienda, los aditivos y otros factores influyen en el proceso de gelatinización. También se utiliza para monitorear la retrogradación, ya que cuando la muestra es calentada, ocurre una ruptura de los enlaces intramoleculares de hidrógeno que están manteniendo a la estructura cristalina del almidón retrogradado, lo que trae consigo un cambio de energía en el sistema, que es registrada como una transición endotérmica (Ricci et al., 2018).

2.5.9. Reología

Según Mandala (2012) El almidón es una compleja estructura viscoelástica. Los geles de amilopectina y amilosa suelen tener módulos de almacenamiento más grandes que los de otros hidrocoloides. En el proceso de gelatinización, ocurren alteraciones viscoelásticas que dependen de la temperatura, vinculadas a fenómenos como la expansión, la gelatinización y la fractura de la estructura, las cuales fluctúan dependiendo del tipo y la cantidad de almidón. El análisis reológico oscilatorio es el método más habitual para describir la viscoelasticidad, ya que facilita la medición de las aportaciones al comportamiento elástico y viscoso de los materiales.

2.5.9.1. Barrido de temperatura

En las investigaciones de barrido de temperatura, se examinan los módulos G' (elástico) y G'' (viscoso) basándose en la temperatura a una frecuencia determinada (ω). Esta prueba es perfecta para explorar la creación de gel durante el enfriamiento de una dispersión que ha sido previamente calentada, además del proceso de gelatinización del almidón durante el proceso de calor. Para realizar estos experimentos, usualmente se utiliza una geometría de placas paralelas, enfocándose especialmente en reducir la pérdida de humedad en las dispersiones. La existencia de la región lineal viscoelástica se puede verificar en experimentos preliminares, llevados a cabo sobre un producto determinado en varias etapas de temperatura (Rao, 2014).

Mandala (2012) menciona que las medidas reológicas son muy importantes y pueden ser usadas en los siguientes casos: (a) caracterización de la calidad del producto, (b) diseño del proceso y análisis de las condiciones de flujo (selección de la bomba, filtración, extrusión, etc.), (c) diseño de nuevos alimentos e (d) investigación básica en interacciones de ingredientes.

2.5.9.2. Barrido de frecuencia

Una vez establecida la región viscoelástica lineal, se pueden llevar a cabo ensayos reológicos dinámicos para identificar características beneficiosas en los alimentos viscoelásticos. Se puede reconocer el límite de linealidad cuando las propiedades reológicas dinámicas, como G' (módulo elástico) y G'' (módulo viscoso), empiezan a cambiar de manera significativa en comparación con sus valores casi estables. Es crucial evitar sobrepasar el rango de viscoelasticidad lineal, dado que más allá de este rango, los resultados se verán afectados por la magnitud de la deformación aplicada. Como el intervalo viscoelástico lineal puede disminuir durante la gelificación, no siempre es fácil determinar que se cumpla esta condición esencial (Eliasson, 2006).

Las investigaciones de barrido de frecuencia determinan los módulos elástico (G') y viscoso (G'') basándose en la frecuencia (ω) mantenida a una temperatura estable. Estas investigaciones ofrecen información en un extenso espectro de frecuencias, siempre y cuando se conserve el comportamiento viscoelástico linealmente constante. Se nota un incremento en G' y G'' a medida que aumenta la frecuencia. Los "geles fuertes" exhiben un reordenamiento molecular bajo, con G' superando a G'' en toda la gama de frecuencias, y una dependencia reducida en relación a la frecuencia. En contraste, en los "geles débiles", hay una mayor dependencia de la frecuencia con los módulos dinámicos, lo que sugiere la existencia de procesos de relajación que se producen incluso en escalas de tiempo cortas, y una menor diferencia entre los valores de los módulos (Rao, 2014).

Para un producto alimenticio particular, los valores de G' y G'' se basan en la frecuencia, temperatura y deformación. En el rango lineal de deformación, estos valores son autónomos respecto a la deformación. Las propiedades viscoelásticas desempeñan un papel crucial en la reología de la estructura de los polisacáridos. Si G' supera significativamente a G'' , el material actúa con mayor elasticidad que con viscosidad, lo que implica que las deformaciones son fundamentalmente elásticas o recuperables. Sin embargo, si G'' es mucho mayor que G' la energía utilizada para deformar el material viscoso se disipa y el comportamiento del material es similar a un líquido (Rao, 2014). Con este análisis se pueden realizar comparaciones de "huellas digitales" de diferentes productos alimenticios o comparar efectos de diferentes ingredientes y procesos productivos sobre la viscoelasticidad y relacionarlas con la vida útil (Eliasson, 2006).

2.5.9.3. Comportamiento de flujo o curva de fluidez

Se denomina curva de flujo al estudio de cómo cambia la viscosidad cuando se aplica la cizalla. La mayor parte de los fluidos de uso industrial no cumplen con la ley de Newton, dado que su viscosidad varía dependiendo de la velocidad de la cizalla empleada.

Por lo tanto, los estudios de curva de fluidez proporcionan datos para conocer el tipo de comportamiento de las sustancias (Kong et al., 2010). Hay varios tipos de comportamientos no newtonianos, que se caracterizan por la desviación que exhiben en relación con la ley de Newton. Para caracterizar estas conductas, se utilizan los reogramas. Los reogramas son representaciones graficas las cuales describen el tipo de flujo de una sustancia bajo determinadas condiciones (velocidad de cizalla y fuerza de cizalla) (Ospina, 2016).

2.5.9.4. Reología en alimentos

El enfoque de la reología en alimentos es analizar las conexiones entre el esfuerzo y la deformación en sistemas de agua. La gelatinización del almidón, en particular la expansión de sus gránulos, modifica sus características reológicas. Luego, la retrogradación alterará aún más estas características. Dependiendo de la fuente de almidón y la concentración, la estructura final de los productos con almidón dará una solución espesa o una estructura gelificada (Cui, 2005). Para las mediciones reológicas, el reómetro dinámico permite la evaluación continua de los módulos dinámicos, el módulo de almacenamiento (G') (respuesta elástica) y el módulo de pérdida (G'') (respuesta viscosa), durante las pruebas de los barridos de temperatura y frecuencia de las suspensiones de almidón (Cui, 2005).

Los geles que forman los almidones son viscoelásticos, lo que significa que sus propiedades son intermedias entre las de los sólidos elásticos y las de los líquidos viscosos. Para un sólido elástico, la aplicación de un esfuerzo cortante, τ_s , hace que el sólido se deforme por una “deformación” o distancia, γ . Si la tensión no es demasiado grande, el sólido vuelve a su forma original después de eliminar la tensión. Si el sólido sigue la ley de Hooke, la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación es lineal

(Callister & Rethwisch, 2018). La relación entre el esfuerzo y la deformación se denomina módulo de corte G .

Si el sólido se deforma demasiado, la deformación puede volverse plástica, lo que significa que el sólido no vuelve completamente a su forma original después de que se libera la tensión (Callister Jr & Rethwisch, 2018). Para los sólidos comunes, el punto (tensión) en el que comienza el comportamiento plástico se denomina límite elástico (o límite elástico).

2.5.10. Clasificación reológica de los alimentos

De acuerdo con el comportamiento reactivo en distintas fases del proceso, los alimentos, ya sean sólidos, semisólidos o líquidos, sufren alteraciones. Estos se categorizan en función de características físicas como viscosidad, elasticidad y fluidez, que pueden ser ilustradas a través de modelos matemáticos. Los alimentos newtonianos se diferencian de los no newtonianos en términos de si cumplen o no con la ley de viscosidad de Newton. Adicionalmente, ciertos alimentos muestran una respuesta reológica que se basa en el tiempo de esfuerzo de corte aplicado. Finalmente, existen otros grupos de alimentos que se comportan como fluidos viscosos y sólidos elásticos a la vez, los llamados fluidos visco elásticos (Holdsworth, 1971; Muller, 1973; Rao, 1977; Barbosa-Cánovas et al., 1993).

Segun (Holdsworth, 1971; Muller, 1973; Rao, 1977; Barbosa-Cánovas et al., 1993), la clasificación de los fluidos alimentarios según su comportamiento reológico se establece de la siguiente forma:

- ❖ Fluidos Newtonianos
- ❖ Fluidos No Newtonianos o Independientes del tiempo
 - Plásticos de Bingham
 - Pseudoplásticos

- Dilatantes
- Dependientes del tiempo
- ❖ Fluidos tixotrópicos
 - Fluidos reopéticos
 - Viscoelásticos

2.6. Marco conceptual

2.6.1. Oca

La oca (*Oxalis tuberosa*) es una especie perteneciente al género *Oxalis* que se destaca por su gran importancia económica debido a su alto contenido de proteínas, carbohidratos, minerales y oxalatos (Tapia et al., 2007).

2.6.2. Almidón

Es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina, presenta una organización de gránulos muy compleja, que depende en gran medida de origen botánico (Cowieson, 2005).

2.6.3. Amilopectina

La amilopectina es una molécula ramificada formada por varios anillos de glucosa interconectados entre ellos, creando cadenas extensas con numerosas ramificaciones laterales de corta longitud. Las moléculas de amilopectina tienen un tamaño significativamente superior al de amilosa, y algunas pueden albergar entre 10,000 y 20,000 unidades de glucosa. La amilopectina es esencialmente insoluble en agua caliente (Charley, 2008).

2.6.4. Amilosa

El polisacárido lineal está formado por unidades de glucosa enlazadas mediante enlaces de tipo α 1–4. Forma parte del almidón junto con la amilopectina (Charley, 2008).

2.6.5. Gelatinización

Se trata de un proceso hidrotérmico irreversible, en el cual el almidón absorbe agua para formar una solución viscosa que, al enfriarse, se convierte en gel. Los gránulos de almidón en suspensión acuosa y expuesta a temperaturas mayores de 60 grados centígrados se hinchan o pierden su forma (gelatinización) (Lee et al., 2015).

2.6.6. Hidratos de carbono

Son aquellas moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno que resultan ser la forma biológica primaria de almacenamiento y consumo de energía (Badui, 2006).

2.6.7. Tubérculo

Las estructuras tubérculosas son formaciones engrosadas de tallos subterráneos, tales como estolones y rizomas, que se utilizan para guardar sustancias de reserva. Estos muestran yemas axilares tanto en los costados como en el final. Además, son abundantes en nutrientes y poseen en su superficie catafilos y yemas. Cada tubérculo es un podario (Alfaro, 1995).

2.6.8. Morfología

Los gránulos de almidón según su forma pueden determinarse por circularidad que cada granulo puede mostrarse y tamaño pequeño y muy pequeño son caracterizados por formas muy irregulares y poligonales (Reyes, 2007).

2.6.9. Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas son manifestaciones que ocurren en un material cuando se expone al calor durante un periodo de tiempo, lo que provoca cambios en su temperatura, dimensiones físicas y otras características. Para elegir un material adecuado en un proceso específico, es necesario tener un amplio conocimiento del comportamiento térmico de los materiales, incluyendo su capacidad calorífica, dilatación térmica,

conductividad térmica, entre otras propiedades. Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales están influenciadas por la temperatura y su comportamiento térmico es útil para predecir su desempeño en diferentes situaciones, como en el caso de la transferencia de calor (Askeland, 1998).

2.6.10. Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Mediante microscopio electrónico de barrido SEM se aplica la técnica se ha observado que las proteínas forman una matriz que envuelve a los almidones, así como también la formación de aglomerados proteicos irregulares que se encuentran intercalados en los gránulos de almidón, en algunas ocasiones se pueden observar estructuras filamentosas características de las estructuras fibrosas (Hoover, 2001). Hay múltiples tipos de microscopía, incluyendo la microscopía electrónica de transmisión (TEM), la microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM) y la microscopía electrónica de barrido (SEM). Esta dos últimas, son las más utilizadas ya que nos permiten una mayor apreciación de la superficie del gránulo y su morfología en general, la cual está relacionada directamente a la fuente botánica a partir de la cual son aislados los almidones (Akhila et al.,2022).

2.6.11. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido analiza cambios físicos y químicos a través del calor proporcionado, contrastando el diferencial de entalpía entre una cápsula de muestra y una vacía de referencia. Los procedimientos calorimétricos, en particular la calorimetría diferencial de barrido (DSC), han sido extensamente empleados para analizar la estructura y las transiciones de fase del almidón. En un principio, la DSC fue confundida con el análisis diferencial térmico (ADT), un método innovador en el estudio del calor. Los dos métodos diferenciales de calor registran la variación en la entalpía entre una muestra y un material de referencia durante el proceso de calentamiento. El ADT

clásico, el ADT Boersma y la DSC son instrumentos térmicos diferenciales (Lund, 1983; Tester y Debon 2000).

2.6.12. Reologia

Cui (2005) La reología es la disciplina que analiza la deformación de la materia, enfocándose en cuerpos continuos y coherentes. Sin embargo, también trata la fricción entre sólidos, el movimiento de polvos y la trituración. La reología contemporánea analiza sistemas complejos con características viscoelásticas, fusionando la elasticidad con la viscosidad.

2.7. Antecedentes de la investigación

2.7.1. Antecedentes internacionales

Akhila et al., (2022) con el propósito de estudiar propiedades morfológicas, fisicoquímicas, funcionales, pastosas, térmicas y digestibilidad de la harina y almidón de papa hausa (*Plectranthus rotundifolius*) realizó evaluación térmica de la harina de papa y almidón de papa las muestras de HPF (papa hausa) y HPS (almidón de papa) se examinaron utilizando un calorímetro diferencial de barrido (DSC) (TA Instruments DSC25, New Castle de EE. UU) siguiendo el método usado por Aaliya et al., (2021). Donde las muestras fueron sometidas a temperatura en un rango de temperatura de 30 a 100 °C con una rampa de (10 °C/min). Temperatura de inicio (T_o), temperatura de conclusión (T_c), temperatura pico (T_p) y la entalpía de gelatinización (ΔH) se midió durante el proceso de gelatinización. Las propiedades de gelatinización de HPF y HPS que se determinaron mediante un DSC. La T_o , T_p y T_c de HPF y HPS son 74,18, 78,77 y 84,73°C y 67,68, 72,49 y 87,93°C, respectivamente y $2,72 \pm 0,11$ de ΔH (J/g) para HPF y para HPS $10,84 \pm 0,15$ de ΔH (J/g).

Zhang et al., (2020) realizó el análisis de las características térmicas de la harina papa mediante el calorímetro diferencial barrido DSC los resultados obtenidos para la harina de papa presentaron una temperatura de gelatinización y menor entalpia y el proceso de fusión más veloz que la harina de papa liofilizada obteniendo así los siguientes resultados: $60,3 \pm 0,35^{\circ}\text{C}$ de temperatura inicial $75,6 \pm 1,02^{\circ}\text{C}$ de temperatura final de $67,5 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$ temperatura máxima de gelatinización. $25,16 \pm 0,54 \Delta\text{HG (mJ)}$ de cambio de entalpía de gelatinización para la harina de papa FDPF y para la otra variedad de harina LGPF fue de: $61,98 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ temperatura inicial de gelatinización $76,9 \pm 0,35^{\circ}\text{C}$ temperatura final de gelatinización $69,35 \pm 0,57^{\circ}\text{C}$ temperatura máxima de gelatinización $15,94 \pm 1,6 \Delta\text{HG (mJ)}$ cambio de entalpia de gelatinización.

Valcárcel et al., (2013) en su investigación menciona que las propiedades físicas, químicas y funcionales de los almidones aislados de las tuberosas andinas, oca (*Oxalis tuberosa* Mol.), olluco y mashua obtenida en el comercio local, se llegó estudiar. Se examinó la estructura de los gránulos de almidón a través de la microscopía electrónica de barrido (SEM), hallándose formas elipsoidales, ovales, cónicas, periféricas y prismáticas en su forma. Los gránulos de oca mostraron una longitud de hasta $54,30 \mu\text{m}$, en cambio, los de olluco llegaron a $32 \mu\text{m}$. Los gránulos de mashua se presentaban principalmente en formas esféricas y ovales truncadas, con medidas reducidas hasta $16,29 \mu\text{m}$. Las concentraciones de amilosa resultaron ser parecidas entre las diferentes muestras: 27,60% (oca), 26,49% (olluco) y 27,44% (mashua). El almidón de olluco demostró un poder de entumecimiento inferior, generando geles opacos y de menor resistencia. La baja temperatura de gelatinización y alta estabilidad durante la refrigeración hacen de estos almidones materias primas adecuadas para formulaciones que requieran temperaturas blandas de procesamiento y que no requieren conservación por congelación.

Acosta Delgado & Blanco Santander (2013), en su trabajo realizado llegaron a la conclusión según el análisis realizado el pH de una solución de los almidones se encontró dentro de los límites esperados de 5.5 a 6.5. La humedad en todos los almidones se ubicó en niveles normales, pues este alcanzó valores entre el 10 y el 13%. En general los almidones presentan un muy bajo contenido de grasa. Las temperaturas de gelatinización se encontraron en un rango de 60 a 85 ° C.

Zarate (2014), menciona que el almidón de oca de variedad lunchcho presentó las siguientes características fisicoquímicas: un contenido de humedad de 9.33 a 21.67 %; la amilosa presente fue de 14.05 y 49 % y amilopectina de 51 y 85.95 %. También realizaron determinaciones tecno-funcionales como temperatura de gelatinización de 62 a 74 °C; sinéresis en refrigeración de 2.12 y 22.52 %. Los almidones originarios de los clones promisorios 3, 8, 9, 14 y 15 exhibieron una elevada capacidad tecnológica y funcional, sobresaliendo por su excelente estabilidad, consistencia y habilidad para emulsionar en geles.

Cajamarca (2010) en su investigación acerca de tres tubérculos andinos *Oxalis tuberosa*, *Ullucus tuberosus* y *Tropaeolum tuberosum*, analizó sus almidones por métodos ópticos cualitativos, microscopía electrónica de barrido y microscopía analítica cuantitativa, aplicando un estudio comparativo de la morfología de los granos de almidón que estos proporcionaron. Como resultado, el almidón sería un elemento de alto valor en la determinación del material recuperado en diferentes condiciones de conservación o utilizado en la elaboración de alimentos.

Hernández, Bello y Montealvo (2004) investigaron las características fisicoquímicas y reológicas del almidón de *oxalis tuberosa*. El almidón de *oxalis* presentó un contenido aparente de amilosa del 33%, similar al almidón de maíz usado como control, con un tamaño de gránulo entre 25 y 50 μm con formas ovaladas y elípticas y un

patrón de difracción de rayos X de tipo A. La temperatura de gelatinización del almidón oxalis fue de 64.0 ° C, inferior a la determinada en el almidón de maíz (73.0 ° C), con un valor de entalpía de 12.2 J / g, que fue similar a la del almidón de maíz. Tanto las pastas de almidón oxalis como de maíz se comportaron como sistemas viscoelásticos débiles con el carácter elástico (G') predominando sobre el carácter viscoso (G''). Un aumento en el nivel de sólidos en las pastas aumentó los valores de los módulos. Los resultados sugieren que el calentamiento de los sistemas (gelatinización) provoca una mejora más pronunciada en la estructura de las pastas de almidón de maíz que en la de las pastas de almidón oxalis. En general, se concluyó que debido a sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y reológicas, el almidón oxalis podría ser adecuado para probar su uso en la industria cosmética y en la industria alimentaria.

2.7.2. Antecedentes nacionales

Hanco Cayllahua, (2021) en su trabajo de investigación sobre la “Evaluación de las propiedades térmicas en almidones de seis variedades de papas nativas del departamento de puno “Utilizo un calorímetro diferencial de barrido (DSC) con muestra de 10 ± 0.5 mg con un contenido de 80% de humedad, con una velocidad de calentamiento de 5°C/min iniciando a temperatura ambiente hasta 100°C, el equipo se calibro con una pureza de indio al 99.9%. se obtuvo los siguientes resultados para la temperatura inicial osciló de 55.00 a 59.07°C, la temperatura pico de 58.20 a 62.51°C, temperatura final de 65.81 a 69.50°C, mientras la entalpía de gelatinización presentó valores de 13.03 a 16.53 Jg⁻¹ respectiva mente por lo que puede aplicarse en la elaboración de productos que requieran bajas temperaturas.

Cuba Canales, (2021) en su investigación sobre la “Caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de papa y tunta de tres variedades nativas amargas procedentes

de ilave-Puno” realizo la evaluación térmica siguientes propiedades mediante el uso de un calorímetro diferencial de barrido. Los resultados de los parámetros de gelatinización de los almidones oscilaron de 54,93 a 56,45°C (T_o), 58,13 a 60,32°C (T_p), 64,40 a 66,96°C (T_f) y 15,70 a 16,81 J/g (ΔH) respectivamente así mismo realizo la evaluación reológica de almidones de papa y tunta de tres variedades nativas amargas, las mediciones reológicas se evaluaron a 25 °C, esta temperatura se controló mediante un sistema peltier, estudiándose el comportamiento de flujo (umbral de fluencia (σ)), índice de consistencia (K) e índice reológico (η). Mostrando que todos los geles de almidón tienen un comportamiento de flujo no newtoniano de naturaleza pseudoplástica con un esfuerzo inicial representativo, el cual se ajustó al modelo de Herschel Bulkley. También obtuvo, valores de umbral de fluencia e índice de consistencia considerablemente más altos para AP (σ_o =2,22 a 5,44 Pa y K =14,52 a 15,75 Pa.sn) frente a los resultados de procedente de tunta AT (σ_o =1,40 a 2,99 Pa y K =6,86 a 8,48 Pa.sn). Los resultados de las propiedades de plastificación para ambas temperaturas fueron significativamente inferiores para procedente de papa AP (T_P = 53,76 a 55,11°C y T_T = 58,23 a 63,44°C) frente a los AT (T_P =54,65 a 56,19°C y T_T = 65,73 a 84,97°C) a su vez determino las propiedades funcionales como el poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad (IS) y capacidad de absorción de agua (CAA) a 60,70, 80 y 90°C. Utilizo la metodología descrito por Kim et al., (2017) con algunas modificaciones obteniendo así los siguientes resultados en un rango de 9,25-11,50 g/g (60°C), 10,77-12,35 g/g (70°C), 13,54-15,57 g/g (80°C) y 16-86-23,45 g/g (90°C), con respecto a la CAA, oscilaron entre 9,07-11,17 g/g (60°C), 10,67-12,07 g/g (70°C), 13,35-15,20 g/g (80°C) y 16,01-22,40 g/g (90°C),concluyendo los almidones tienen una elevada facilidad de cocción.

Vera y Hernandez (2018) en su investigación realizaron un estudio en la fabricación de pan sin gluten con harina de oxalis. La demanda de productos libres de gluten ha aumentado en el sector de la alimentación, inicialmente dirigidos a individuos con patología celíaca. Estos productos se producen empleando combinaciones de harinas y almidones, a pesar de que algunas fuentes, como oxalis tuberosa, plantada en Acaxochitlan, Hidalgo, continúan siendo subexplotadas. En Perú, la oca es un tubérculo muy apreciado por su alto contenido de proteínas, fibras, minerales, antioxidantes y sustancias fenólicas. Además, su elevado contenido de almidón que se puede digerir con facilidad lo hace un ingrediente idóneo para productos de panificación sin gluten.

III. HIPOTESIS Y VARIABLE

a. Hipótesis general.

- El almidón de las tres variedades de *Oxalis tuberosa* (Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho) presentaron diferencias significativas en sus características morfológicas, propiedades térmicas y comportamiento reológico debido a las variaciones genéticas y estructurales propias de cada variedad.

b. Hipótesis específicos.

- Los gránulos de almidón de cada variedad de *Oxalis tuberosa* (Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho) presentaron diferencias en su tamaño, forma y distribución, lo que influye en su funcionalidad y aplicación potencial en la industria alimentaria.
- Las propiedades térmicas del almidón de *Oxalis tuberosa* (Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho), muestran la diferencia significativa para la temperatura de transición vítrea, temperatura de cristalización y entalpia de gelatinización, debido a las variaciones genéticas y estructurales propias de cada variedad.

- Las propiedades reológicas del almidón de *Oxalis tuberosa* (Huairi chuchu, Kheni harinosa y Lunchcho), mostraron propiedades optimas en cuanto a barrido de temperatura, barrido de frecuencia, curva de fluidez y viscosidad para su uso en alimentos con viscosidad adecuada.

3.1. Identificación de variable e indicadores

a. Variables independientes:

- Almidón de tres variedades de *Oxalis tuberosa* - Lunchcho, Kheni harinosa y Huairi chuchu

b. Variables dependientes

- Características morfológicas del almidón de tres variedades de oca (*Oxalis tuberosa*).
 - ❖ Tamaño y forma -SEM
- Propiedades térmicas de los almidón de tres variedades de oca (*Oxalis tuberosa*)
 - ❖ Temperatura de transición vítrea - DSC
 - ❖ Temperatura de cristalinización - DSC
 - ❖ Entalpia de gelatinización - DSC
- Propiedades reológicas del almidón de tres variedades de oca (*Oxalis tuberosa*)
 - ❖ Barrido de temperatura (Reometro)
 - ❖ Barrido de frecuencia (Reometro)
 - ❖ Curva de fluidez y viscosidad (Reometro)

3.1. Operacionalización de las variables

En la Tabla 8, se muestra la operacionalización de variables de acuerdo a los objetivos planteados.

Tabla 8

Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidad	Método	Técnica	Instrumento
Variable de entrada o independiente								
Almidón de tres variedades de oca	El almidón es un polímetro semi-cristalino cuantificable que influye en el fenómeno estudiado y cuyas propiedades pueden medirse, modificarse o analizarse en función de los objetivos del estudio.	Almidón aislado por vía húmeda a partir de tubérculos sanos de tres variedades identificadas; el proceso se estandariza en molienda, decantación/centrifugación, lavado y secado; resultados expresados en base seca.	Variedad	Kheni harinosa Lunchcho Huariri chuchu	kg	observación	caracterización	Observación visual
Variables de salida o dependiente								

Características Morfológicas	Es un parámetro que describe la forma, estructura o configuración externa del almidón de <i>Oxalis tuberosa</i> . Estas variables permiten cuantificar y analizar aspectos geométricos y estructurales.	Observación de gránulos deshidratados por microscopía electrónica de barrido (SEM) y medición de forma y tamaño con software de análisis de imágenes sobre una muestra representativa	Óptica	Forma Tamaño	- μm	Calculo Medidas	Análisis de imágenes Análisis de imágenes	SEM SEM
Propiedades Térmicas	Es un parámetro que describe los cambios físicos y químicos que experimenta el almidón de <i>Oxalis</i>	Se determinan mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) en almidón aislado y	Temperatura de gelatinización	Temperatura de transición vítrea Temperatura de cristalización	°C °C	Térmico Térmico	calorimetría calorimetría	DSC DSC

	<i>tuberosa</i> cuando se somete a variaciones de temperatura. Estas variables son fundamentales para comprender procesos como la gelatinización, del almidón en aplicaciones industriales y alimentarias	acondicionado a humedad controlada (p. ej., 30%). Se analizan las curvas de transición térmica en ciclos de calentamiento y enfriamiento estandarizados.	Entalpia de gelatinización	Entalpia de gelatinización	J/g	Térmico	calorimetría	DSC
Propiedades Reológicas	Es el estudio de comportamiento de las suspensiones (agua: almidón) de variedades de almidón de <i>Oxalis</i>	Se determinan mediante ensayos reológicos en suspensiones acuosas de almidón, acondicionadas y	Comportamiento de fluidos	Barrido de Temperatura Barrido de frecuencia Curva de fluidez y viscosidad	°C Rpm Pa.s	Reómetrico Reómetrico Reómetrico	Reológica Reológica Reológica	Reómetro Reómetro Reómetro

<i>tuberosa</i> sometidas a cargas mecánica.	medidas con reómetro de control de esfuerzo y deformación, bajo condiciones estandarizadas de temperatura y concentración.
---	--

IV. METODOLOGIA

4.1. Lugar de ejecución.

Las pruebas experimentales se realizaron en Laboratorio de Física y de Investigación Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas de Andahuaylas, Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Nacional Altiplano de Puno y Laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

4.2. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, ya que está orientada hacia la resolución práctica de problemas concretos. En cuanto a las características morfológicas, propiedades térmicas y reológicas de almidón de variedades de oca.

En cuanto al tipo de variable fue cualitativa nominal y cuantitativa continua para las características morfológicas, propiedades térmicas y reológicas de almidón de variedades de oca.

El nivel de investigación fue descriptivo - comparativo, por qué describe las características o el comportamiento de fenómenos sobre el comportamiento de sus características morfológicas, propiedades térmicas y reológicas de almidón de oca para contrastar la hipótesis con pruebas estadísticas.

4.3. Unidad de análisis

Se consideraron como unidad de análisis el almidón extraídos de oca de cada variedad de lo cual se obtendrá las características morfológicas y propiedades térmicas, reológicas.

4.4. Población de estudio.

La población a estudiar fue la totalidad del almidón extraído de las tres variedades de oca. Se obtuvieron 500g de cada variedad (Huairi chuchu, Kheni harinosa y

Lunchcho), las cuáles fueron adquiridas de los productores del distrito de José María Arguedas, provincia de Andahuaylas región Apurímac.

4.4.1. Muestra.

La muestra fue tomar de un subconjunto de la población. Una muestra de almidón es una porción representativa que se utilizó para el estudio de las características y propiedades. Se consideró tamaño de la muestra de acuerdo a los requerimientos lo cual se utilizaron un promedio de 10mg y 50g de muestra por cada variedad ya se realizaron los análisis según sus objetivos planteados.

4.5. Tamaño de muestra.

Para obtener la muestra se realizaron la extracción del almidón de las variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), se utilizaron 500 g por variedad.

4.6. Materiales y métodos

Materia prima

Se desarrolló con variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), (oca blanca) Lunchcho, (oca amarilla) Kheni harinosa y (oca roja) Huairi chuchu, procedentes de los cultivos del distrito de José María Arguedas de la provincia de Andahuaylas departamento Apurímac para su uso industrial.

4.7. Equipos, materiales e instrumentos.

a. Lista de equipos de investigación

Tabla 9

Lista de equipos de investigación

Nº	Equipo	Marca
1	Microscópio electrónico de barrido - SEM	FEI Quanta FEG 650
2	Calorímetro diferencial de barrido- DSC	TA Q500, TA Instruments
3	Reómetro	ANTON PAAR
4	Tamizador	ADVANTACH MFG modelo DT-158
5	Estufa	ESCO Isotherm modelo OFA-170-8

6	Licuada	OSTER modelo BLSMG-A15-051
7	Balanza digital de precisión cap. 100g	RADWAG modelo ABS 200-4
8	Balanza digital de precisión cap. 220g	SARTORIUS modelo INTRIS224-1S
9	Destilador de agua	GFL
10	Balanza electronica de precisión cap. 30kg	GRAM - S3

b. Materiales e instrumentos

Tabla 10

Lista de materiales e instrumentos de investigación

Nº	Materiales e instrumentos	Marca
1	Espátula de acero inoxidable mango de madera	ISOLAB
2	Pesetas de plástico polietileno de 500mL	ISOLAB
3	Bagueta de vidrio	FORTUNA
4	Probetas de vidrio borosilicato 50 mL	KYNTTEL
5	Probetas de vidrio borosilicato 25 mL	KYNTTEL
6	Vasos precipitados de vidrio borosilicato 1000ML	DURAN
7	Vasos precipitados de vidrio borosilicato 600mL	DURAN
8	Vasos precipitados de vidrio borosilicato 100mL	DURAN
9	Vasos precipitados de vidrio borosilicato 50mL	DURAN
10	Vasos precipitados de vidrio borosilicato 10mL	DURAN
11	Pinzas de metal	ISOLAB
12	Crisoles de aluminio Tzero para DSC	TA - INSTRUMENT
13	Bandejas de acero inoxidable	ICHIMATSU
14	Recipientes de plásticos polietileno de nylon 20 x 30 x 6 cm con cap. 2 l	REY- PLAST
15	Termómetro digital de -50 a 300 °C	CENTER DIGITAL THERMOMETER
16	Tamiz de acero inoxidable con diámetro de 8" N° malla 100 con 150 µm	ZONYTEST
17	Cuchillo de acero inoxidable	TRAMONTINA
18	Tabla de picar de plástico polietileno de alta densidad	REY- PLAST
19	MORTERO Y PILON	HALDENWANGER

20	Balde de plástico resistente de alta calidad 10 L	REY- PLAST
21	Micropipeta automatizada (10 a 100 μ L)	ISOLAB
22	Micropipeta automatizada (100 a 1000 μ L)	ISOLAB
23	Embudo de vidrio borocilicato	FORTUNA
24	Escobilla de nylon	SPARTA 754-2"
25	Bolsa con cierre hermético 10x 15 cm	PLASTIMAX

c. Reactivos utilizados en la investigación

Tabla 11

Lista de reactivos utilizados en la investigación

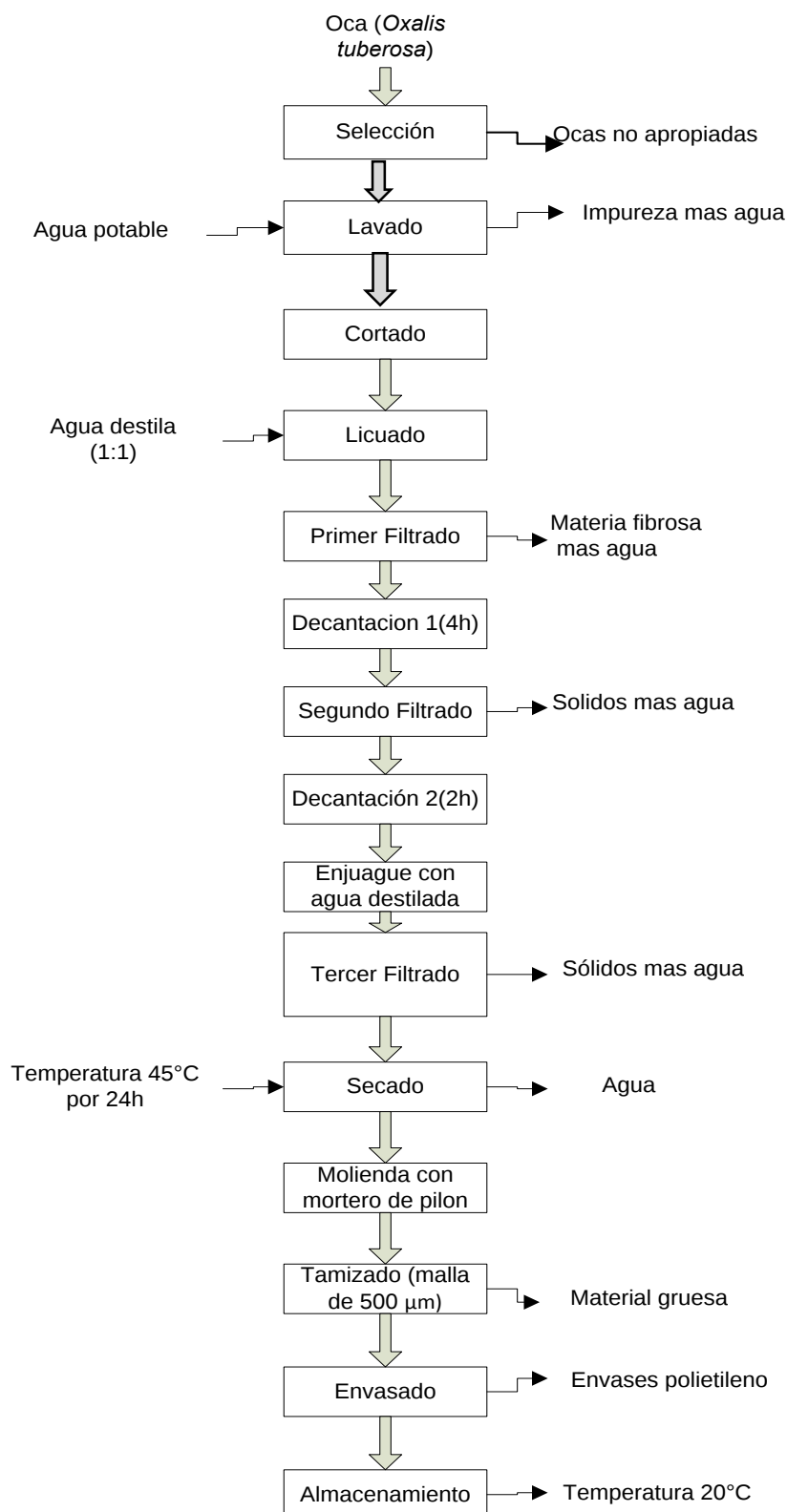
N°	Reactivos	Cantidad
1	Etanol 96 °C	2 l
2	Agua destilada	30 l

4.8. Método para la extracción de almidón.

Para Extracción de almidón de oca se tomó como referencia la metodología de extracción por decantación descrita por Chavéz y Osuna (2000)

Figura 10

Diagrama de bloques del proceso de extracción de almidón de oca



Procedimiento:

Selección: Se inicia con la selección manual de las variedades de ocas a estudiar en buenas condiciones para luego separar las que tengan daños físicos y mecánicos; y obteniendo las variedades de ocas seleccionadas.

Lavado: Las ocas fueron lavadas, en forma manual para retirar impurezas y partículas extrañas del tubérculo. Después fue enjuagada con agua destilada.

Cortado: Las ocas fueron cortadas en rodajas aproximadamente 5 cm de espesor

Licuo: Después de cortado se llevó a una licuadora marca Oster modelo BLSMG-A15-051 con una proporción de agua (1:1).

Primer filtrado: La lechada de almidón se filtró a través de un tamiz de acero inoxidable malla N° 100 con 150 μm , y el residuo se lavó varias veces con agua destilada para retirar todo el almidón hasta que el líquido efluente fue claro. La materia retenida en el tamiz se volvió a licuar añadiendo agua en una relación de (1:1) después se filtró con el tamiz vertiendo en agua destilada en mayor cantidad con la finalidad de que arrastre la mayor cantidad de almidón.

Decantado 1: Transcurrido el tiempo se obtuvo una capa estable de almidón en el fondo del recipiente incluido el sobrenadante, después se desechó el sobrenadante para luego agregar agua con el objetivo de eliminar la fibra aun presente en la lechada.

Segundo filtrado: La lechada del almidón se llegó filtrar realizando un lavado del envase con un tamiz de acero inoxidable malla N° 230 con 75 μm después se dejó decantar durante 4 horas a temperatura ambiente.

Decantación 2: La lechada se dejó reposar durante 2 horas después de la segunda decantación se realizó los mismos procedimientos hasta obtener un sobrenadante limpio y transparente hasta que el almidón formado en la superficie no pueda tener fibra.

Enjuague con agua destilada: En este proceso se realizó el enjuague con agua destilada para asegurar la blancura del almidón

Tercer filtrado: El residuo obtenido se lavó varias veces con agua destilada para retirar todo el almidón, hasta que el efluente sea cristalino, obteniéndose una pasta blanca con aproximadamente 70 % de humedad.

Secado: El almidón resultante se secó sobre bandejas de acero inoxidable en una estufa ESCO Isotherm (Modelo OFA-170-8) a una temperatura de 40°C por 24 horas.

Molienda: Transcurrido el tiempo de secado se procedió a moler con la ayuda de un mortero de pilón.

Tamizado: El tamizado de almidón fue a 500µm en una tamizadora eléctrica marca ADVANTACH MFG modelo DT-158.

Envasado: El proceso de envasado se realizó en envases de polietileno con cierre hermético.

Almacenamiento: Al finalizar se acondiciono en un ambiente seco a una temperatura adecuada no mayor de 18°C.

4.9. Rendimiento de extracción de almidón de las variedades de *Oxalis tuberosa*

El rendimiento de almidón El rendimiento de almidón obtenido fue de 0,617 kg a partir de 5 kg de muestra para la variedad Roja (Huari chuchu) y de 0,678 kg a partir de 5 kg de muestra para la variedad Amarilla (Kheni harinosa). Ambas variedades presentaron un mayor rendimiento en la extracción de almidón en comparación con la variedad Blanca (Lunchcho), la cual registró un rendimiento de 0,568 kg a partir de 5 kg de muestra.

4.10. Métodos de análisis.

4.10.1. Determinación de las características morfológicas de almidón de oca

4.10.1.1. Análisis electrónico de barrido (SEM)

La muestra de almidón de *Oxalis tuberosa*, recubierta con oro-paladio, se colocó en un portamuestras de aluminio y se fijó utilizando cinta de carbono adherible de doble cara. Las imágenes en SEM se obtuvieron empleando un FEI Quanta FEG 650 en alto vacío a 30 kV y un Bruker Xflash Quantax 400 SDD con el software Esprit. La muestra fue escaneada mediante un haz enfocado de electrones de alta energía generado en una columna óptica. Este equipo operó bajo el principio fundamental de la emisión termiónica, que permitió generar y controlar el haz de electrones. La emisión se logró gracias a un filamento de tungsteno que, al calentarse, proporcionó energía térmica a los electrones, facilitando su liberación. El haz de electrones permitió obtener imágenes de alta resolución.

4.10.2. Determinación de las propiedades térmicas de almidón de oca

4.10.2.1. Análisis por calorimetría de barrido diferencial (DSC)

Las propiedades térmicas de las suspensiones de almidón de *Oxalis tuberosa* se investigaron utilizando un calorímetro diferencial de barrido (TA Q500, TA Instruments). Se pesaron 2 mg de muestra en pans de Tzero y se añadieron volúmenes de agua destilada al 10 %, 15 % y 20 %, cerrándolos herméticamente. Los pans se equilibraron a 4 °C durante 24 horas. Estas fueron sometidos a análisis en el DSC, en un rango de temperatura de 25 a 90 °C, con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min y en una atmósfera de nitrógeno. La temperatura de inicio (T_0), la temperatura máxima (T_f), el ancho del pico a la mitad de la altura (ΔT) y la entalpía endotérmica (ΔH) se calcularon automáticamente mediante el software TRIOS-TA.(Ricci et al., 2018).

4.10.3. Determinación de las propiedades reológicas de almidón de oca

4.10.3.1. Barrido de temperatura

Las muestras de almidón de (*Oxalis tuberosa*), fueron acondicionadas y 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 fue homogenizado con ayuda de un vortex durante 5min a temperatura ambiente. Después 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. considerando 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'') (Kong et al., 2010).

4.10.3.2. Barrido de frecuencia

Las muestras de almidón de (*Oxalis tuberosa*.) se acondicionaron a 10%,15% y 20% (p/v) de agua, para homogenizar las suspensiones, se depositaron en un balón de vidrio de 50 mL y con ayuda de un vortex fueron homogenizadas y trasvasadas a un beaker donde se gelificaron a 60°C en un baño térmico, luego los geles obtenidos fueron vertidos al plato inferior del reómetro, donde alcanzaron equilibrándose a 25°C, para luego efectuaron los análisis de barrido de frecuencia a 0.1 a 40 Hz (0.628 – 249.944 rad/s), con tensión de corte dentro de la Región Viscoelástica Lineal (RVL) (Kong et al., 2010).

4.10.3.3. Curva de fluidez y viscosidad

Las muestras de almidón de *Oxalis tuberosa*. Se acondicionaron a concentraciones de 10%, 15% y 20% (p/v) de agua. Para homogenizar las suspensiones, estas se depositaron en un balón de vidrio de 50 mL y se mezclaron utilizando un vortex.

Posteriormente, las muestras fueron trasvasadas a un beaker, donde se gelificaron a 60 °C en un baño térmico. Luego, se vertieron en el plato inferior del reómetro y se dejaron equilibrar a 25 °C, temperatura requerida para el análisis de las pruebas de cizalla.

El reómetro fue programado con un rango de velocidad de deformación de 1000 a 0.1 s⁻¹. La curva de flujo obtenida se ajustó al modelo de Herschel-Bulkley, definido por la ecuación:

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n + \sigma_0 \dots \dots \dots \text{Ec. 01}$$

Donde σ es el esfuerzo cortante (Pa), K el coeficiente de consistencia (Pa·sⁿ), $\dot{\gamma}$ la velocidad de deformación (s⁻¹), n el índice de comportamiento del flujo (adimensional) y σ_0 el esfuerzo de fluencia (Pa). Este modelo describe la suspensión como un fluido no newtoniano con límite elástico, lo que significa que requiere un esfuerzo inicial (τ_0) para comenzar a fluir (Kong et al., 2010)

4.11. Técnicas de análisis e interpretación de la información

Para el presente trabajo de investigación se utilizara un DCA (diseño completamente al azar), diseño que se utiliza para comparar dos o más tratamientos, dado que solo consideran dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio.

Este diseño se llama completamente al azar porque las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo. De esta manera, si durante el estudio se hacen en total N pruebas, estas se corren al azar, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos (Gutierrez Pulido, 2008).

Se tuvo como variables independientes o de entrada: los almidones de variedades de oca; y como variables de dependientes o de salida: características morfológica y propiedades térmicas y reológicas.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Características morfológicas de variedades de almidón de oca.

5.1.1. Tamaño del almidón de variedades de oca

Se presenta en la Tabla 12, el estadístico de tamaño de las variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), donde se encontraron diferencias en el tamaño de los almidones entre las tres variedades estudiadas. La variedad Roja (Huairi chuchu) presentó un tamaño promedio de 30.17 μm (DE = ± 8.77 ; CV = 29.07%), con valores que oscilaron entre 15.08 μm y 59.89 μm . La variedad Amarilla (Kheni harinosa) mostró un tamaño promedio de 29.45 μm (DE = ± 11.16 ; CV = 37.88%), con un rango de 12.81 μm a 73.95 μm . Por último, la variedad Blanca (Lunchcho) registró un tamaño promedio de 28.96 μm (DE = ± 10.68 ; CV = 36.89%), con valores comprendidos entre 9.38 μm y 57.84 μm .

Tabla 12

Estadístico de tamaño de almidones de las variedades de oca

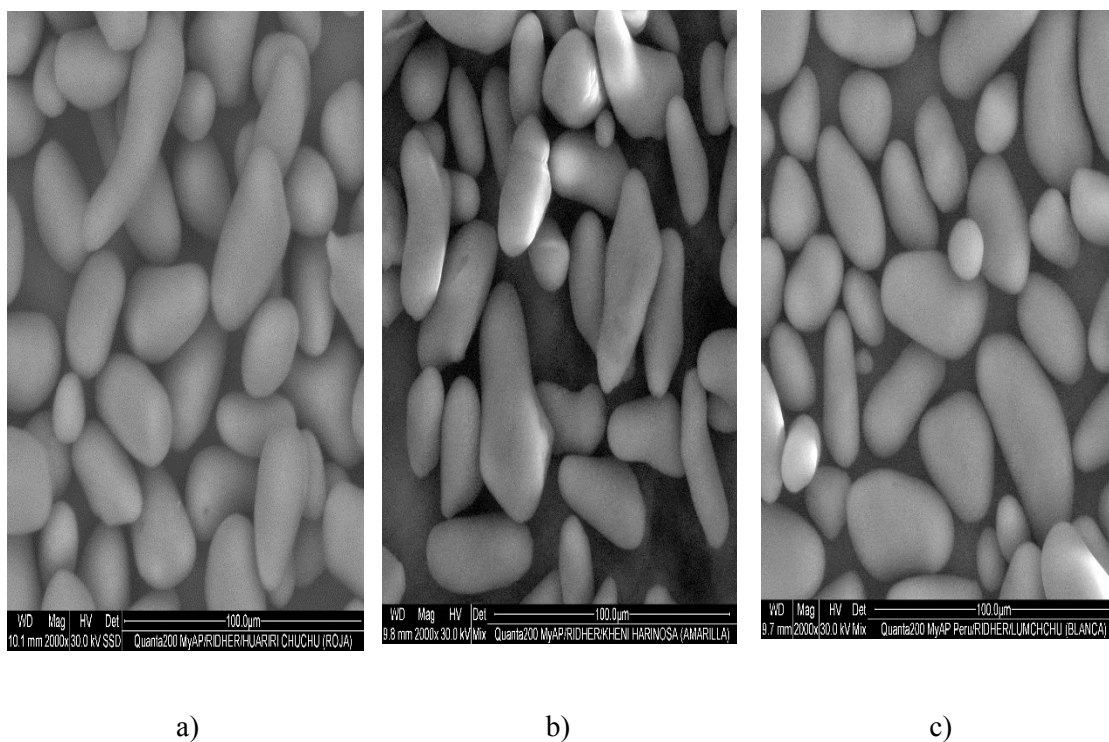
Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficien te de Variabili dad	Mínimo	Mediana	Máximo
ROJA (Huairi chuchu)	30.17	± 8.77	29.07	15.08	29.99	59.89
AMARILLA (Kheni harinosa)	29.45	± 11.16	37.88	12.81	28.04	73.95
BLANCA (Lunchcho)	28.96	± 10.68	36.89	9.38	26.99	57.84

La Figura 11, se muestra las micrografías de las variedades de almidones estudiadas en donde se puede evidenciar que la variedad, Huairi chuchu (Roja, Fig. 11_b) presenta gránulos con morfología predominantemente ovalada y alargada y una distribución homogénea de tamaños, con disposición compacta y sin agregados significativos. Por su parte, Kheni Harinosa (Amarilla, Fig. 11_b) muestra gránulos de

forma irregular con tendencia a la elongación, mayor variabilidad en tamaños y formas, incluyendo estructuras angulares, y una distribución espacial menos uniforme. Finalmente, Lunchcho (Blanca, Fig. 11c) destaca por gránulos más redondeados u ovoides, bordes regulares y una distribución espacial intermedia, caracterizada por una mayor separación entre los gránulos individuales.

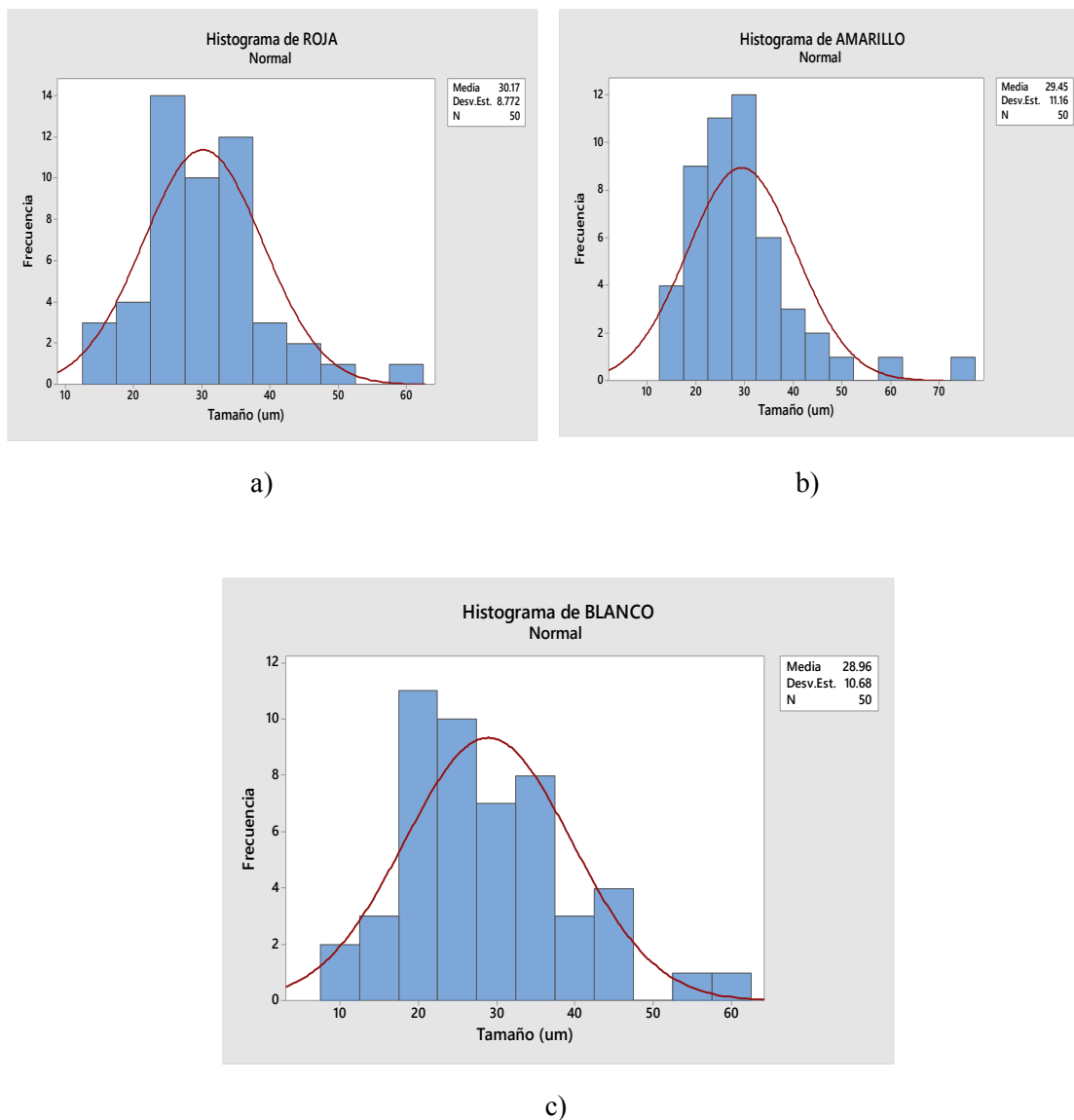
Figura 11

Micrografías de SEM de almidón de variedades de oca.



Nota: a) Huairi chuchu (Rojo); b) Kheni harinosa (Amarillo); c) Lunchcho (Blanco)

La Figura 12, se muestra el análisis de la distribución de tamaño de acuerdo a los almidones de las variedades de oca.

Figura 12*Análisis de tamaño y distribución de gránulos de almidón de oca*

Nota: a) Huairi chuchu (Rojo); b) Kheni harinosa (amarillo); c) Lunchcho (Blanca)

En el análisis granulométrico, la variedad Huairi chuchu (Roja, Figura12a) presentó un patrón aproximadamente normal ($M = 30.17 \pm 8.77 \mu\text{m}$), con la mayor concentración de gránulos en el rango de 25-35 μm , un histograma simétrico y un ligero sesgo positivo que refleja la menor dispersión entre las variedades estudiadas. Por su parte, Kheni harinosa (Amarilla, Figura 12b) mostró una distribución normal con ligera asimetría ($M = 29.45 \pm 11.16 \mu\text{m}$), concentrándose principalmente en el intervalo de 25-30 μm , aunque con una dispersión más pronunciada y valores extremos en los rangos

superiores. Finalmente, Lunchcho (Blanca, Figura 12c) exhibió una distribución menos simétrica ($M = 28.96 \pm 10.68 \mu\text{m}$), con mayor frecuencia en el intervalo de 20-30 μm , un patrón con tendencias multimodales suaves y la mayor variabilidad en el rango de tamaños entre las tres variedades.

Los gránulos de almidón observados presentan un tamaño predominante de 20 a 30 μm , mientras que la variedad Lunchcho (Blanca) exhibe un rango de 20 a 35 μm , con una distribución de tipo binomial. Esta observación es consistente con la clasificación propuesta por Lideboom, Chang y Tyler (2004), quienes categorizaron los gránulos de almidón en cuatro rangos: grandes ($>25 \mu\text{m}$), medianos (10–25 μm), pequeños (5–10 μm) y muy pequeños ($<5 \mu\text{m}$). La diferencia en el tamaño de los gránulos entre las variedades de los almidones, podría influir en sus propiedades fisicoquímicas y su comportamiento en aplicaciones industriales

Las distribuciones granulométricas observadas revelan patrones característicos para cada variedad. La variedad roja presenta la distribución más homogénea, sugiriendo mayor uniformidad en sus propiedades funcionales. La variedad amarilla muestra una dispersión intermedia, mientras que la blanca exhibe la mayor heterogeneidad en tamaños. Asimismo; Estas diferencias en la distribución granulométrica pueden tener implicaciones significativas en: Comportamiento reológico. Los gránulos alargados e individuales tuvieron la mayor y la menor resistencia a las propiedades de gelatinización entre los gránulos de almidón heterogéneos (Kong, 2015), Capacidad de hidratación y Aplicaciones industriales específicas en la industria alimentaria.

5.1.2. Formas de almidón de variedades de oca

En la Tabla 13, se presenta el estadístico de los resultados de la forma que presenta las variedades Huairi chuchu (Roja), Kheni harinosa (Amarilla) y Lunchcho (Blanca) de almidón de Oca. La variedad Huairi chuchu (Roja) presenta una media de 0.87 ($DE =$

± 0.068) y un coeficiente de variabilidad de 7.92%. Los valores oscilan entre 0.674 y 0.95, con una mediana de 0.88, sugiriendo una distribución relativamente simétrica. La variedad Kheni harinosa (Amarilla) muestra la media más baja con 0.83 ($DE = \pm 0.078$) y el mayor coeficiente de variabilidad (9.41%). Los valores fluctúan entre 0.653 y 0.96, con una mediana coincidente con la media (0.83), lo que indica simetría en la distribución. Finalmente, la variedad Lunchcho (Blanca) exhibe una media de 0.88 ($DE = \pm 0.067$) y el menor coeficiente de variabilidad (7.55%). El rango de valores se extiende de 0.701 a 0.96, con una mediana de 0.89, lo que sugiere una ligera asimetría negativa.

Tabla 13

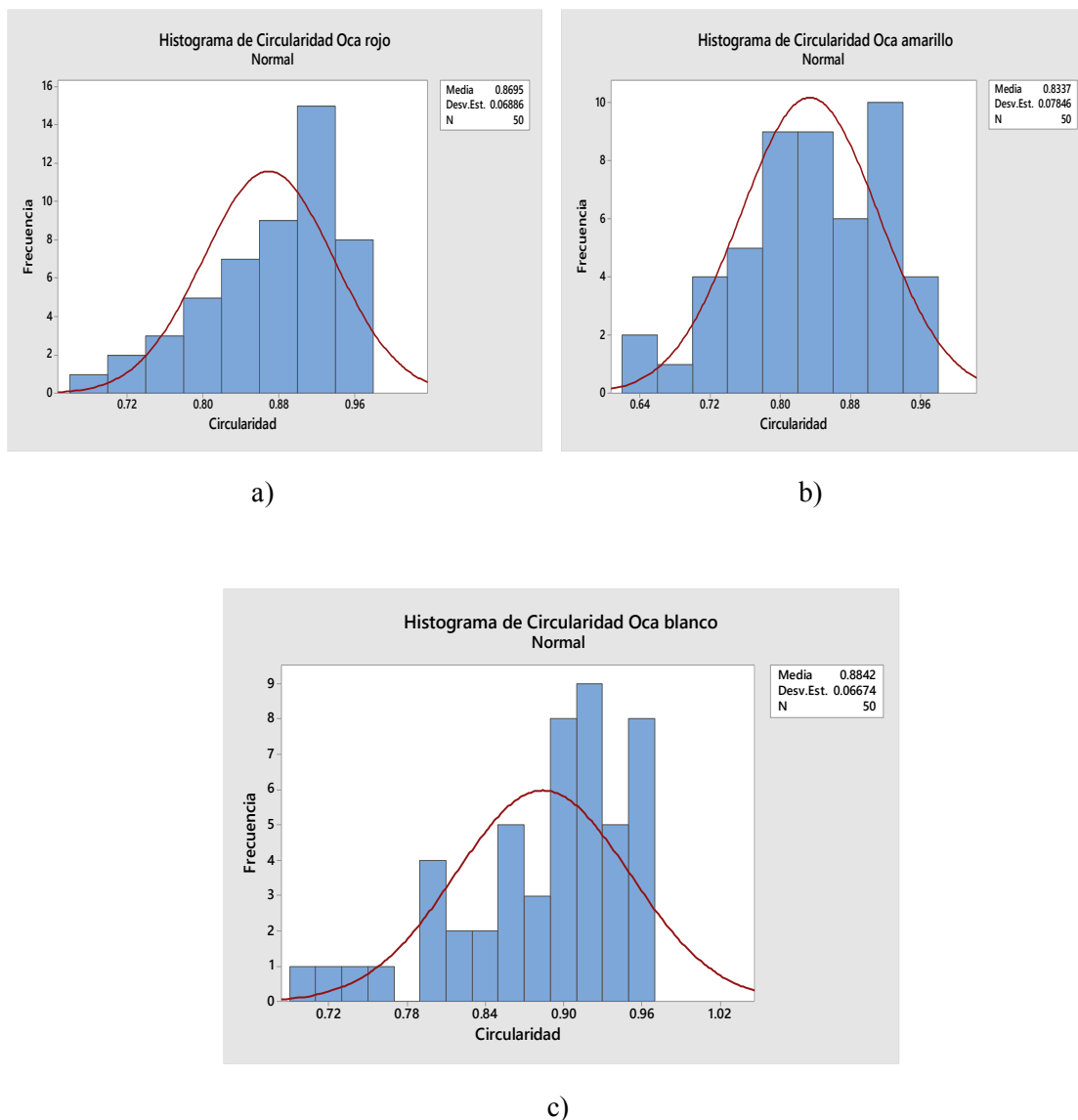
Estadístico de las formas de los almidón de variedades de oca

Variable	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variabilidad	Mínimo	Mediana	Máximo
ROJA (Huairi chuchu)	0.87	± 0.068	7.92	0.674	0.88	0.95
AMARILLA (Kheni harinosa)	0.83	± 0.078	9.41	0.653	0.83	0.96
BLANCA (Lunchcho)	0.88	± 0.067	7.55	0.701	0.89	0.96

La Tabla 13, muestra el análisis descriptivo de forma de acuerdo al almidón de las variedades de oca. La forma que presenta del almidón se asemeja a una esfera, determinándose valores como 0.88 para Lunchcho (Blanca), 0.87 para Huairi chuchu (Roja) y 0.83 para Kheni harinosa (Amarillo). Sin embargo Kheni harinosa (Amarilla), presenta variabilidad de 0.078 a diferencia de Huairi chuchu (Rojo) y Lunchcho (Blanca) que presentan valores de variabilidad de 0.069 y 0.067 inferiores a Kheni harinosa (Amarilla).

Figura 13

Análisis de forma de gránulos de almidón de variedades de oca.



Nota: a) Huairi chuchu (Roja); b) Kheni harinosa (amarilla); c) Lunchcho (Blanca)

La Figura 13, muestra los resultados de la distribución de la circularidad de los gránulos entre las tres variedades de oca. La variedad Huairi chuchu (13a), presenta una media de circularidad de 0.8695 ± 0.90 ($DE = 0.06886$, $N = 50$), con una distribución amplia y sesgada hacia valores más bajos, lo que sugiere una forma más irregular de sus gránulos. En contraste, la variedad Lunchcho (Figura 13c) tiene una media de circularidad de 0.8842 ± 0.90 ($DE = 0.06674$, $N = 50$), con una distribución más estrecha y simétrica, lo que indica una forma más circular de sus gránulos. Por último, la variedad Kheni

harinosa (13b) muestra una media de 0.8337 ± 0.90 (DE = 0.07846, N = 50), con una distribución intermedia entre las otras dos.

Considerando los resultados encontrados y presentados en las Figuras 11,12 y 13, respecto al tamaño y forma de los almidones de las variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), la variabilidad es atribuida en cuanto a la morfología de los gránulos de almidón al origen botánico, a la bioquímica de los amiloplastos, el grado de maduración del fruto y la fisiología de la planta (Heredia, 2004). El tamaño y la forma de los gránulos de almidón influye sobre sus propiedades tecnofuncionales (Carvajal & Aguirre, et. al., 2013), así cuanto más pequeños sean, mayor será su digestibilidad (Espinosa & Bello-Perez, 2009); además son resistentes a procesos con altas temperaturas como la esterilización (Carvajal & Aguirre, et. al., 2013).

En algunos almidones el tamaño de sus gránulos muestra relación con la proporción amilosa/amilopectina (Pacheco & Techeira, 2009). El tamaño, se cataloga con tamaño “grande” y “pequeño” de acuerdo al promedio de los diámetros por otro lado los resultados obtenidos fueron de comportamiento ovales y poligonales similares a las que encontró (Reyes, 2007).

En el estudio realizado, el almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) de variedad Luncho (Blanca) presenta una variación 0.90 ± 0.96 , teniendo una forma semicircular mayor que Huairi chuchu (Roja) y Kheni harinosa (Amarrilla), las variedades almidón estudiadas presentaron una superficie, planas, no presentaban grietas evidentes estos mostraron formas ovales y poligonales. Estos factores influyen sobre sus propiedades funcionales, así, cuanto más pequeños sean, mayor será su digestibilidad; además son resistentes a procesos con altas temperaturas como la esterilización.

5.2. Propiedades térmicas de variedades de almidón oca.

5.2.1. Temperatura de transición vítrea

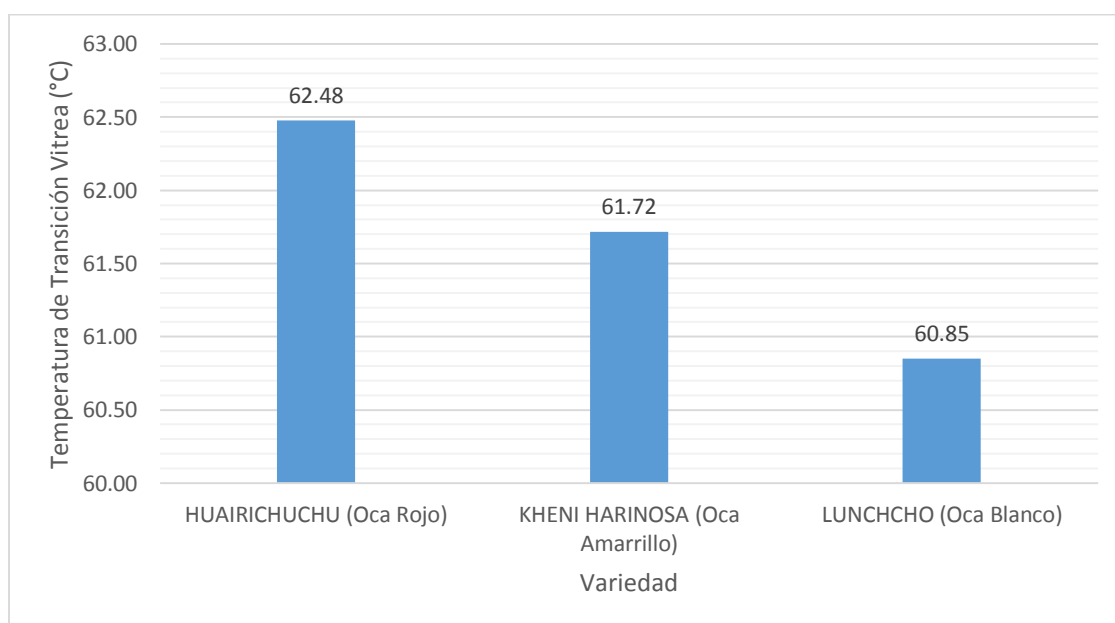
Los resultados de temperatura de transición vítrea, indican que el almidón de variedades de oca (*Oxalis tuberosa*) influyó significativamente ($p < 0.05$), en la temperatura de transición vítrea de las suspensiones 10, 15 y 20% sin embargo, la suspensión en sí misma y su interacción presenta efecto significativo como se muestra en el (Anexo 3.1).

Además el valor R cuadrado de 0.95 sugiere que el modelo utilizado para análisis de varianza tiene un buen ajuste. Por tanto, se afirma que los resultados obtenidos son confiables y considerados como representativos en relación entre variedades de almidón de oca y temperatura de transición vítrea de las suspensiones.

La Figura 14, permite visualizar que la variedad Huairi chuchu (Roja) tuvo mayor temperatura de transición vítrea 62.48°C a diferencia de Kheni Harinosa (Amarilla) 61.72°C y Lunchcho (Blanca) 60.85°C .

Figura 14

Temperatura de transición vítrea de almidón de variedades de oca.



La variación de la temperatura de transición vítrea del almidón estudiado posiblemente son factores, como la composición química y estructura molecular del almidón de las variedades de la oca (*Oxalis tuberosa*). Esto significa que hay un margen de error en las mediciones y los valores reales podrían estar dentro de ese rango de confianza, conocer esta información es de mucha utilidad para aplicaciones en procesos de cambio de fase donde las matrices buscan y pasar de ser líquido, gomoso o sólido (Roos Y. H., 2003), por lo tanto, se requerirá diferentes entalpías para lograr estos cambios de fase (Peña Carrasco, 2017); por otro lado, respecto al estudio efectuado se afirma que la temperatura de transición vítrea del almidón de variedad Huairi chuchu (Roja), presenta cambios de estado es rápido este comportamiento muy posiblemente sean debidas a su alta capacidad de absorción de agua (Gray y Bemiller, 2003), que permiten lograr una adecuada gelatinización producida por la adecuada dispersión de las moléculas de amilosa y amilopectina; que finalmente provocan cambios estructurales diferenciados con repercusiones en la viscosidad. Además los valores determinados en el estudio, son de utilidad para lograr, controlar y manejar los procesos de gelificación y controlar los cambios de estado rígido a un estado más flexible y viscoso con fase amorfo (Ramesh y Singh, 2009), para garantizar el logro del diseño adecuados de productos estables

En la Tabla 11, se presenta los valores de temperatura de transición vítrea obtenidos por cada variedad pueden variar dentro de los límites de confianza al 95%, establecidos en el (Anexo 3.1).

Tabla 14

Temperatura de transición vítrea del almidón de variedades de oca

Variedad	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	Tv (°C)
	54,02	59,77	65,22	62,48
ROJA	±0,076	±0,041	±0,149	±0,066

(Huairi chuchu)				
	53,28	59,19	64,44	61,72
AMARILLA (Kheni harinosa)	$\pm 0,214$	$\pm 0,171$	$\pm 0,233$	$\pm 0,415$
	52,25	58,18	63,50	60,85
BLANCA (Lunchcho)	$\pm 0,058$	$\pm 0,036$	$\pm 0,199$	$\pm 0,122$

Nota: To) Temperatura de inicio; Tp) Temperatura de pico; Tf) Temperatura final; Tv) Temperatura de transición vítrea

La transición vítrea de Kheni harinosa mayor variabilidad 0.415, seguida Lunchcho 0.122 y Huairi chuchu 0.066, como se observa en la Tabla 10, determinándose a mayores valores de transición vítrea se dan mayores valores de To, Tp y Tf. Por consiguiente, podemos afirmar que el conocimiento de un manejo de un proceso implicar estimar con precisión la transición vítrea de los almidones de oca de forma diferenciada de acuerdo a las variedades estudiadas, y determinar su proceso de gelatinización (Avula et. al., 2009), así estimar el punto en el cual las suspensiones de almidón alcanzan un estado óptimo de gelatinización (Mosquera et. al., 2015). Una temperatura demasiado baja de transición vítrea en las suspensiones de almidón de oca pueden resultar en una gelatinización incompleta, mientras que una temperatura demasiado alta puede sobre gelatinizar las suspensiones de almidón de oca y alterar su textura y sus propiedades; también conocer los valores de temperatura de transición vítrea, permite estimar la formación de pastas viscosas y espesas para desarrollo de productos (Xu et.al, 2021), lo cual contribuye en mejorar la textura y consistencia requerida en diversas preparaciones culinarias cuando los almidones de oca son usadas como aditivos alimentarios el almidón de oca, además este conocimiento permita desarrollar o lograr características definidas en productos procesados a base de almidón de oca, sin considerar el origen de las variedades al ser un producto multicomponente y potencial dentro de la industria alimentaria.

5.2.2. Temperatura de cristalización

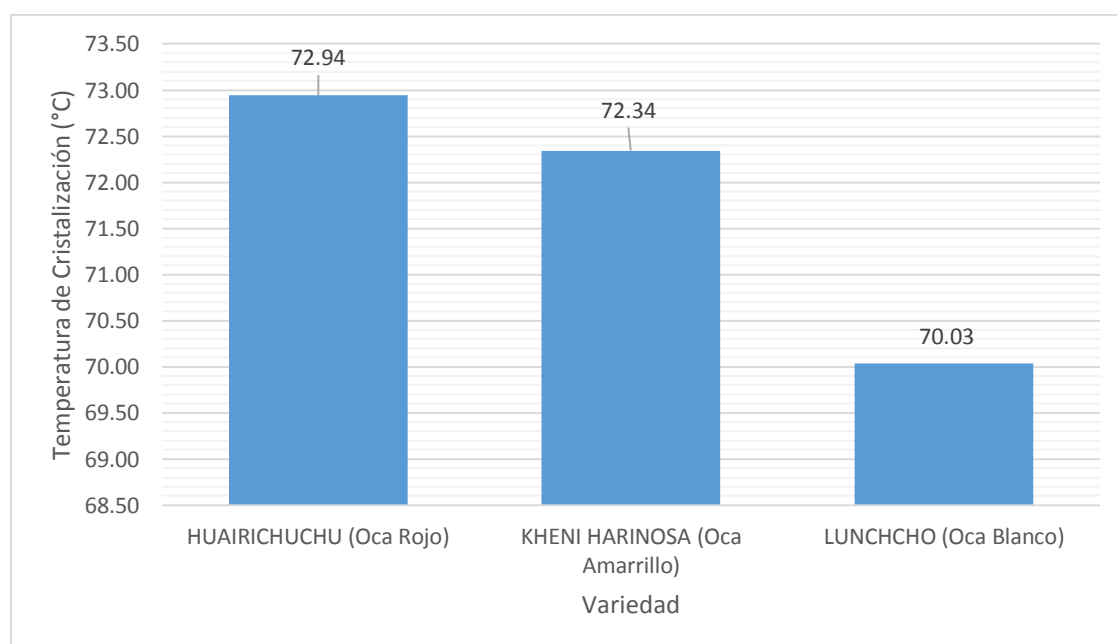
Los resultados obtenidos, indican que el almidón de variedades de oca (*Oxalis tuberosa*) influyó significativamente ($p < 0.05$), en la temperatura de cristalización de las suspensiones 10, 15 y 20% sin embargo, la suspensión en sí misma y su interacción presenta efecto significativo como se muestra en el (Anexo 3.2).

Además el valor R cuadrado de 0.95 sugiere que el modelo utilizado para análisis de varianza tiene un buen ajuste. Por tanto, se afirma que los resultados obtenidos son confiables y son considerados como representativos en la relación entre las variedades de almidón de oca y la temperatura de cristalización de las suspensiones.

La Figura 15, permite visualizar que la variedad Huairi chuchu tuvo mayor temperatura de cristalización 72.94°C a diferencia de Kheni harinosa 72.34°C y Lunchcho 70.03°C , podemos decir que la variedad Huairi chuchu tiene mayor liberación de calor mejor organización estructural a diferencia de Kheni harinosa y Lunchcho según los resultados reportados.

Figura 15

Temperatura de cristalización de almidón de variedades de oca.



En la Tabla 15, se presenta los valores de temperatura de cristalización obtenidos por cada variedad pueden variar dentro de los límites de confianza al 95%, establecidos en el (Anexo 3.2).

Tabla 15

Temperatura de cristalización del almidón de variedades de oca

Variedad	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	Tc (°C)
ROJA (Huairi chuchu)	54,02 ±0,076	59,77 ±0,041	65,22 ±0,149	72,94 ±0,624
AMARILLA (Kheni harinosa)	53,28 ±0,214	59,19 ±0,171	64,44 ±0,233	72,34 ±0,322
BLANCO (Lunchcho)	52,25 ±0,058	58,18 ±0,036	63,50 ±0,199	70,03 ±0,805

Nota: To) Temperatura de inicio; Tp) Temperatura de pico; Tf) Temperatura final; Tc) Temperatura de cristalización

La cristalización de Lunchcho 0.805, tuvo mayor variabilidad a diferencia de Huairi chuchu 0.624 y Kheni harinosa 0.322, como se observa en la Tabla 11, determinándose a mayores valores de temperatura de cristalización se dan menores valores de To, Tp y Tf. Por tanto los polímeros exhiben una alta movilidad por encima de la temperatura de transición vítrea (Tv). Cuando alcanzan la temperatura adecuada, adquieren la energía necesaria para organizarse en una estructura cristalina ordenada. Al disponerse en esos patrones cristalinos, los polímeros liberan calor, lo que impide que el módulo DSC continúe suministrando calor para aumentar la temperatura del crisol. (Mathot, 1994). Esta caída en el flujo de calor puede verse como una gran depresión en la curva calorimétrica la temperatura de cristalización del polímero, representada por Tc, junto con la energía latente de cristalización, determina la capacidad del polímero para

cristalizar. Además, la cristalización se caracteriza por ser una transición exotérmica, ya que implica la liberación de calor. (Kissinger, 1957).

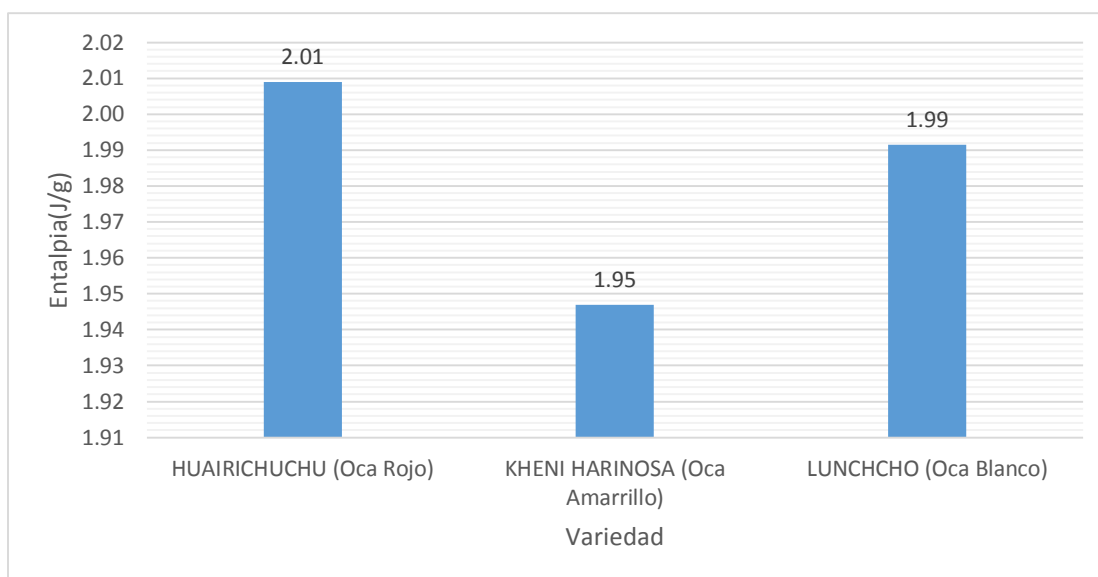
5.2.3. Temperatura de entalpia de proceso de gelatinización

Según los resultados obtenidos en la investigación, se observó que la entalpia del proceso de gelatinización está fuertemente relacionada con el porcentaje de almidón en las suspensiones Figura 15. El análisis de datos reveló que el modelo utilizado explica aproximadamente el 99% de la variabilidad observada en el (Anexo 3.3). Los resultados también mostraron que el valor ($p < 0.05$), lo cual indica que efectivamente existe diferencias estadísticamente significativas en la entalpia de gelatinización de las suspensiones de almidón de tres variedades de oca (*Oxalis tuberosa*)

La Figura 16, permite visualizar que la variedad Huairi chuchu tuvo mayor temperatura de cristalización 2.01 J/g a diferencia de Kheni harinosa 1.95 J/g y Lunchcho 1.99J/g, se puede decir que la variedad Huairi chuchu tiene mayor liberación de calor mejor organización estructural a diferencia de Kheni harinosa y Lunchcho según los resultados reportados.

Figura 16

Temperatura de entalpia de gelatinización del almidón de variedades de oca.



En la Tabla 16, se presenta los valores de temperatura de entalpia de gelatinización obtenidos por cada variedad pueden variar dentro de los límites de confianza al 95%, establecidos en el (Anexo 3.3).

Tabla 16

Temperatura de entalpia de gelatinización del almidón de variedades de oca.

Variedad	To (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔH (J/g)
ROJA (Huairi chuchu)	54,02 ±0,076	59,77 ±0,041	65,22 ±0,149	2.01 ±0,593
AMARILLA (Kheni harinosa)	53,28 ±0,214	59,19 ±0,171	64,44 ±0,233	1.95 ±0,591
BLANCA (Lunchcho)	52,25 ±0,058	58,18 ±0,036	63,50 ±0,199	1.99 ±0,578

Nota: To) Temperatura de inicio; Tp) Temperatura de pico; Tf) Temperatura final; ΔH) Entalpia de gelatinización

La entalpia de gelatinización de Huairi chuchu 0.593, mayor variabilidad que Kheni harinosa 0.591 en seguida Lunchcho 0.578 y como se observa en la Tabla 12, determinándose a mayores valores de entalpia de gelatinización se dan menores valores de To, Tp y Tf. El origen del almidón no afectó la entalpía de gelatinización, indicando

que, al emplear la misma cantidad en una suspensión, se necesitará el mismo volumen de calor para desnaturalizar proteínas, azúcares y otros elementos presentes en el almidón de oca. Este procedimiento facilita la creación de una matriz gelatinizada, lo que provoca que el almidón se transforme en una masa con textura suave, (Zhang et. al, 2020). El conocimiento de los valores de entalpía de gelatinización determinados: son importantes para la industria alimentaria, ya que tiene un impacto en las propiedades y características de productos elaborados con adición de almidón de oca, que pueden mejorar la textura del producto final y la viscosidad (Buzera et al., 2023) y la capacidad de retención de agua si se conoce la energía necesaria para tales fines; también pueden influir en la mejora de la digestibilidad de los geles formados a partir del almidón. Entender y gestionar la entalpía de gelatinización con el fin de mejorar los procesos productivos y asegurar la calidad de los productos finales. Esto ocurre porque la entalpía para gelatinizar las suspensiones de almidón de oca está por debajo de los valores reportados por (Martinez et al., 2019), varía entre los valores establecidos por (Velasquez et al., 2017), Esto sugiere que no todos los productos necesitan las mismas entalpías para gelatinizar, en particular cuando la concentración de la suspensión cambia (Dereje et al., 2020 y Chalchisa et al., 2020), Adicionalmente, resulta imprescindible regular elementos vinculados al proceso de gelatinización, como la temperatura inicial de la suspensión (Han-kun et al., 2021) No obstante, tras alcanzar la gelatinización, la matriz podría experimentar retrogradación o transiciones de fase en el sistema de almidón-agua (Gong, 2019), o desnaturalización (Ricci et al., 2018)

5.3. Propiedades reológicas de variedades de almidón de oca.

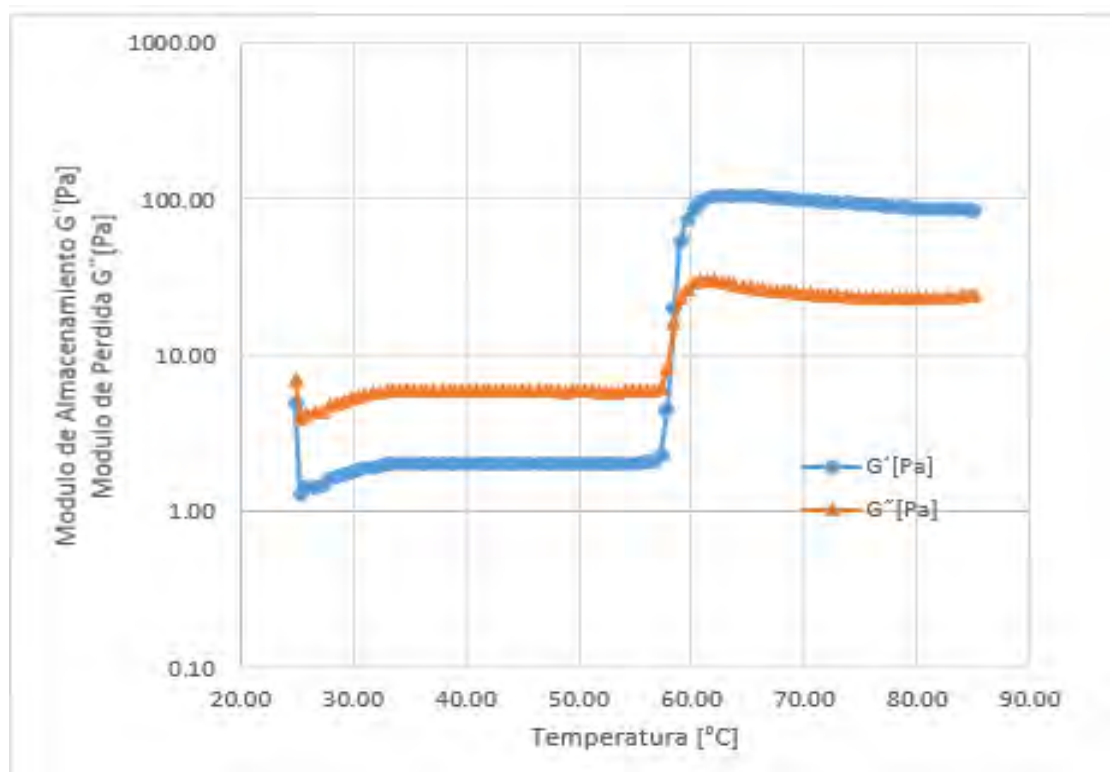
5.3.1. Barrido de temperatura

En la Figura 17, se evidencia el rango de temperatura de 25 °C a 60 °C, el módulo de almacenamiento G' es inferior a G'' (conducta más viscosa), en cambio, en el rango de 65

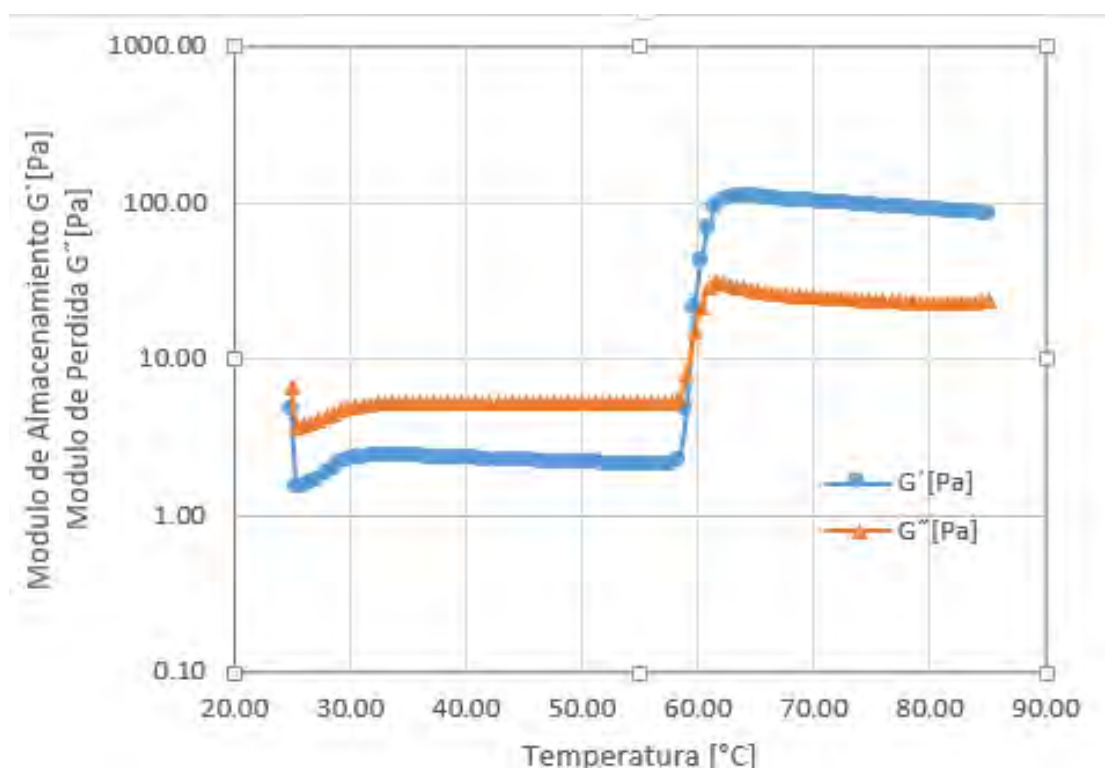
°C a 85 °C, G' supera a G'' (conducta más elástica). En términos gráficos, se nota que la variedad de almidón de oca influyó de forma notable ($p < 0,05$) en la temperatura en la que se produjo la gelatinización. La variedad Huairi chuchu y Kheni harinosa muestran una diferencia en cuanto a la temperatura de gelatinización a diferencia de variedad Lunchcho teniendo una temperatura más baja.

Figura 17

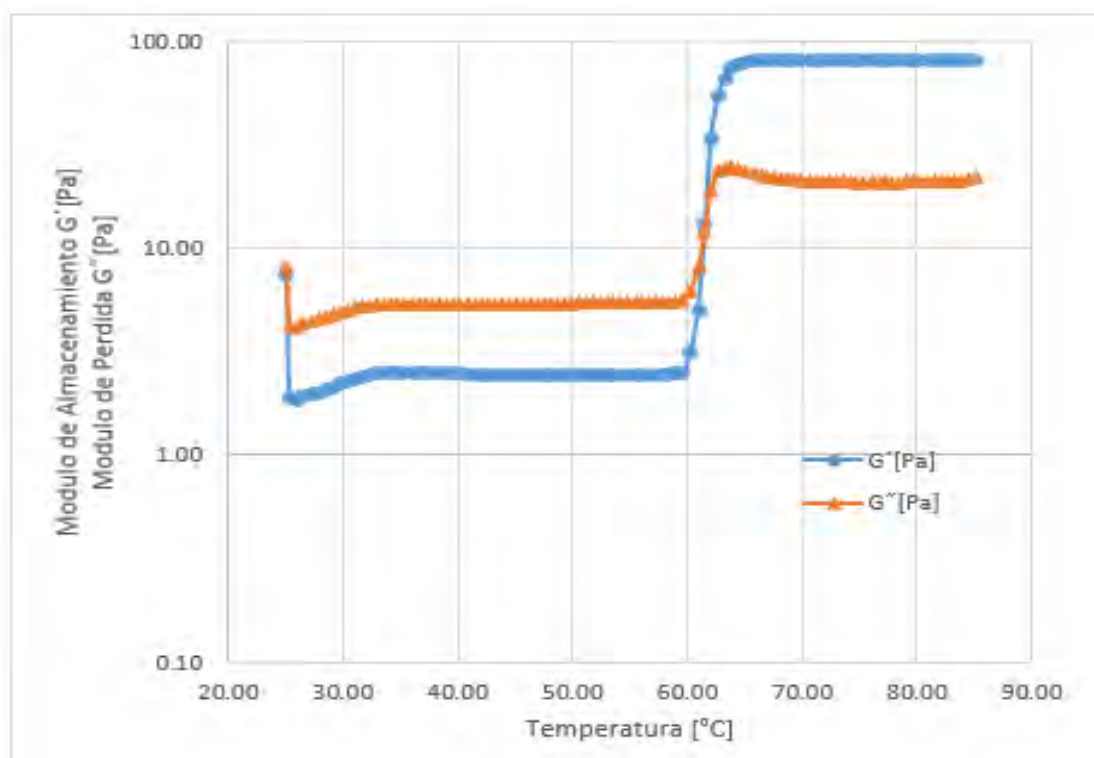
Curvas de barrido de temperatura del almidón de variedades de oca.



a)



b)



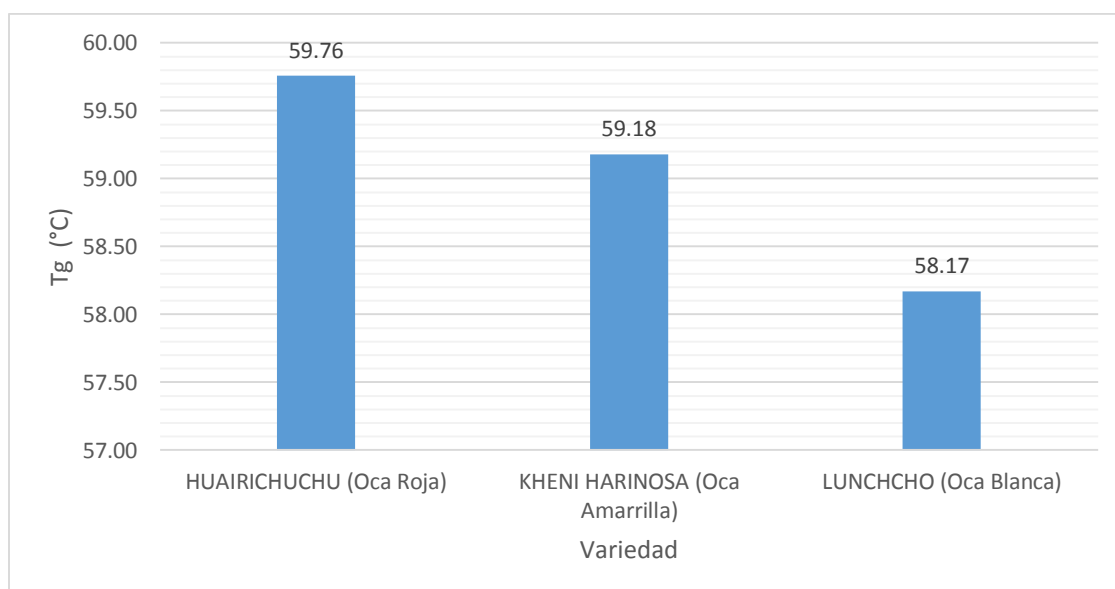
c)

Nota: a) Huairi chuchu (Roja); b) Kheni harinosa (amarilla); c) Lunchcho (Blanca)

En la Figura 18, La variedad Huairi chuchu tuvo la temperatura de gelatinización (T_g) promedio 59.76 °C con una variabilidad ± 0.041 °C la variedad Kheni harinosa una T_g promedio de 59.18°C con una variabilidad ± 0.171 °C y la variedad Lunchcho una T_g promedio de 58.17 con una variabilidad de ± 0.19 °C como se muestra en la Figura 17, esto indica que la variedad Huairi chuchu mostro la temperatura de gelatinización más alta, en seguida Kheni harinosa por último la variedad Lunchcho. Estos datos nos ayudan determinar el flujo de calor y el gasto de energía para determinar en los procesos de producción.

Figura 18

Temperatura de gelatinización del almidón de variedades de oca.



La proporción de amilosa y amilopectina en almidón enfluenció en sus en sus propiedades de gelatinización (Jha et al., 2020), así como en los puntos de equilibrio ($G' = G''$) y la destrucción eficaz del almidón de oca (Burroughs et al, 2023). Esto afecta en las propiedades de los productos finales que contiene almidón. De acuerdo al análisis, tanto las temperaturas de gelatinización del almidón de variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), son menores que la temperatura de gelatinización del almidón de papa, yuca, lo que evidenciaría menor tiempo de cocción para almidón de oca (*Oxalis tuberosa*). Esto

se puede conferir al contenido de amilosa que presentan los tubérculos. Debido a que la amilopectina desempeña un papel importante en la cristalinidad de los gránulos de almidón, la presencia de amilosa reduce la temperatura de fusión de las regiones cristalinas y la energía para comenzar la gelatinización (Flipse et al., 1996). Se necesita más energía para iniciar la fusión en ausencia de regiones amorfas ricas en amilosa (Marta, 2017). Esta correlación indica que el almidón con un mayor contenido de amilosa tiene una región más amorfa y menos cristalina, bajando la temperatura de gelatinización y la entalpía endotérmica (Vargas et al., 2016).

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 almidón de oca se hidraten más rápidamente y formen redes más fuertes, lo que resultara en el aumento de la viscosidad de las suspensiones. Conocer como varia 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 almidón de oca, así como conocer cómo puede afectar la estructura de la propiedades luego para la optimización y su procesamiento y aplicación en la industria alimentaria.

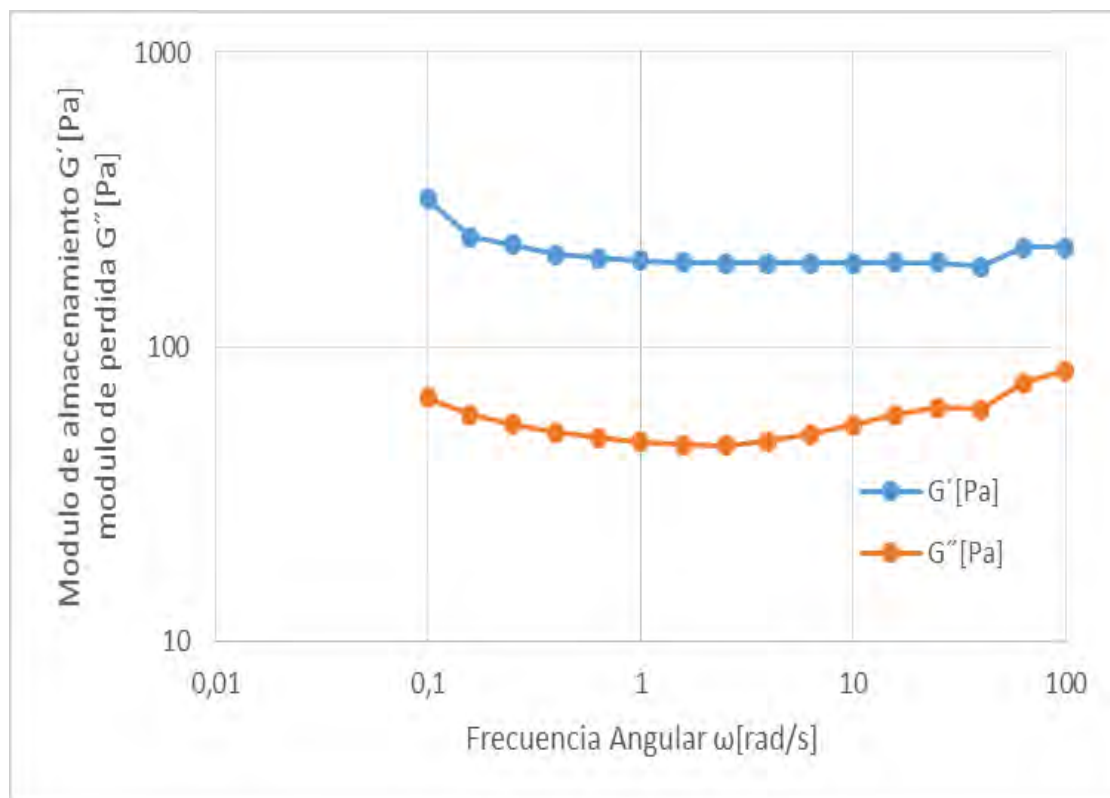
5.3.2. Barrido de frecuencia

Las suspensiones de almidón de oca, presentaron propiedades viscoelásticas, lo que soportan, tanto como un líquido o como un sólido dependiendo de la fuerza de aplicación sobre ella. Barrido de frecuencia ayudó a comprender la deformación de las suspensiones de almidón de oca sufren una determinado rango de frecuencia (generalmente en un rango específico). Estas mediciones pueden incluir la viscosidad, el

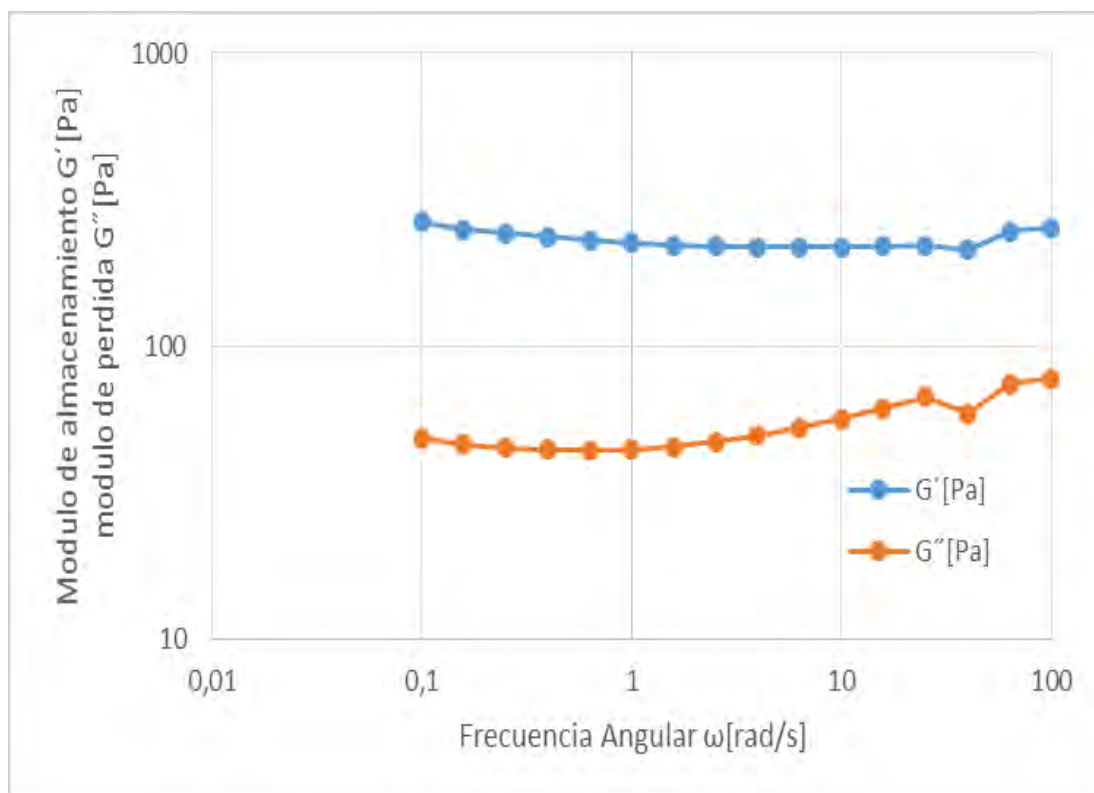
módulo de almacenamiento (que representa las propiedades elásticas y el módulo de pérdida (que representa las propiedades viscosas) de los almidones estudiados.

Figura 19

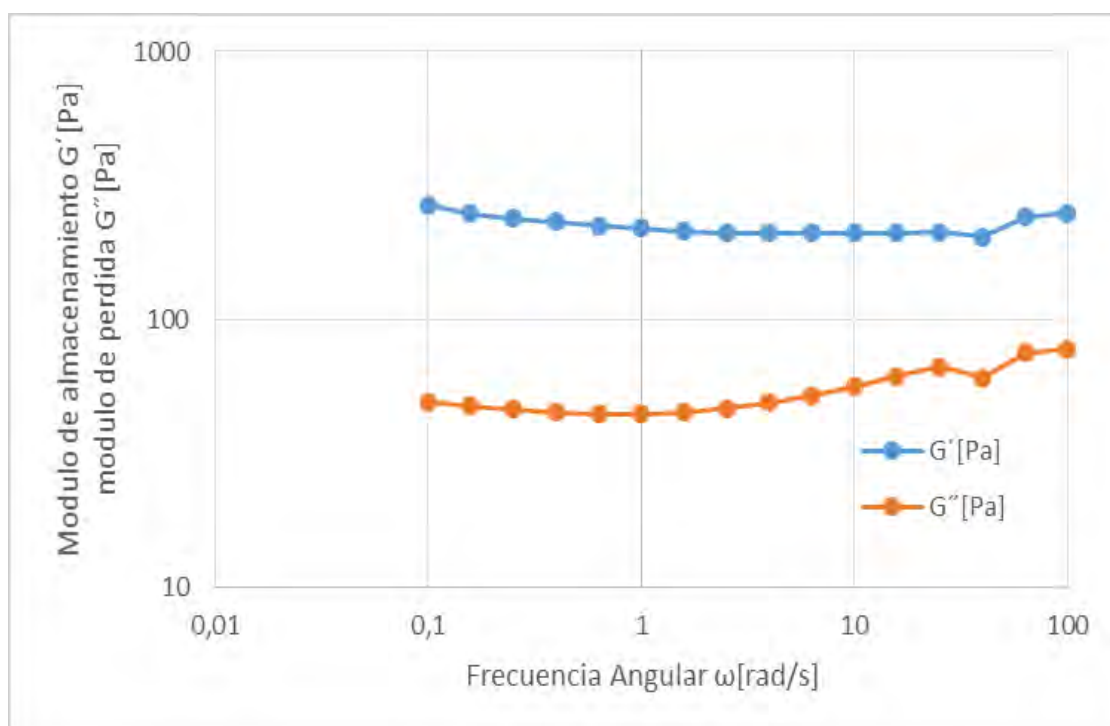
Curvas de barrido de frecuencia de almidón de variedades de oca.



a)



b)



c)

Nota: a) Huairi chuchu (Roja); b) Kheni harinosa (Amarrilla); c) Lunchcho (Blanca)

El barrido de frecuencia se realizó dentro de la Region Viscoelástica Lineal (RVL). Los espectros mecánicos que representan el Módulo de almacenamiento (G') y el Módulo de pérdida (G'') en función de la frecuencia angular (ω) para el almidón de las tres variedades de oca (*Oxalis tuberosa*) a diferentes suspensiones, se muestran en las Figuras 19a ,b ,c , , se reportando un punto de inflexión de 39.8 Pa en las tres variedades de almidón estudiado, además se observa que, módulo de almacenamiento (G') fue mayor que el módulo de pérdida (G''), lo que indica que hubo un predominio elástico sobre el comportamiento viscoso en todas las variedades y suspensiones, mostrando un comportamiento típico para estructuras gelificadas principalmente debido al reordenamiento de componentes de amilosa (Eliasson, 2006). La amilosa lixiviada, al enfriar, se fija mediante enlaces de hidrógeno, restringiendo el movimiento de las moléculas o partículas (Li & Zhu, 2018). Así mismo, Rao (2014), explica cómo actúa un material o sustancia en relación a una solución diluida, concentrada o gel. En una disolución diluida, G' supera a G'' en todo el espectro de frecuencias, aunque ambos se aproximan a frecuencias más elevadas. En una solución concentrada, tanto G' como G'' se cruzan en el rango medio de frecuencias, evidenciando una tendencia más robusta hacia frecuencias elevadas. En cambio, cuando G' supera significativamente a G'' en todo el espectro de frecuencia, se le considera un gel.

Por otro lado, Mezger (2014) sostiene que, dentro de las dispersiones y geles estables, las fuerzas de interacción intermolecular están formando una red de fuerzas tridimensionales. Este tipo de materiales muestran curvas donde $G' > G''$, que usualmente se manifiestan como líneas rectas casi paralelas a lo largo de todo el espectro de frecuencias, con una leve inclinación. Esto implica que la relación principal entre el módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G'') es $G' : G'' = 10 : 1$ (Pa). Barrido de frecuencia ayudó un predominio elástico sobre el comportamiento viscoso en

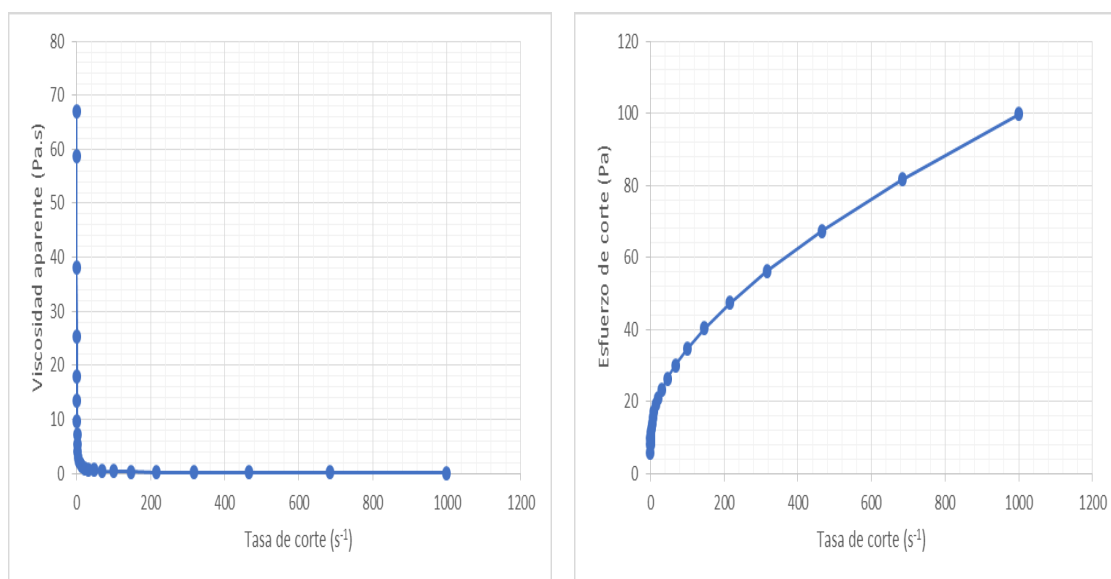
todas las variedades y suspensiones en los almidones de oca estudiadas estos nos ayuda para determinar la calidad en desarrollo de productos alimentarios. Las mediciones pueden incluir la viscosidad, además del módulo de almacenamiento, que muestra las características elásticas, y el módulo de pérdida, que señala las características viscosas de los almidones estudiados.

5.3.3. Curva de fluidez y viscosidad

Las Figuras 20, 21 y 22 ilustran la conducta de la viscosidad frente a la velocidad de deformación y el índice de flujo de los geles de almidón de las tres variedades de oca en distintas suspensiones. Se nota que cuando la velocidad de deformación se incrementa, la viscosidad se reduce (1:9, 1:5:8,5, 2:8). Adicionalmente, los geles de almidón en la suspensión 2:8 exhiben la viscosidad más alta, lo que significa una mayor resistencia al flujo. En la suspensión 1:9, el almidón de la especie Lunchcho (Blanca) exhibe la resistencia más alta al flujo, lo que señala un mayor espesor en relación con las variedades Huairi chuchu (Roja) y Kheni harinosa (Amarilla). De forma parecida, en la suspensión 1:5:8,5, el almidón Lunchcho (Blanca) muestra una resistencia al flujo superior en comparación con otras variedades de almidón.

Figura 20

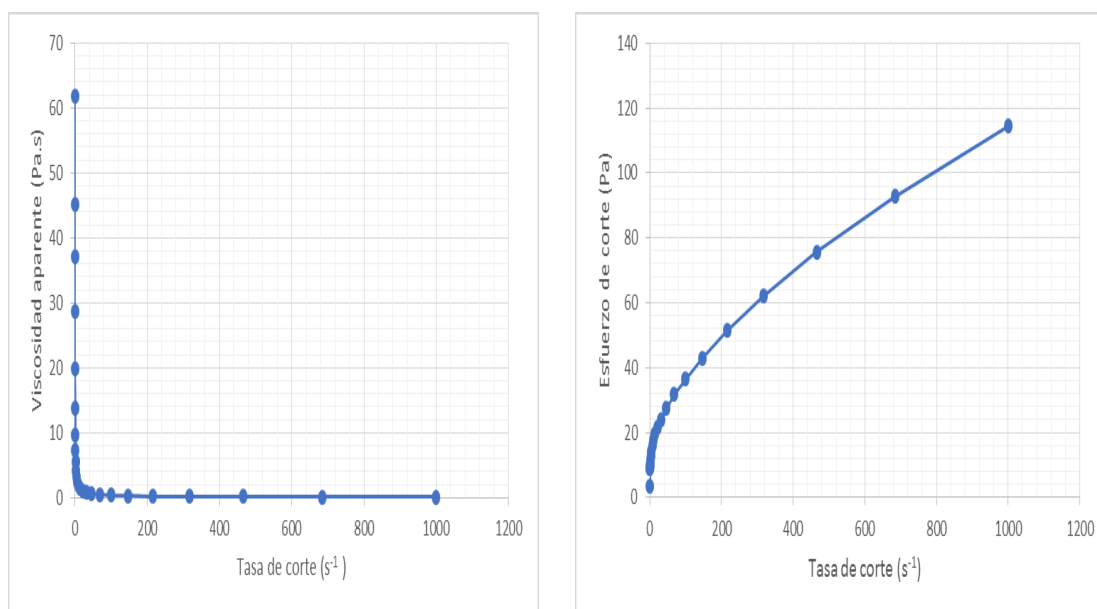
Curvas de fluidez y viscosidad de almidón de Huairi chuchu – oca roja.



a)

Figura 21

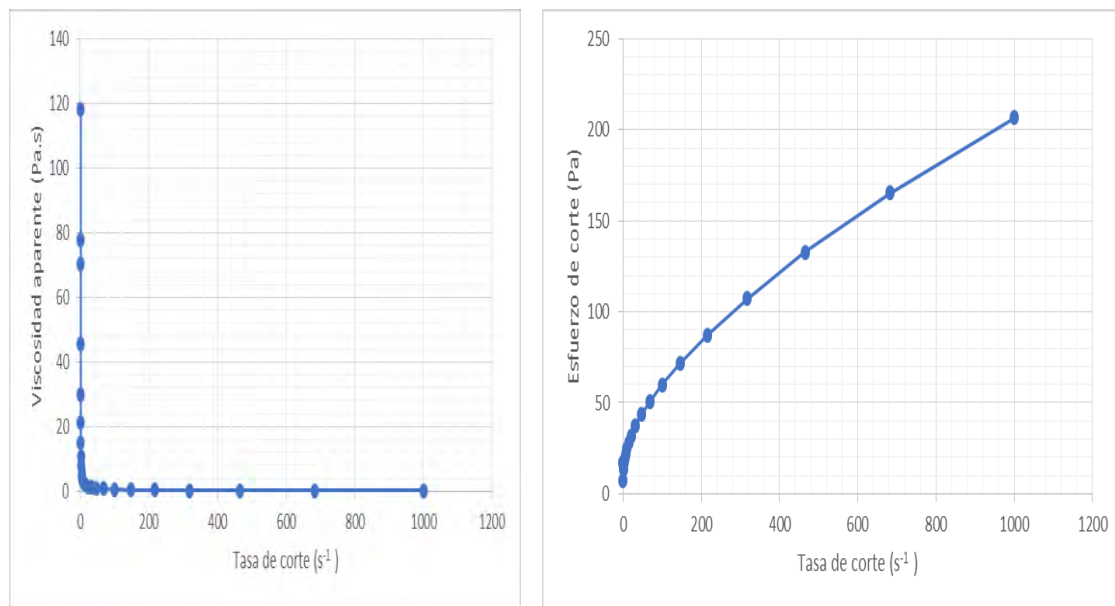
Curvas de fluidez y viscosidad de almidón de Kheni harinosa – oca amarilla.



b)

Figura 22

Curvas de fluidez y viscosidad de almidón de Lunchcho – oca blanca.



c)

La curva de fluidez y la viscosidad de un gel producido en las suspensiones de almidón de oca necesitan tener propiedades definidas en cuanto a flujo (n) y consistencia (k). Así pues, no debe ser excesivamente viscoso (escasamente extensible) ni demasiado fluido (excesivamente extensible), para prevenir inconvenientes estructurales no deseados al utilizarlo en preparaciones. Cada producto hecho con almidón de oca debe conservar una estabilidad y un flujo apropiados, y estos resultados posibilitan establecer los índices que determinan su comportamiento, cumpliendo con las especificaciones necesarias para la producción de alimentos.

Worldwide (2016), indica que este comportamiento es el más común dentro de los fluidos No newtonianos – Pseudoplásticos, y se caracteriza porque su curva en el reograma es convexa con respecto al eje de esfuerzo cortante. El aumento de la velocidad de cizalla reduce la viscosidad aparente, lo que señala que los fluidos se reducen en espesor cuando se exponen a velocidades elevadas de deformación en comparación con el cizallado lento.

Este comportamiento del flujo se origina porque, al aumentar el gradiente de velocidad, las partículas suspendidas del fluido se deforman o reorganizan, lo que conduce a una resistencia al flujo reducida y, en consecuencia, a una reducción en la viscosidad. Esto es similar a lo reportado sobre otros almidones como el amaranto y el maíz (Kong et al., 2010; Zhu et al., 2016). Cuando la viscosidad disminuye con el aumento de la velocidad de deformación, se sugiere que todas las muestras presentan propiedades de Fluidos No Newtonianos (Xu et al., 2017).

En la Tabla 17, el valor del parámetro el índice de comportamiento de flujo “n”, oscila entre 1.275 con una variabilidad ± 0.287 para variedad Huairi chuchu seguidamente Lunchcho 0.683, con una variabilidad ± 0.014 luego Kheni harinosa 0.445 con una variabilidad de ± 0.389 . En cuanto al coeficiente de consistencia (k), la variedad Huairi chuchu mostro mayor valor 0.925 Pa.s seguidamente la variedad Kheni harinosa y Lunchcho reportan los siguientes valores 0.893 y 0.722 Pa.s. Respecto al esfuerzo de fluencia (σ) se puede observar que la variedad Huairi chuchu reporta el mayor valor 34.74 Pa, mientras para las variedades Kheni harinosa y Lunchcho reportaron valores menores 30.85 Pa y 19.04 Pa.

Tabla 17

Parámetros reológicos del almidón de las variedades de oca.

Variedades	σ	K	n
ROJA (Huairi chuchu)	34.74	0.925	1.275
	± 2.852	± 0.022	± 0.287
AMARILLA (kheni Harinosa)	30.85	0.893	0.445
	± 2.442	± 0.794	± 0.389
BLANCA (Lunchcho)	19.04	0.722	0.683
	± 1.603	± 0.488	± 0.014

Nota: σ : Esfuerzo de fluencia (Pa) K: coeficiente de consistencia (Pa.s) n: índice de comportamiento de flujo (adimensional)

El índice de comportamiento de flujo (n), significa la desviación de la muestra del flujo newtoniano, donde $n=1$ (Udomrati & Gohtani, 2013). Los valores que se muestra en la Tabla 17, indican que los geles de almidón entre las variedades de almidón estudiadas de Lunchcho y Kheni harinosa, presentaron un comportamiento No Newtoniano de naturaleza Pseudoplástica (Lee & Chang, 2015), similares resultados fueron reportados por Li & Zhu (2018), en todos los casos de los almidones de oca estudiados, el índice de comportamiento de flujo es menor que la unidad ($n<1$). Cuanto más alejado se encuentra de la unidad (fluidos Newtonianos) mayor pseudoplasticidad presenta el producto (Ancco, 2023). A diferencia de Huairi chuchu reporta $n>1$ esta denominación indica que tiene un comportamiento newtoniano a diferencia de las dos variedades estudia.

Por otra parte, Fan et al. (2022), mencionan que, el aumento del índice de comportamiento reológico indica una disminución de la pseudoplasticidad. En cuanto al coeficiente de consistencia (k), la variedad Huairi chuchu mostro mayor valor 0.925 Pa.s seguidamente la variedad Kheni harinosa y Lunchcho reportan 0.893 y 0.722 Pa.s, respectivamente, sin evidenciar una discrepancia notable entre los dos. Esto indica que el almidón de Huairi chuchu muestra un comportamiento pseudoplástico más favorable en esta suspensión, dado que muestra una resistencia reducida al flujo. El comportamiento Pseudoplástico está relacionado con la orientación progresiva de moléculas en la dirección de flujo y ruptura de enlaces de Hidrogeno formado en la estructura amilosa – amilopectina – agua durante el cizallamiento (Alayo, 2016).

Respecto al esfuerzo de fluencia (σ) en la Tabla 13, se puede observar que la variedad Huairi chuchu reporta el mayor valor 34.74 Pa, mientras para las variedades

Kheni harinosa y Lunchcho reportaron valores menores 30.85 Pa y 19.04 Pa, Esto ocurre porque mostraron un coeficiente de consistencia inferior. Respecto a estos valores, distintas muestras de almidón presentaron variados grados de esfuerzo de fluencia, en función de las concentraciones. Las muestras o dispersiones de tipo gel que incluyen un mayor número de partículas sólidas suelen tener un límite de elasticidad o un esfuerzo de fluencia más alto (Kong et al., 2010; Zhu et al., 2016;Zhu & Wang, 2012).

En cambio, las concentraciones resultan esenciales, dado que inciden directamente en el incremento del coeficiente de consistencia (K) y el esfuerzo de fluencia (σ), mientras que el índice de comportamiento de flujo (n) se reduce. En este contexto, Xu et al. (2021) indican que este fenómeno se puede explicar mediante la teoría de los "aglomerados", en la que, conforme se incrementa la concentración, las partículas individuales se aproximan, lo que favorece su atracción y la potencial creación de grumos. A su vez, estos grumos pueden fusionarse para generar agregados, aunque las fuerzas que los sostienen unidos serían menos fuertes que las previamente citadas. Estos agregados también tienen la capacidad de unirse para formar una red o malla, donde la fase dispersante quedaría atrapada, lo que complicaría su separación a través de una fuerza centrífuga.

Worldline (2016), indican que, al elevar la concentración, se incrementan los solutos disueltos, lo que agudiza las interacciones entre el polímero y el agua, aumentando la resistencia de la disolución con comportamiento de gel, lo que conduce a un aumento en la firmeza y elasticidad.

CONCLUSIONES

- El análisis de la morfología del almidón de *Oxalis tuberosa* mostró variaciones notables entre las distintas variedades. Huairi chuchu (de color rojo) mostró el tamaño promedio de gránulo más grande (30,17 μm), la menor variabilidad y una forma ovalada que tiende a ser alargada, lo cual propicia un comportamiento funcional uniforme, apropiado para geles y procesos térmicos controlados. Kheni harinosa (amarilla) presentó formas irregulares y una mayor diversidad granulométrica (CV 37,88%), lo que posibilita su empleo en formulaciones con texturas diversas. Lunchcho (blanca) se distinguió por tener gránulos de forma más redonda (índice 0.88) y una estabilidad geométrica elevada, lo que la hace apta para emplearse en productos de viscosidad alta y espesantes.
- Hubo variaciones importantes entre las variedades en lo que respecta a las propiedades térmicas del almidón de *Oxalis tuberosa*. Huairi chuchu (roja) mostró una estabilidad térmica más alta, con $T_v = 62,48\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_c = 72,94\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\Delta H = 2,01\text{ J/g}$. Esto la hace apropiada para procedimientos de temperatura elevada como la extrusión y la cocción por mucho tiempo. Kheni harinosa (amarilla) exhibió valores intermedios ($\Delta H = 1,95\text{ J/g}$; $T_v = 61,72\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_c = 72,34\text{ }^{\circ}\text{C}$), los cuales son adecuados para procedimientos térmicos clásicos. Lunchcho (blanca) tuvo las temperaturas más reducidas ($T_v = 60,85\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_c = 70,03\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\Delta H = 1,99\text{ J/g}$), lo que propició usos de rápida gelatinización y una menor demanda de energía.
- En todas las variedades de la planta, el almidón de *Oxalis tuberosa* exhibió un comportamiento reológico característico de los geles, con una mayor presencia del módulo elástico ($G' > G''$). Huairi chuchu (roja) mostró la temperatura más alta de gelatinización (59.76 $^{\circ}\text{C}$) y geles más compactos, apropiados para productos estructurados y rellenos. Kheni harinosa (amarilla) exhibió una

gelatinización intermedia (59,18 °C) y un comportamiento balanceado, lo que es adecuado para purés y sopas. Lunchcho (blanco) logró gelificar a una temperatura más baja (58,17 °C) y mostró una viscosidad y resistencia al flujo superiores, lo que la convierte en ideal para salsas, cremas y sistemas espesantes de respuesta rápida y menor necesidad de energía.

RECOMENDACIONES

- En la industria gastronómica, es importante evaluar el comportamiento del almidón extraídos a partir de *Oxalis tuberosa*. En un sistema alimentario con el fin de comprender cómo sus propiedades se ven afectadas en condiciones específicas de procesamiento.
- Es importante llevar a cabo investigaciones sobre el uso y la aplicación del almidón de las variedades de *Oxalis tuberosa*, evaluadas, como un nuevo aditivo alimentario en diversas matrices alimentarias.
- Evaluar la viabilidad económica de extraer y comercializar el almidón a partir del *Oxalis tuberosa*, con el objetivo de convertirla en un cultivo sostenible que brinde beneficios económicos a los agricultores que decidan cultivar este tubérculo.
- Investigar las aplicaciones y usos del almidón en la industria alimentaria, farmacéutica, textil y otras áreas: entender cómo se utiliza el almidón en la fabricación de productos como pan, galletas, adhesivos, farmacéutico, entre otros.
- Analizar la estructura y función del almidón en la digestión y en la salud: conocer cómo el almidón se degrada en el organismo y su impacto en la salud.

BIBLIOGRAFIA

- Aaliya, B., Sunooj, K. V., Rajkumar, C. B. S., Navaf, M., Akhila, P. P., Sudheesh, C., George, J., & Lackner, M. (2021). Effect of thermal pretreatments on phosphorylation of corypha umbraculifera l. Stem pith starch: A comparative study using dry-heat, heat-moisture and autoclave treatments. *Polymers*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/polym13213855>
- Acosta Delgado, A. P., & Blanco Santander, C. (2013). Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria. universidad de cartagena.
- 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>
- Alayo Sanchez, B. del P. (2016). Caracterización fisicoquímica y reológica de almidón de arracacha variedad amarilla procedente de San provincia san Ignacio-departamento de Cajamarca, 1–19.
- Alfaro, G. (1995). El mundo andino y sus alimentos. En memorias del ciclo de Conferencias sobre Alimentos Andinos (Cochabamba, 8 al 11 de abril de 1995). Bolivia: Academic.
- Ancco Vizcarra, T. (2023). Universidad Nacional Del Altiplano Universidad Nacional Del Altiplano [Universidad Nacional Del Altiplano]. In Tesis. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Apaza, B.D. (2018). Extracción y caracterización del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) de la variedad K'ellu kamusa [Universidad Peruana Union]. In Universidad Peruana Union. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/503>.
- Arujo, C., Rincon, A. y Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. Estudio de almidones nativos, 89.

- Askeland, D. R. (1998). The science and engineering of materials (Tercera ed.). Missouri, U.S.A.: PWS Publishing company.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2005. E 313–05 Standard Practice for Calculating Yellowness and Whiteness Indices from Instrumentally Measured Color Coordinates. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Avalos Moran, C. A., & Vivero Delgado, M. F. (2013). “Proyecto de factibilidad de un nuevo producto a base de mashua,” (55).
- Badui S. D. (2006). Química de los alimentos. Edit. Pearson Educación, Cuarta Edición. México. ISBN: 970-26-0670-5.
- Baldwin, P. (2001). Estudio de granulos asociados a proteínas y polipeptidos. proteínas y polipeptidos., 120.
- Beltiz, G. (1997). Química de los alimentos. Zaragoza - España: Acribia.
- Bogacheva, T. Y., Wang, Y. L., Wang, T. L., & Hedley, C. L. (2002). Structural studies of starches with different water contents. Biopolymers, 64(5), 268–281. <https://doi.org/10.1002/bip.10190>
- 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>
- Braz, J. P. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: oca (*oxalis tuberosa* mol.), olluco (*ollucos tuberosus* caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum*). The physical, chemical and functional characterization of starches., 49.

- Cáceres, P. M. T., & Valerio, M. M. M. (2021). "Secado solar y de bandejas en el contenido de azúcares reductores y de ácido oxálico de *Oxalis tuberosa*." Universidad nacional de santa.
- Cajamarca Ruiz, E. E. (2010). Evaluación nutricional de la oca (*oxalis tuberosa* Mol.) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas. *Bioquímica Farmacéutica*, 127.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering - An Introduction* 10th Edition.
- Carvajal, E. N. Á., Dumar, V., Castaño, Q., Carlos, J., & Aguirre, L. (2013). determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*erytina edulis triana ex micheli*) determination of compositional and thermal properties of flour and starch of chachafruto (*Erytina Edulis Triana Ex Micheli*. Julio-Diciembre, 18(2), 21–35.
- Casarrubias-Castillo, M. G., Méndez-Montevalvo, G., Rodríguez-Ambriz, S. L., Sánchez-Rivera, M. M., & Bello-Pérez, L. A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*, 46(5), 455–466.
- Castañeta, G., Castañeta, R. & Peñarrieta, J.M. (2022). Cambios fisicoquímicos por exposición a la radiación solar en tubérculos de *oxalis tuberosa*, “oca” cultivados en Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, vol.39 (2) pp 44-55. DOI:10.34098/2078-3949.39.2.3
- Coultate, T. (1998). *Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos*. Zaragoza - España: Acribia S.A.
- Cowieson, A. J. (2005). Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal feed Sci Technol.*, 119, 293-305.
- Cuba Canales, A. (2021). *Caracterización Fisicoquímica y Funcional de Almidones de Papa y Tunta de Tres Variedades Nativas Amargas Procedentes de Ilave-Puno*.
- Cueto, M., Dorta, M. J., Munguia, O. and Llabrés, M. 2003. New approach to stability assessment of protein solution formulation by differential scanning calorimetry. *International Journal of Pharmaceutics* 252: 159-166.

- Cui, S. (2005). Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications. Florida, US. Editorial CRC Press.
- Cruz Hilacondo, W. E. (2019). Vicerrectorado de. Tesis, 1–302.
- Charley, H. (2008). Tecnología de alimentos. México: Limusa S.A.
- Charly, H. (2014). Tecnologia de Alimentos. México: LIMUSA S. A.
- 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>
- Eliasson, A. -C. (2006). Carbohydrates in food. 2ed. *Carbohydrate Polymers*, (69), 202–203. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.08.001
- Espinosa-Solis, V., Jane, J. L., & Bello-Perez, L. A. (2009). Physicochemical characteristics of starches from unripe fruits of mango and banana. *Starch/Staerke*, 61(5), 291–299. <https://doi.org/10.1002/star.200800103>
- Espin, S. (2004). Raices Tuberculos Andinos Alternativas para la conservacion y uso sostenible en el Ecuador. "INIAP- CIP. Quito", 91-116.
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). Caracterización fisico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andnos. In V. Barrera, C. Tapia, & A. Montero (Eds.), *Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el ecuador* (pp. 91–116). Quito, Ecuador: INIA, CIP.
- Fan, Y., Zhang, L., Wang, X., Wang, K., Wang, L., Wang, Z., Xue, F., Zhu, J., & Wang, C. (2022). Rheological thixotropy and pasting properties of food thickening gums orienting at improving food holding rate. *Applied Rheology*, 32(1), 100–121. <https://doi.org/10.1515/arh-2022-0127>
- FAO. (2010). Guia técnica para la producción y analisis de almidon de yuca. Boletín de servicios Agrícolas , 1-120.
- Ferreira, V. L. (1981). Principios y aplicaicones de coloremtria en alimentos. Instrucciones Técnicas N° 19. España: ITAL.

- Flipse, E., Keetels, C. J. A. M., Jacobsen, E., & Visser, R. G. F. (1996). The dosage effect of the wildtype GBSS allele is linear for GBSS activity but not for amylose content: absence of amylose has a distinct influence on the physico-chemical properties of starch. *Theoretical and Applied Genetics*, 92(1), 121–127. doi:10.1007/bf00222961.
- Garcia, R.F., Valdez, E.F., Cárdenas, L.M., Nájera, F.J., & Serna, S. A. (2023). Diversity and distribution of andean tubers (*Solanum tuberosum*, *Oxalis tuberosa*, *Ullus tuberosus* y *Tropaeolum tuberosum*): an agrogeographic analysis (Vol. 14, Issue 1 pp 59-70) <https://doi.org/10.57201/IEUNA2313312>
- Garcia, A. y Walter, W. (1998). caracterizacion fisicoquimica de papas peruanas. estudio de papas peruanas, 150.
- 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>
- Gutierrez Pulido, H. D. (2008). Analisis y diseño de experimentos. México: Mc Graw Hill.
- 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>
- Hanco Cayllahua, Y. (2021). Evaluación de las Propiedades Térmicas en Almidones de Seis Variedades de Papas Nativas del Departamento de Puno.
- 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>
- Harper y Murray, R. K. (2009). Bioquímica Ilustrada. México: Mc Graw Hill.
- Heredia, V. (2004). El almidon de oca como alternativa en panificación. XI Congreso internacional de cultivos andinos , 120.

- Hernández Lauzardo, A. N., Bello Pérez, L. G., & Montealvo, M. (2004). Isolation and partial Characterization of mexican Oxalis Tuberosa Scharch. Centro de Desarrollo de productos bioticos del IPN, 56.
- Holde, K. E. & Van, Johnson, W. C. (2006). Principles of Physical Biochemistry Principles of Physical Biochemistry. In Education.
- Holdsworth, S.D. (1971). Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid foods products. *Journal of Texture Studies*, 2(4), 393-418. doi: 10.1111/j.1745-4603.1971.tb00589.x
- Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45(3), 253–267. doi:10.1016/s0144-8617(00)00260-5
- Jane, J.-L., Kasemsuwan, T., Leas, S., Zobel, H., & Robyt, J. F. (1999). Anthology of Starch Granule Morphology by Scanning Electron Microscopy. *Starch/Stärke*, (46), 121–129. doi: 10.1002/star.19940460402
- 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/Stärke*, 72(1–2), 1–9. <https://doi.org/10.1002/star.201900121>
- Jiménez, M. E., & Sammán, N. (2014). Caracterización química y cuantificación de fructooligosacáridos, compuestos fenólicos y actividad antirradical de tubérculos y raíces andinos cultivados en el noroeste de Argentina. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 64(2), 131–138.
- Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R., & Guraya, H. S. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101(2), 643–651. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.01.054.
- Kong, X., Kasapis, S., Bertoft, E., & Corke, H. (2010). Rheological properties of starches from grain amaranth and their relationship to starch structure. *Starch / Stärke*, 62,

- 302 – 308. doi: 10.1002/star. 200900235.
- Kong, X., Zhu, P., Sui, Z., & Bao, J. (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food Chemistry*, 172, 433–440. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.09.085
- Kissinger, H. E. (1957). Reaction kinetics in differential thermal analysis. *Analytical Chemistry*, 29(11), 1702-1706. doi:10.1021/ac60131a045
- Kirkitaдзе, M., Hu, J., Tang, M., & Carpick, B. (2014). Qualification of a differential scanning calorimetry method for biophysical characterization of monoclonal antibodies and protein vaccine antigens. *Pharmaceutical Bioprocessing*, 2(6), 491–498. <https://doi.org/10.4155/pbp.14.27>
- Lee, Y., & Chang, Y. H. (2015). Effects of Galactomannan Addition on Rheological, Pasting and Physical Properties of Water Chestnut Starch. *Journal of Texture Studies*, 46(1), 58–66. doi:10.1111/jtxs.12113.
- León, M.E., Villacorta, M.Y., & Pagador, S. E. (2011). Composición química de “oca” (*Oxalis tuberosa*), arracacha (*Arracaccia xanthorrhiza*) y tarwi (*Lupinus mutabilis*). *Formulación de una mezcla base para productos alimenticios*, 2 (2):239 - 252. <http://www.rvcta.org> ISSN: 2218-4384.
- Lewis, M. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de sistema prensado*. Zaragoza -España: Acribia S.A.
- Li, G., & Zhu, F. (2018). Rheological Properties in relation to molecular structure of quinoa starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 767-775. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.03.039.
- Lideboom, N., Chang, P. y Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starch. *Analytical, biochemical and physicochemical*, 56:89-99.
- Linden, G. y Loriet, D. (1994). *Bioquímica agroindustrial. Revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Zaragoza - España: Acribia S.A.

- Machado Pinto, S. (2005). Evaluacion de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. *Ciencia Tecnologia de Alimentos*, 319 - 323.
- Mandala, I. (2012). Viscoelastic properties of starch and non-starch thickeners in simple mixtures or model food. From theory to biological applications. Rijeka, HR, INTECH.
- 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 Chem. X*, 2,100030.
- Mathot, V. B. (1994). *Calorimetry and thermal analysis of polymers*. Munich: Hanser. doi:10.1002/pi.1995.210370112
- Mezger, G.T. (2014). The Rheology handbook. In *applied Rheology* (4th ed., Vol. 12, Issue 5). <https://doi.org/10.1515/arch-2002-0029>
- Melian, D. E. (2010). Extraccion de almidon de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chiloé y dos variedades comerciales. Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile.
- MINAGRI. (2023). Series históricas de Producción Agrícola – compendio estadístico. Lima, Perú. Obtenido de <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/>
- 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
- Naraya, M.S.(2002). Physicochemical and funtional properties of tropical tuber starches: A review *Starch/Staerke*, 54(12) [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200212\)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200212)54:12<559::AID-STAR2222559>3.0.CO;2-F)
- Ospina, K. G. (2016). Estudio de la interacción de hidrocoloides empleados en alimentos y su efecto en las propiedades reológicas y de textura sensorial e instrumental.

Tesis para optar el título de Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia.

- Pacheco, D., & Techeira, N. (2009). Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Interciencia*, 34(4), 280–285.
- Paul Singh, R. y Heldman, D. R. (2009). *Introducción a la Ingeniería de Alimentos*. España: Acribia S.A.
- 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>
- Prieto Chacón, E. M. (2007). Estudio de las transiciones térmicas del almidón y el almidón termoplástico mediante análisis térmicos (DSC y TGA).
- Quispe, D. (2019). Evaluación de la diversidad genética a nivel morfológico de una población de oca (*Oxalis tuberosa* mol.) del distrito de acoria – Huancavelica”, 82.
- Quispe, R. Y. (2018). Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) de las variedades amarilla y negra. 1- 69 <http://hdl.handle.net/20.500.14168/694>
- 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>
- Rao, M.A. (2014). Measurement of flow properties of fluid foods. Developments, limitations, and interpretation of phenomena. *Journal of Texture Studies*, 257-282. doi: 10.1111/j.1745-4603.1977.tb01181.x
- Raygada, M. (2011). Caracterización del almidón de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* wild): Kancolla y Chullpi. Puno -Perú: AGRARIA.
- 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>

- Reyes, P. (2007). Aislado y caracterización físico química del almidón de kiwicha (*Amarantus caudatus*). Lima - Perú: UNALM.
- Ricci, L., Umiltà, E., Righetti, M. C., Messina, T., Zurlini, C., Montanari, A., Bronco, S., & Bertoldo, M. (2018). On the thermal behavior of protein isolated from different legumes investigated by DSC and TGA. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(14), 5368–5377. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9078>
- Salwa, A., Hanan, A., & Nesserien, N. (2010). Physicochemical Properties of Starch Extracted from Different Sources and Their Application in Pudding and White Sauce. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 5(2), 173- 182.
- Santacruz, S. (2004). Characterisation of starches isolated from Arracacha xanthoriza, *Cannaedulis* and *Oxalis tuberosa* and extracted from potato leaf. Tesis doctoral. Uppsala, Switzerland.
- Silva, M.G. (2017). Valorizacion de la oca (*Oxalis Tuberosa*) para la obtencion de mezclas biopolimeticas. Escuela Politecnica Nacional. Ecuador: Quito, pag. 95
- Singh, N., Kaur, S., Kaur, A., Isono, N., Ichihashi, Y., Noda, T., & Rana, J.C. (2014). Structural, thermal, and rheological properties of *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* starches. *Starch/Starke*, 66, 457-467. doi: 10.1002/star.201300157.
- Surco Laos, F. A. (2004). Caracterizacion de almidones aislados de tuberculos andinos: mashua(*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ulluco tuberosus*) para su aplicacion tecnologica, 55.
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos (1ra ed.). Lima, Perú: FAO, ANPE. Retrieved from <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2013/07/ai185s.pdf%0Ahttp://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/bi-am/bitstream/handle/minam/1703/BIV01474.pdf?sequence=1>
- Tester, R. y Debon, S. (2000). *International Journal of biological Macromolecules*. Annealing of starch, 45.
- Thornton Morrison, R. y Boyd, R. (1999). *Química Organica*. México: Pearson .

- Udomrati, S., Ikeda, S., & Gohtani, S. (2013). Rheological properties and stability of oil-in-water emulsions containing tapioca maltodextrin in the aqueous phase. *Journal of Food Engineering*, 116(1), 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.032>
- Vega, M. y Bontoux, L. (2000). *Aplicaciones alimentarios de las nuevas tecnologías en polisacáridos*. México: Acribia .
- 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>
- Vera Salvador, N. G. y Hernandez Hernandez, M. (2018). Use of oxalis tuberosa in gluten - free Baked goods manufacture. *Alternative and replanement foods*, vol12:167 - 175.
- Valcárcel Yamani, B., Rondán Sanabria, G. G., & Finardi Filho, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa molina*), olluco (*Ullucus tuberosus caldas*) and mashua (*Tropaeolum tuberosum ruiz & pavón*). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 453–464. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>
- 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>
- Velazquez Velasquez, L. R. (2011). Evaluación de la vida util en anaquel del pan con sustitución parcial de la harina de oca(*oxalis tuberosa Mol*). *Universidad Nacional Del Altiplano*, 65. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3370>
- Whistler, R. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*. London: Academic Press.
- Worldwide, M. I. (2016). A Basic Introduction to Rheology Shear Flow. *Reology and Viscosity* (Vol. 35, Issue 4, pp 415-435) <http://cdn.technologynetworks.com/TN/Resources/PDF/WP160620BasicIntroRheology.pdf>.

- 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>
- Zarate Polanco, L. R. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*solanum tuberosa*). *Revista latinoamericana*, 1-24.
- 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>
- Zhu, F., Bertoft, E., & Li, G. (2016). Morphological, Thermal, and Rheological Properties of Starches from Maize Mutants Deficient in Starch Synthase III. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(34), 6539–6545. doi: 10.1021/acs.jafc.6b01265.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema Principal:	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variables de la Investigación.	Unidades	Dimensiones	La Población y Muestra
➤ ¿Qué características morfológicas, propiedades térmicas y comportamiento reológico presentaran el almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu? Problema Específico: ➤ ¿Cuáles son las características morfológicas de los gránulos del almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu? ➤ ¿Cuáles son las propiedades térmicas del almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu? ➤ ¿Cuáles son las propiedades reológicas del	➤ Evaluar las características morfológicas, propiedades térmicas y comportamiento reológico que presentaran el almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu. Objetivos Específicos. ➤ Determinar las características morfológicas de los gránulos del almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu. ➤ Determinar las propiedades térmicas del almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu.	➤ El almidón de variedades de oca Lunchchu, Kheni harinosa y Huairichuchu presentan adecuadas características morfológicas, propiedades térmicas y reológicas. Hipótesis Específicos. ➤ Las características morfológicas del almidón de oca Lunchchu, Kheni harinosa y Huairichuchu, presentaron buenas características cuanto a sus características morfológicas de forma y tamaño. ➤ Las propiedades térmicas del almidón de oca Lunchchu, Kheni harinosa y Huairichuchu muestran la	 Independiente: Variedades de oca	Variedades	Lunchchu Kheni harinosa Huaririchuchu	Población: La población a estudiar será las variedades de ocas. Las cuáles serán extraídas del distrito de José María Arguedas, provincia de Andahuaylas región Apurímac. Muestra: Son los almidones que se obtendrán de las variedades de oca (<i>Oxalis Tuberosa</i> Mol.), lunchchu, kheni
			➤ Propiedades estructurales del almidón de variedades de oca (<i>oxalis tuberosa</i> Mol.).	μm μm	Tamaño forma	
			➤ Propiedades térmicas del almidón de variedades de oca (<i>oxalis tuberosa</i> Mol.).	°C °C J/g	Temperatura de transición vítrea Temperatura de cristalización Entalpia de gelatinización	
			➤ Propiedades reológicas del almidón de variedades de oca (<i>oxalis tuberosa</i> Mol.).	°C Rpm K.N	Barrido de Temperatura Barrido de frecuencia Curva de fluidez y viscosidad	

almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu?	➤ Determinar el comportamiento reológico del almidón de tres variedades de <i>Oxalis tuberosa</i> Huairichuchu, Kheni harinosa y Lunchchu.	diferencia significativa para la temperatura de transición vítrea, temperatura de cristalización y entalpia de gelatinización ➤ Las propiedades reológicas de los almidones de oca Lunchchu, Kheni harinosa y Huairichuchu, mostraron buenas características en cuanto a barrido de temperatura, barrido de frecuencia, curva de fluidez y viscosidad para su uso en la industria alimentaria		harinosa y Huairi chuchu
--	---	---	--	---------------------------------

Anexo 2. Datos de tamaño y forma

a. Oca roja

N°	Ancho	Altura	Mayor	Menor	circularidad
2	17.675	25.924	26.444	15.544	0.842
3	32.405	30.637	35.074	26.581	0.903
4	20.032	28.870	29.884	19.901	0.910
5	25.334	20.621	27.009	15.621	0.861
6	42.421	31.815	47.866	22.626	0.761
7	21.799	20.032	23.153	18.429	0.936
8	26.513	57.739	59.889	22.756	0.705
9	16.497	17.675	18.020	14.259	0.922
10	31.226	29.459	36.793	18.556	0.815
11	26.513	22.389	28.031	18.658	0.889
12	22.389	38.885	39.386	21.062	0.830
13	22.389	24.745	25.963	19.640	0.914
14	38.296	25.334	40.956	17.312	0.737
15	22.978	18.854	23.371	17.112	0.909
16	26.513	18.854	27.409	15.748	0.860
17	35.350	22.978	35.941	20.249	0.839
18	21.210	34.761	34.360	20.488	0.870
19	30.046	25.333	30.177	24.188	0.940
20	24.155	21.798	27.325	15.109	0.828
21	30.635	24.744	30.635	24.023	0.928
22	26.511	33.581	34.268	26.559	0.949
23	32.992	26.511	36.141	20.819	0.862
24	14.139	14.728	15.077	13.424	0.930
25	18.263	23.566	24.042	17.272	0.913
26	25.922	32.992	32.872	23.661	0.911
27	26.511	30.046	35.253	16.187	0.777
28	18.263	14.139	18.322	11.384	0.832
29	30.046	20.031	29.645	20.102	0.908
30	22.387	43.007	43.455	20.405	0.786
31	24.744	30.046	34.290	16.404	0.798
32	24.155	16.496	25.040	15.445	0.875
33	30.635	25.922	33.033	22.581	0.893
34	25.922	27.689	30.092	19.644	0.887
35	31.224	27.100	31.425	24.573	0.902
36	22.976	23.566	22.957	22.604	0.959
37	17.674	14.139	17.118	13.589	0.934
38	15.907	20.031	20.077	15.339	0.905
39	22.976	24.744	25.433	20.525	0.954
40	34.759	43.596	47.129	26.575	0.825
41	20.620	27.100	27.792	18.634	0.902

42	30.046	21.209	30.826	18.527	0.857
43	18.852	17.085	18.809	17.078	0.946
44	22.387	34.759	35.865	17.388	0.788
45	24.155	22.976	24.183	21.918	0.877
46	25.922	24.744	30.501	15.480	0.816
47	37.705	18.263	38.037	15.462	0.674
48	22.387	23.566	24.957	20.463	0.947
49	22.976	32.403	35.637	15.922	0.769
50	24.155	21.798	23.501	20.751	0.948
51	15.318	14.728	15.129	13.878	0.952

b. Oca amarilla

N°	Ancho	Altura	Mayor	Menor	circularidad
1	27.987	49.198	49.010	20.777	0.691
2	12.373	12.079	12.813	11.322	0.965
3	13.846	12.079	14.215	11.040	0.946
4	19.444	15.614	21.724	11.213	0.824
5	17.086	16.496	18.636	14.650	0.934
6	18.853	23.566	23.486	17.082	0.866
7	21.799	33.582	34.964	18.356	0.815
8	17.086	20.620	21.284	16.980	0.945
9	28.869	21.210	30.212	17.572	0.848
10	20.031	27.690	30.270	14.522	0.771
11	29.458	21.799	29.247	19.450	0.896
12	15.318	25.334	24.053	15.016	0.828
13	21.799	32.404	32.407	17.323	0.822
14	25.923	19.442	25.473	19.263	0.930
15	12.961	15.318	16.433	9.870	0.810
16	14.729	27.690	27.948	13.605	0.796
17	16.496	24.745	24.680	16.215	0.905
18	31.817	30.049	34.694	26.255	0.901
19	22.979	25.925	29.068	17.909	0.876
20	21.211	24.746	24.313	18.305	0.819
21	18.265	37.120	37.447	17.691	0.792
22	33.584	18.265	33.743	16.036	0.788
23	20.622	15.908	21.548	14.433	0.908
24	12.373	26.514	25.916	12.476	0.773
25	38.887	30.049	45.360	18.289	0.729
26	15.908	14.141	15.820	13.499	0.931
27	21.211	15.908	21.266	13.554	0.830
28	14.141	18.265	19.640	10.840	0.838
29	24.157	20.033	26.407	15.293	0.840
30	12.962	29.460	28.368	12.861	0.733

31	17.087	32.995	32.941	14.802	0.749
32	25.925	55.974	59.432	20.313	0.658
33	15.908	17.676	19.199	12.116	0.866
34	27.103	73.061	73.950	26.121	0.653
35	19.444	18.854	23.204	14.246	0.840
36	38.298	22.979	39.556	17.887	0.761
37	14.141	31.228	32.470	15.127	0.782
38	17.087	27.692	29.511	14.613	0.808
39	18.265	17.676	21.423	14.224	0.900
40	18.854	24.157	23.954	16.824	0.905
41	18.854	18.854	20.044	16.540	0.947
42	24.746	22.390	28.133	17.088	0.877
43	37.709	25.336	40.587	18.925	0.788
44	22.979	28.871	32.412	14.930	0.772
45	22.979	21.211	25.255	16.870	0.892
46	32.995	24.157	32.625	23.701	0.939
47	27.692	42.422	45.066	21.210	0.739
48	24.746	28.282	29.726	20.987	0.914
49	23.568	37.709	37.761	19.708	0.723
50	18.854	22.979	25.047	13.388	0.822
51	20.033	14.730	20.098	14.901	0.908

c. Oca blanca

Nº	Ancho	Altura	Mayor	Menor	circularidad
1	16.201	17.674	19.165	14.121	0.941
2	20.619	16.495	19.642	15.168	0.905
3	20.325	19.441	22.982	15.842	0.894
4	15.023	35.642	36.824	14.939	0.740
5	25.038	20.914	26.514	18.633	0.927
6	21.208	21.208	22.020	19.211	0.929
7	16.790	21.503	21.077	16.832	0.929
8	28.572	32.107	38.656	19.018	0.805
9	17.968	17.674	21.140	13.487	0.886
10	45.068	25.038	46.028	24.874	0.851
11	31.518	29.161	32.840	26.279	0.922
12	45.068	24.154	46.140	22.534	0.808
13	16.201	13.844	16.025	13.535	0.965
14	23.859	27.100	31.417	17.265	0.857
15	22.681	25.332	28.693	17.272	0.870
16	22.092	19.736	22.909	18.950	0.958
17	27.100	31.223	33.282	24.001	0.916
18	29.456	24.448	32.849	19.002	0.877
19	22.092	17.968	22.147	15.636	0.899

20	17.674	17.968	20.252	16.043	0.943
21	32.404	35.350	43.320	16.320	0.701
22	18.853	22.388	23.458	15.887	0.902
23	25.334	18.853	25.650	18.887	0.932
24	20.032	28.280	27.934	19.251	0.899
25	20.032	26.512	26.977	17.945	0.895
26	27.102	28.869	27.991	24.592	0.925
27	22.977	20.621	24.502	18.229	0.854
28	26.512	56.560	57.844	25.709	0.759
29	25.334	17.086	27.001	12.827	0.792
30	23.567	32.404	34.692	18.667	0.824
31	34.462	24.153	34.285	23.280	0.916
32	25.037	23.859	26.321	20.716	0.920
33	25.037	43.299	44.299	23.808	0.804
34	35.641	23.564	35.865	21.218	0.842
35	9.131	8.837	9.778	8.012	0.950
36	20.029	20.913	21.476	19.764	0.965
37	40.353	28.571	41.484	24.967	0.828
38	21.208	36.819	37.255	20.766	0.862
39	17.378	20.029	19.594	17.427	0.958
40	18.557	16.495	18.774	16.549	0.963
41	13.255	16.789	16.574	13.569	0.942
42	17.378	24.742	24.878	17.169	0.919
43	30.044	20.324	30.967	20.346	0.893
44	38.881	47.717	57.388	21.580	0.711
45	13.549	17.084	17.092	13.319	0.951
46	17.084	18.557	19.859	15.205	0.938
47	9.131	9.131	9.383	9.196	0.964
48	38.883	30.635	41.955	24.536	0.853
49	26.511	22.976	28.664	18.640	0.895
50	25.333	31.813	32.170	20.735	0.833
51	22.387	26.511	29.785	17.578	0.867

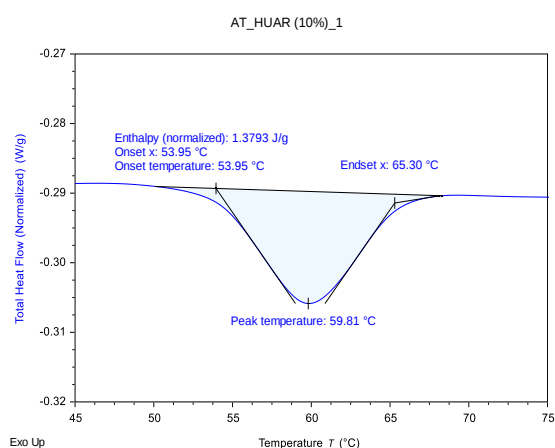
Anexo 3. Datos de las propiedades térmicas

a. Datos de las propiedades térmicas

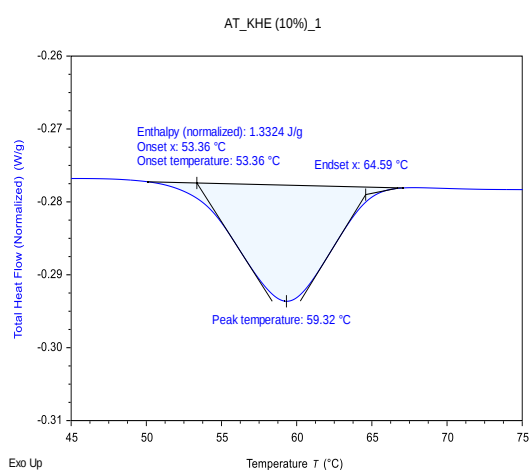
N°	Variedad	T ₀ (°C)	T _P (°C)	T _F (°C)	Entalpía (J/g)	T _V (°C)	T _{CRIST} (°C)
1	V1	53.95	59.81	65.30	1.3793	62.47	72.46
2	V1	54.05	59.82	65.07	1.3234	62.44	72.13
3	V1	54.05	59.82	65.28	1.3459	62.54	72.54
4	V1	53.90	59.76	65.34	2.1041	62.55	72.87

5	V1	54.14	59.77	65.00	1.9096	62.38	73.77
6	V1	54.08	59.77	65.04	1.9463	62.39	72.27
7	V1	53.94	59.72	65.43	2.7307	62.56	73.49
8	V1	54.00	59.72	65.20	2.6689	62.45	73.29
9	V1	54.04	59.73	65.29	2.6718	62.50	73.65
10	V2	53.36	59.32	64.59	1.3324	61.95	72.89
11	V2	53.48	59.33	64.48	1.2853	61.90	72.19
12	V2	53.34	59.32	64.55	1.3341	61.93	71.89
13	V2	53.34	59.27	64.64	1.9060	61.94	71.99
14	V2	53.42	59.28	64.63	1.8572	61.95	72.38
15	V2	53.52	59.29	64.56	1.8062	61.93	72.48
16	V2	52.92	58.96	64.41	2.7850	61.68	72.52
17	V2	53.02	58.96	64.13	2.6314	60.70	72.12
18	V2	53.08	58.96	63.98	2.5852	61.46	72.62
19	V3	52.25	58.22	63.92	1.3458	61.06	69.39
20	V3	52.37	58.23	63.55	1.2944	60.88	68.84
21	V3	52.29	58.22	63.50	1.3195	60.85	68.94
22	V3	52.23	58.16	63.61	2.0291	60.87	70.07
23	V3	52.26	58.15	63.19	1.9840	60.66	70.15
24	V3	52.27	58.16	63.35	1.9872	60.75	70.35
25	V3	52.19	58.15	63.48	2.6570	60.99	70.76
26	V3	52.19	58.15	63.44	2.6678	60.79	70.85
27	V3	52.19	58.14	63.45	2.6380	60.79	70.95

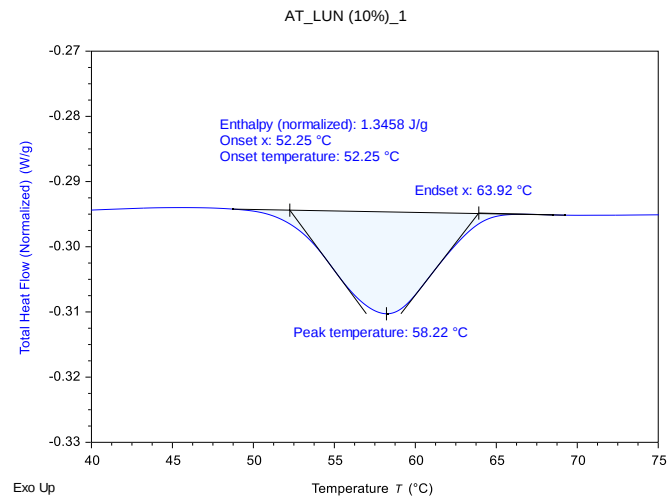
b. Termograma de almidones de oca al 10% de suspensión a) Huairi chuchu (Rojo); b) Kheni harinosa (Amarrilla); c) Luncho (Blanca)



a)

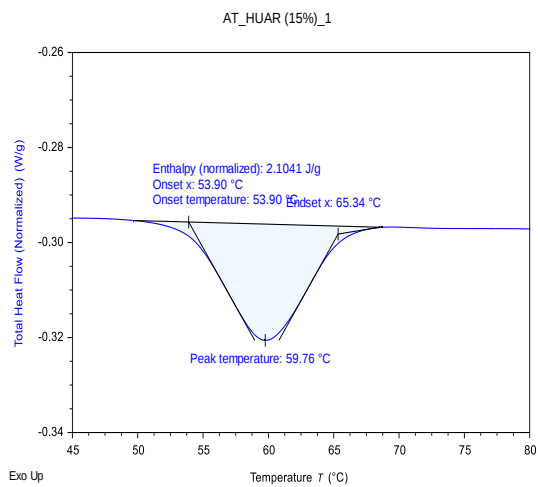


b)

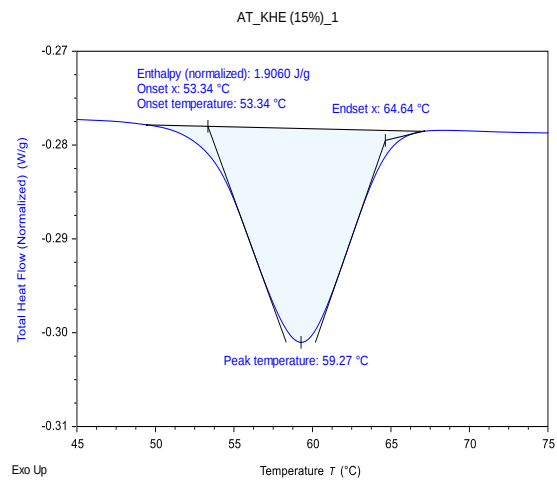


c)

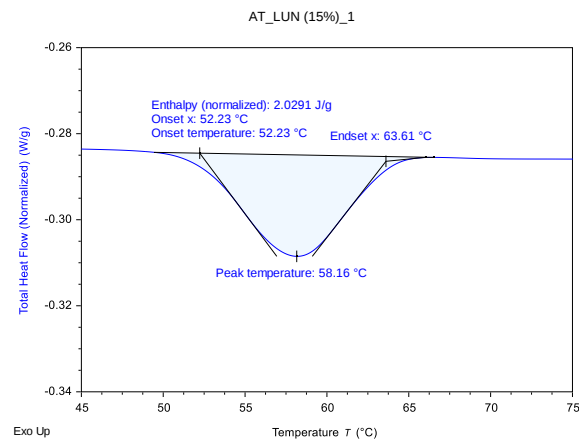
- c. Termograma de almidones de oca al 15% de suspensión a) Huairi chuchu (Roja);
b) Kheni harinosa (Amarillo); c) Lunchcho (Blanca)**



a)

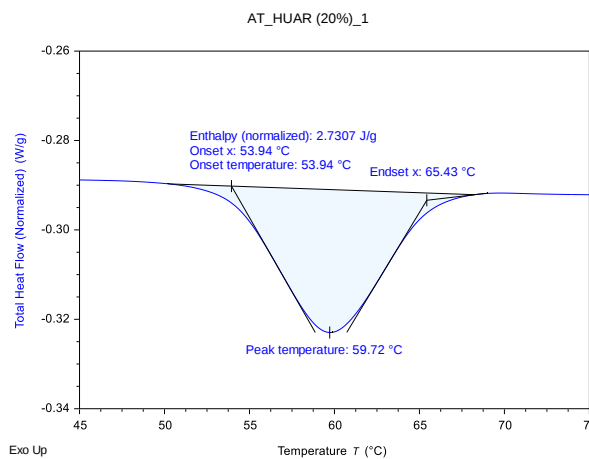


b)

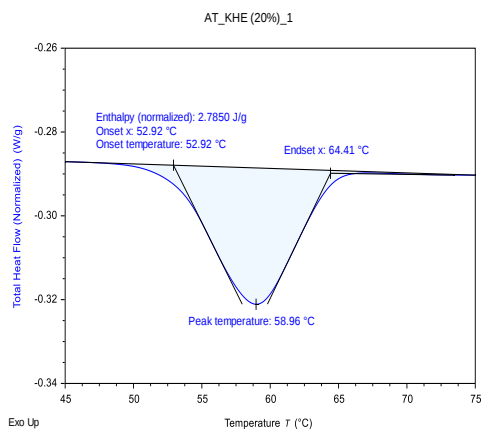


c)

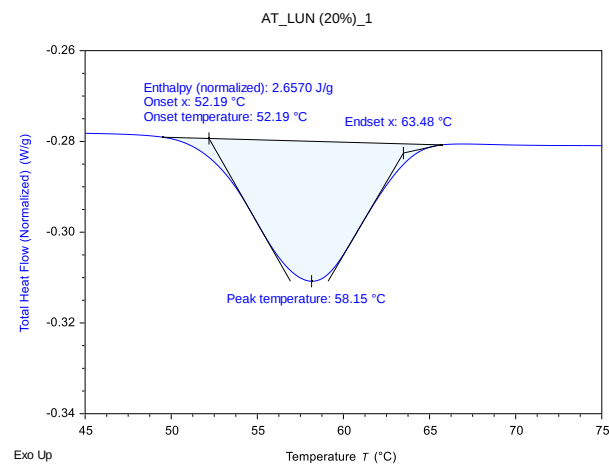
d. Termograma de almidones de oca al 20% de suspensión a) Huairi chuchu (Roja); b) Kheni harinosa (Amarrilla); c) Lunchcho (Blanca)



a)

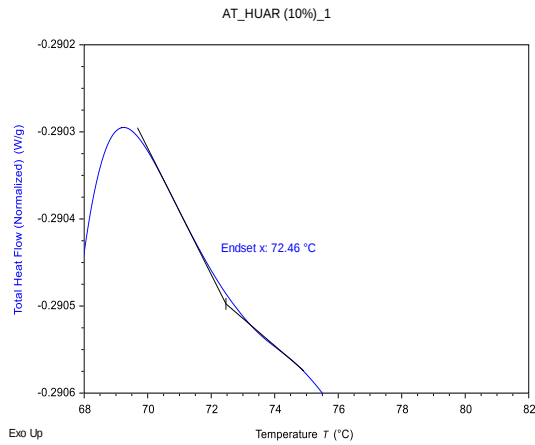


b)

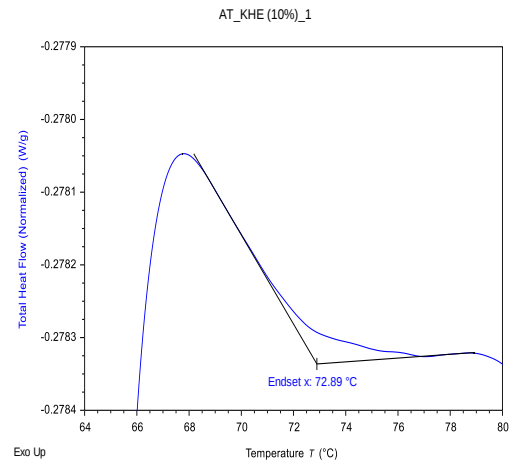


c)

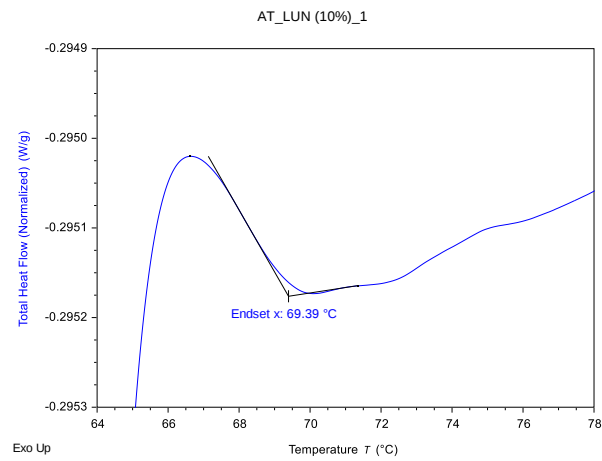
e. Termograma de Cristalización de almidones de variedades de oca al 10% se suspensión a) Huairi chuchu (Roja); b) Kheni harinosa (Amarrilla); c) Lunchcho (Blanca)



a)

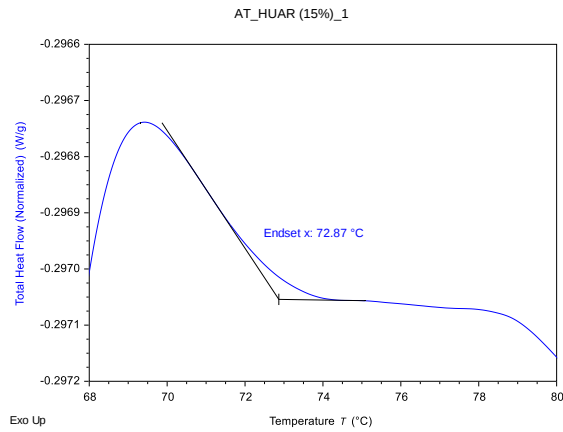


b)

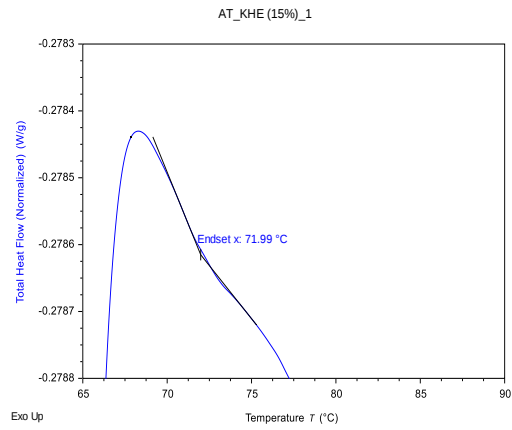


c)

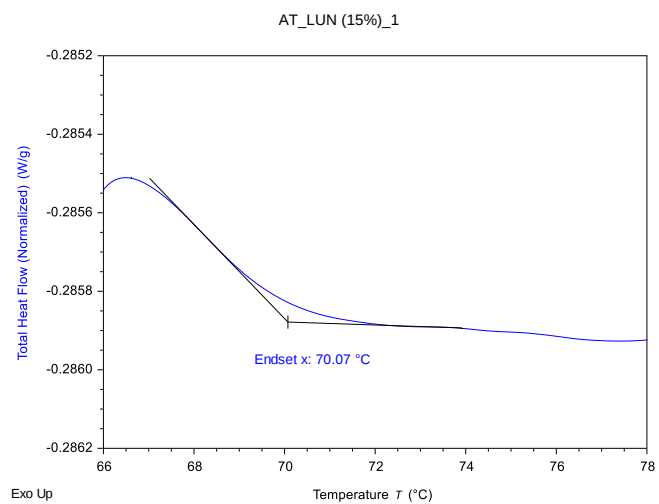
- f. Termograma de almidones de oca al 15% de suspensión a) Huairi chuchu (Roja);
b) Kheni harinosa (Amarrilla); c) Lunchcho (Blanca)**



a)

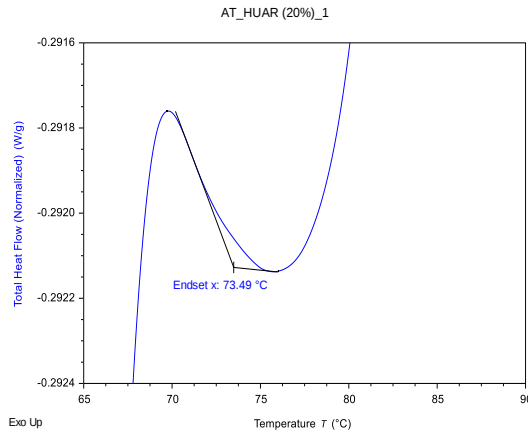


b)

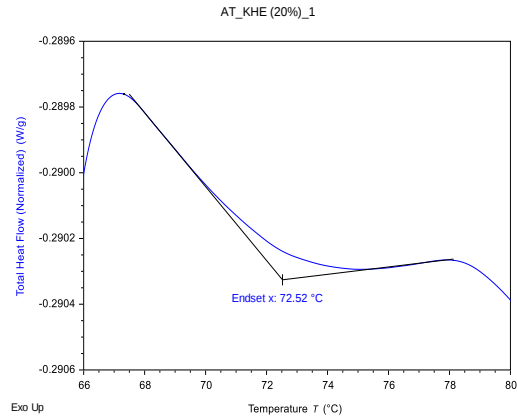


c)

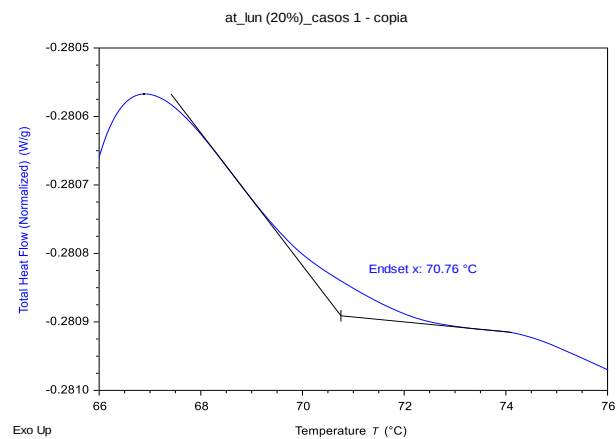
g. Termograma de almidones de oca al 20% a) Huairi chuchu (Rojo); b) Kheni harinosa (Amarillo); c) Lunchcho (Blanca)



a)



b)



c)

Anexo 4. Análisis de varianza de temperaturas

4.1. Análisis de varianza de temperatura de transición vítrea

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12.83	8	1.60	45.49	<0.0001
VARIEDAD	11.92	2	5.96	169.15	<0.0001
SUSPENSION	0.26	2	0.13	3.69	0.0455
VARIEDAD*SUSPENSION	0.64	4	0.16	4.57	0.0101
Error	0.63	18	0.04		
Total	13.46	26			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.22588

Error: 0.0352 gl: 18

VARIEDAD Medias n E.E.

V1	62.48	9	0.06	A
V2	61.72	9	0.06	B
V3	60.85	9	0.06	C

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.22588

Error: 0.0352 gl: 18

SUSPENSION Medias n E.E.

10	61.78	9	0.06	A
15	61.71	9	0.06	A B
20	61.55	9	0.06	B

4.2. Análisis de varianza de temperatura de cristalización

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49.24	8	6.15	47.51	<0.0001
VARIEDAD	42.43	2	21.22	163.80	<0.0001
SUSPENSION	4.50	2	2.25	17.39	0.0001
VARIEDAD*SUSPENSION	2.30	4	0.57	4.43	0.0114
Error	2.33	18	0.13		
Total	51.57	26			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.43301

Error: 0.1295 gl: 18

VARIEDAD Medias n E.E.

V1	72.94	9	0.12	A
V2	72.34	9	0.12	B
V3	70.03	9	0.12	C

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.43301

Error: 0.1295 gl: 18

SUSPENSION Medias n E.E.

20	72.25	9	0.12	A
15	71.81	9	0.12	B
10	71.25	9	0.12	C

4.3. Análisis de varianza de temperatura entalpia de gelatinización

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.16	8	1.02	323.13	<0.0001
VARIEDAD	0.02	2	0.01	2.91	0.0806
SUSPENSION	8.12	2	4.06	1285.90	<0.0001
VARIEDAD*SUSPENSION	0.02	4	0.01	1.85	0.1631
Error	0.06	18	3.2E-03		
Total	8.22	26			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.06759

Error: 0.0032 gl: 18

VARIEDAD Medias n E.E.

V1 2.01 9 0.02 A

V3 1.99 9 0.02 A

V2 1.95 9 0.02 A

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.06759

Error: 0.0032 gl: 18

SUSPENSION Medias n E.E.

20 2.67 9 0.02 A

15 1.95 9 0.02 B

10 1.33 9 0.02 C

Anexo 5. Datos del comportamiento reológicas

5.1. Barrido de temperatura

N°	Oca Roja			Oca Amarilla			Oca Blanca		
	T[°C]	G'[Pa]	G''[Pa]	T[°C]	G'[Pa]	G''[Pa]	T[°C]	G'[Pa]	G''[Pa]
1	25.02	7.36	8.25	24.89	4.76	6.58	24.87	5.01	7.14
2	25.41	1.86	4.15	25.33	1.52	3.72	25.29	1.33	3.96
3	25.97	1.85	4.15	25.95	1.50	3.77	25.91	1.45	4.17
4	26.60	1.97	4.34	26.61	1.63	3.87	26.57	1.44	4.26
5	27.26	1.97	4.43	27.27	1.70	4.05	27.24	1.48	4.42
6	27.91	2.01	4.55	27.92	1.86	4.26	27.90	1.60	4.75
7	28.56	2.06	4.68	28.57	1.96	4.43	28.56	1.64	4.95
8	29.20	2.14	4.81	29.21	2.16	4.77	29.19	1.71	5.13
9	29.83	2.20	4.94	29.84	2.23	4.90	29.83	1.77	5.30
10	30.46	2.26	5.07	30.47	2.29	5.01	30.46	1.83	5.45
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
95	82.07	80.69	21.24	82.07	88.13	23.06	82.07	86.47	23.71
96	82.68	80.56	21.25	82.68	87.58	23.04	82.68	86.23	23.73
97	83.29	80.41	21.39	83.28	87.03	23.18	83.29	85.94	23.97
98	83.89	80.24	21.46	83.88	86.51	23.26	83.89	85.65	24.13
99	84.50	80.24	21.63	84.49	85.90	23.45	84.49	85.63	24.12
100	85.10	80.07	22.02	85.10	85.58	23.67	85.10	85.37	24.28

5.2. Barrido de frecuencia

Oca Roja			Oca Amarilla			Oca Blanca		
ω [rad/s]	G' [Pa]	G'' [Pa]	ω [rad/s]	G' [Pa]	G'' [Pa]	ω [rad/s]	G' [Pa]	G'' [Pa]
100	250.167	77.682	100	217.483	82.841	100	252.837	77.759
63.1	241.733	74.669	63.1	217.040	75.597	63.1	247.107	74.157
39.8	203.913	60.606	39.8	187.433	61.252	39.8	212.777	58.882
25.1	212.057	66.856	25.1	193.340	62.206	25.1	220.583	67.085
15.8	210.733	61.343	15.8	193.630	59.054	15.8	218.460	61.509
10	209.927	56.149	10	192.787	54.217	10	217.993	56.482
6.31	209.943	52.039	6.31	192.553	50.513	6.31	217.857	52.614
3.98	209.793	48.835	3.98	192.017	47.858	3.98	217.593	49.415
2.51	210.960	46.449	2.51	192.393	46.415	2.51	218.567	47.161
1.58	213.890	44.941	1.58	193.953	46.456	1.58	221.073	45.468
1	218.567	44.367	1	196.673	47.604	1	225.240	44.408
0.631	224.503	44.355	0.631	200.597	49.212	0.631	230.193	44.153
0.398	231.587	45.121	0.398	206.193	51.324	0.398	236.730	44.297
0.251	238.750	46.320	0.251	221.777	54.750	0.251	243.077	45.089
0.158	248.413	47.558	0.158	235.997	58.693	0.158	250.090	46.314
0.1	267.310	49.091	0.1	318.697	67.246	0.1	266.103	48.649

5.4. Curva de fluidez

N°	Oca Roja			Oca Amarilla			Oca Blanca		
	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad	Tasa de corte	Esfuerzo de corte	Viscosidad
	$\dot{\gamma}$ [1/s]	τ [Pa]	η [Pa·s]	$\dot{\gamma}$ [1/s]	τ [Pa]	η [Pa·s]	$\dot{\gamma}$ [1/s]	τ [Pa]	η [Pa·s]
1	0.099	5.796	58.819	0.099	3.645	37.016	0.099	6.917	70.189
2	0.147	9.821	66.922	0.147	9.078	61.891	0.147	17.344	118.200
3	0.215	8.202	38.079	0.215	9.714	45.164	0.215	16.758	77.804
4	0.316	8.014	25.372	0.317	9.060	28.618	0.316	14.388	45.503
5	0.463	8.352	18.023	0.464	9.191	19.828	0.463	13.863	29.947
6	0.679	9.155	13.492	0.679	9.288	13.677	0.680	14.381	21.139
7	0.997	9.653	9.683	0.995	9.699	9.748	0.997	14.975	15.024
8	1.460	10.415	7.125	1.460	10.720	7.327	1.460	15.841	10.834
9	2.150	11.318	5.270	2.145	11.707	5.455	2.150	16.900	7.869
10	3.150	12.415	3.937	3.150	12.831	4.070	3.153	18.034	5.719
11	4.630	13.803	2.981	4.630	14.274	3.084	4.630	19.812	4.281
12	6.803	15.370	2.260	6.800	15.930	2.342	6.803	21.968	3.230
13	9.990	17.222	1.724	9.990	17.833	1.785	9.983	24.765	2.480
14	14.700	19.216	1.310	14.700	19.618	1.336	14.700	28.058	1.913
15	21.600	21.028	0.975	21.550	21.759	1.010	21.500	32.097	1.491
16	31.633	23.315	0.737	31.650	23.919	0.756	31.600	37.276	1.179

17	46.500	26.285	0.566	46.450	27.329	0.588	46.400	43.396	0.935
18	68.233	30.032	0.440	68.250	31.667	0.464	68.133	50.476	0.741
19	100.000	34.558	0.345	100.000	36.482	0.364	100.000	59.930	0.599
20	147.000	40.256	0.274	147.000	43.027	0.292	147.000	71.806	0.489
21	216.000	47.368	0.219	216.000	51.425	0.238	216.000	87.137	0.404
22	317.000	56.283	0.177	317.000	62.083	0.196	317.000	107.165	0.338
23	466.000	67.364	0.145	466.000	75.692	0.163	465.000	132.873	0.286
24	684.000	81.637	0.119	684.000	92.689	0.136	683.000	165.527	0.242
25	1000.000	99.841	0.099	1000.000	114.346	0.114	1000.000	206.847	0.206

5.5. Estadístico de propiedades reológicas

Pruebas de Múltiple Rangos para n por OCAS

Tabla ANOVA para n por OCAS

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.09421E8	2	5.47103E7	7.00	0.0270
Intra grupos	4.68648E7	6	7.81081E6		
Total (Corr.)	1.56285E8	8			

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>OCAS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
OA	3	4458.33	X
OB	3	6830.33	X
OR	3	12750.0	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
OB - OA		2372.0	5583.7
OB - OR	*	-5919.67	5583.7
OA - OR	*	-8291.67	5583.7

Tabla de Medias para n por OCAS con intervalos de confianza del 95.0%

<i>OCAS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est. (s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
OB	3	6830.33	1613.57	4038.49	9622.18
OA	3	4458.33	1613.57	1666.49	7250.18
OR	3	12750.0	1613.57	9958.15	15541.8
Total	9	8012.89			

Pruebas de Múltiple Rangos para K por OCAS

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>OCAS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
OR	3	250.0	X
OA	3	8932.0	XX
OB	3	17222.0	X

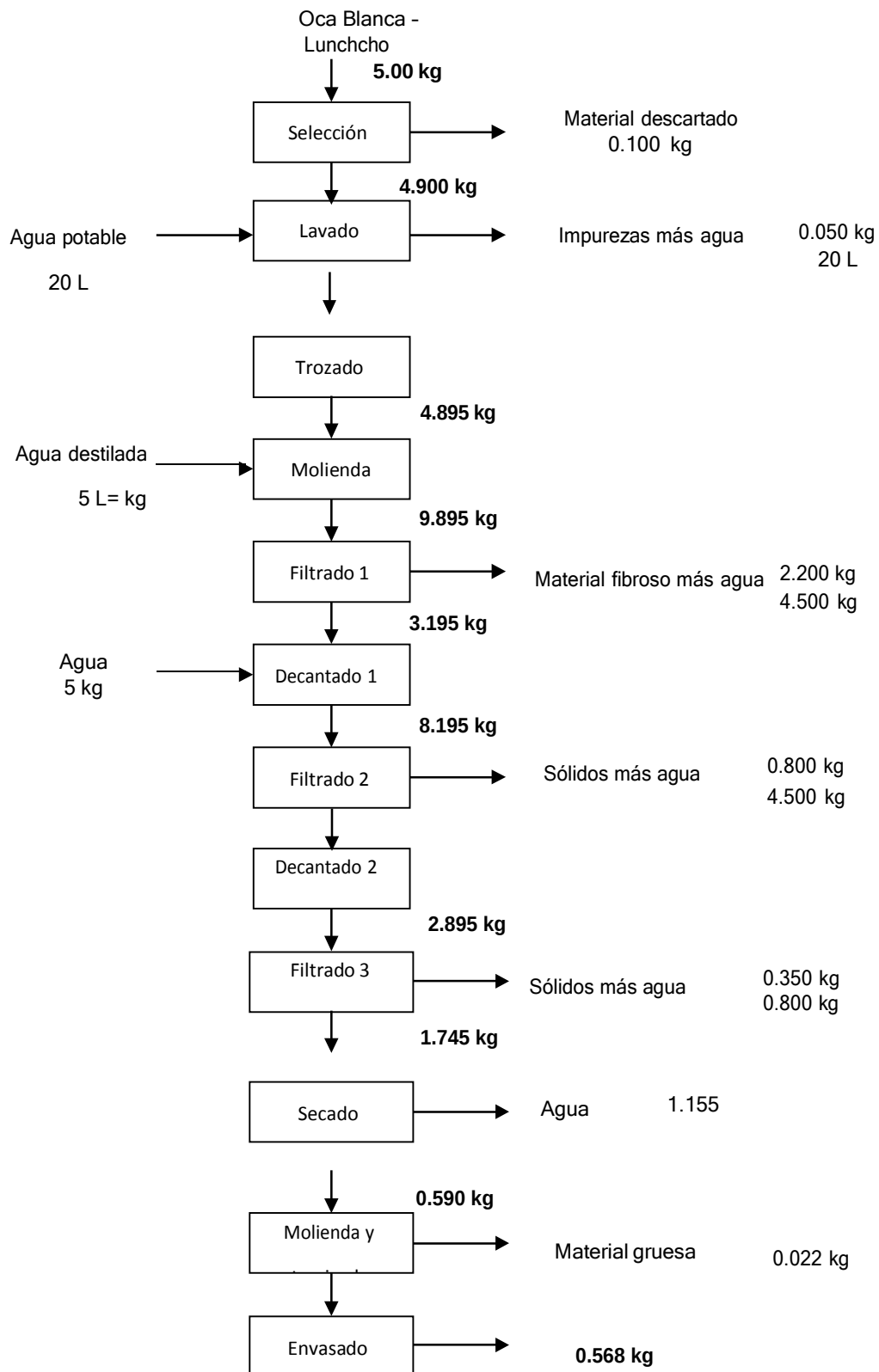
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
OB - OA		8290.0	10757.7
OB - OR	*	16972.0	10757.7
OA - OR		8682.0	10757.7

Tabla ANOVA para K por OCAS

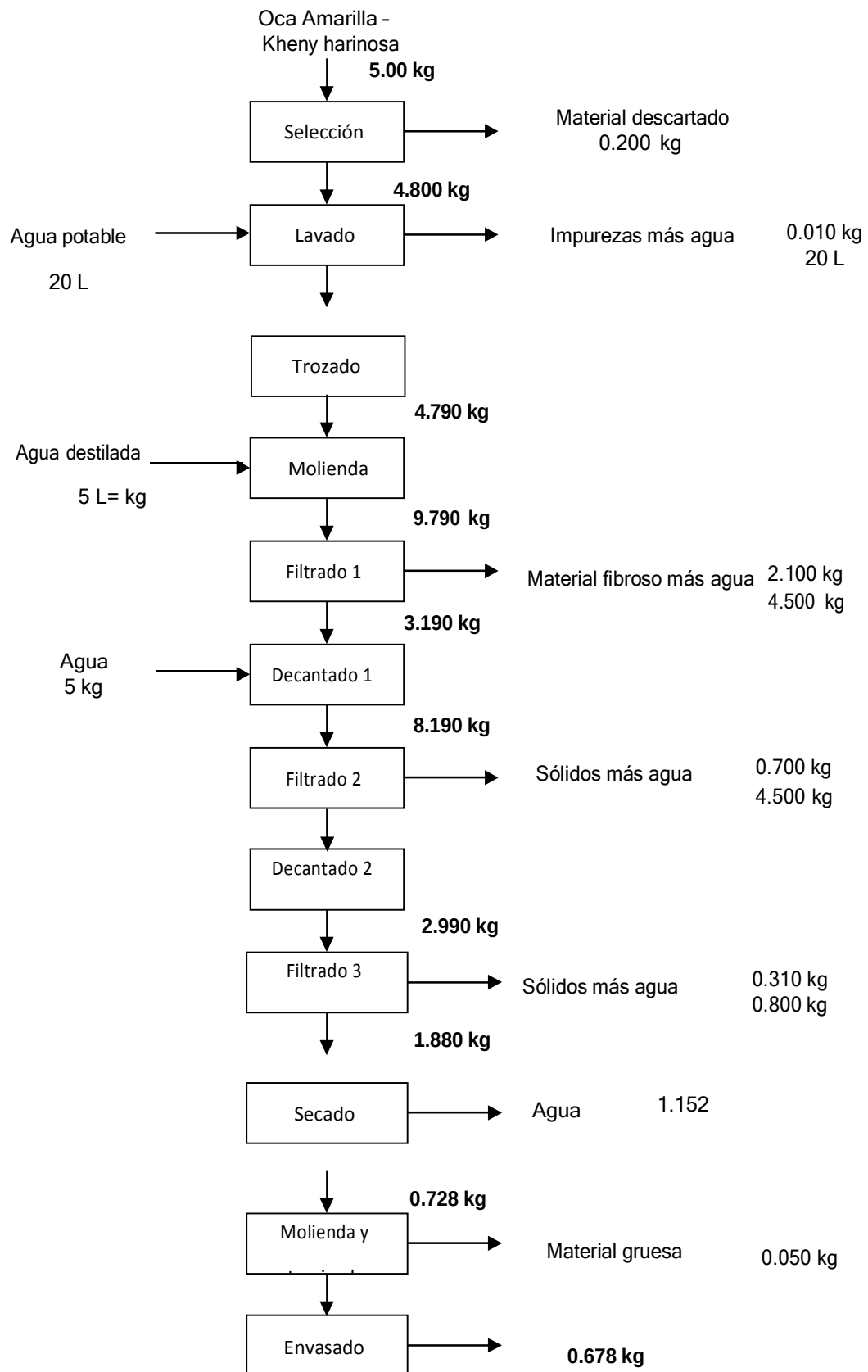
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.3215E8	2	2.16075E8	7.45	0.0236
Intra grupos	1.73957E8	6	2.89929E7		
Total (Corr.)	6.06107E8	8			

Anexo 6. Balance de masa de extracción de almidón de las tres variedades de oca
(*Oxalis tuberosa*)

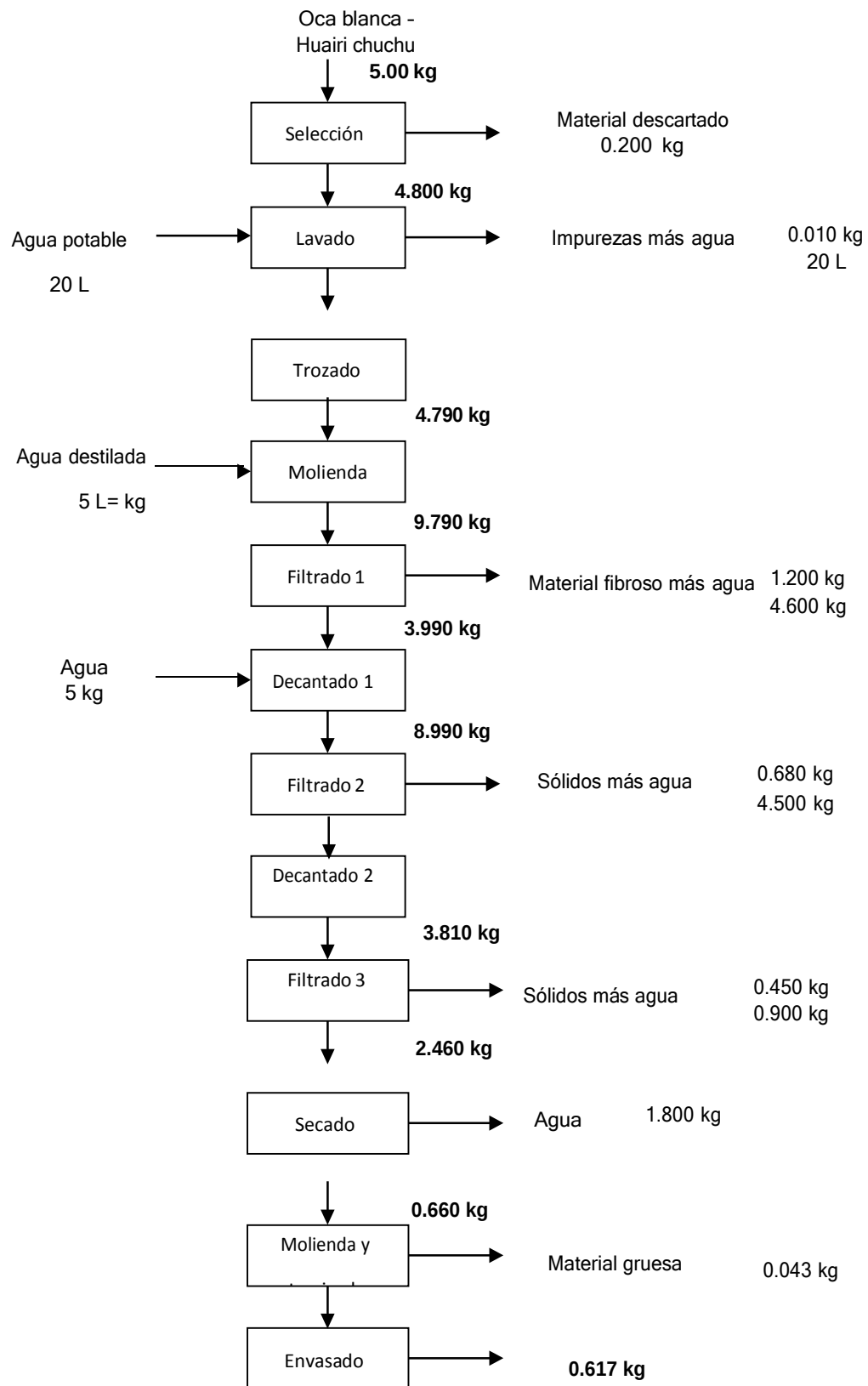
d. Oca Blanca – Lunchcho



e. Oca Amarilla – Kheni harinosa



f. Oca Roja – Huairi chuchu



Anexo 7. Ficha técnica de variedades de oca (*Oxalis tuberosa*)

29/12/24, 13:07

OCA (*Oxalis tuberosa*)

Reino:	Plantae
Filo:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Geraniales
Familia:	Oxalidaceae
Género:	Oxalis
Especie:	Tuberosa

POTENCIAL ECONÓMICO

ALIMENTICIO:

- El tubérculo de la **OCA** se puede consumir de distintas formas: homeado, sancocado, frito, en ensalada, mezcladas en vinagre o como postre.
- En los Andes, los tubérculos son puestos al sol luego de ser cosechados, de esa manera adquieren un sabor más dulce, pues desarrolla un mayor contenido de sacarina.
- También se puede preparar chuflo de oca o cjaña.

MEDICINAL:

- La **OCA** sirve como un efectivo astringente.
- El zumo de las hojas en emplasto es utilizado para desinflamar los testículos.
- El cocimiento de las hojas actúa contra el dolor de oídos.

ALMIDÓN: Con esta planta se prepara un almidón muy fino.

FORRAJERO: La planta entera es utilizada como alimento para el ganado porcino.

GENERALIDADES

OCA es el nombre quechua de una planta oriunda de los Andes, que es uno de los cultivos más antiguos de dicha región con casi 8,000 años de antigüedad. Se han encontrado restos de sus tubérculos comestibles en tumbas de la costa, lejos de sus lugares de cultivo originales.

En los Altos Andes sólo el cultivo de la papa es más importante que el de la **OCA**. Su agradable sabor y diversos colores brillantes resultan interesantes para impulsar su producción a gran escala con fines de exportación.

DISTRIBUCIÓN Y CULTIVO

La **OCA** crece principalmente en los Andes, entre los 2,800 y 4,000 msnm, sin embargo su cultivo se ha extendido a otros países como Nueva Zelanda, que se ha convertido en el principal exportador de este cultivo a los mercados de Europa.

La reproducción de la **OCA** es por tubérculos y tallos, mas no por semillas. Su cultivo es muy parecido al de la papa. En condiciones normales produce 5 t/ha, en condiciones mejoradas rinde 7 t/ha y de manera experimental se han alcanzado las 40 t/ha.

MORFOLOGÍA

ALTURA: La **OCA** es una herbácea compacta de tipo perenne y mide entre 20 y 30 cm de alto.

TALLO: Sus tallos tienen forma cilíndrica y su color varía entre amarillo, verde, violeta y rojizo.

HOJAS: La **OCA** posee hojas alternas y trifoliadas, parecidas al trébol. Su tipo de crecimiento, forma, ángulo y grosor, las hacen muy eficientes para realizar la fotosíntesis.

INFLORESCENCIA: Se forman en las axilas superiores de los tallos y presentan de 4 a 5 flores. Cada flor tiene 5 pétalos amarillos con rayas moradas, 10 estambres y un pistilo de tamaño variable... la estructura floral facilita la polinización cruzada.

https://www.peruecologia.com/pagina_oca_1.htm

1/3

TUBÉRCULOS: Los tubérculos de la **OCA** tienen forma elipsoidal, claviforme o cilíndrica, cuyo sabor puede ser dulce o amargo. Presentan numerosas yemas u "ojos" en toda su superficie, y colores muy variados como el blanco, amarillo, rosado, anaranjado, rojo y morado.

VALOR NUTRICIONAL

Es muy variable, pero igual o mejor que la papa. Su contenido de proteína es muy variable, pero generalmente está cerca del 9% y además tiene buena proporción de aminoácidos esenciales.

La **OCA** en estado fresco tiene el siguiente contenido:

ELEMENTO	%
> Humedad	70 a 80
> Carbohidratos	11 a 22
> Grasa	1
> Fibra	1
> Ceniza	1
> Proteínas	9

VARIEDADES

Existen al menos 50 variedades. Las mayores colecciones de germoplasma de **OCA** se encuentran en Perú, en Cusco, donde se registran 400 accesos, también en Puno y Huancayo; y en Ecuador en Quito.

Las variedades de **OCA** más comunes en nuestro país son las siguientes:

1. Zapallo oca, de tubérculos amarillos.
2. Chachapea oca, de tubérculos grises y dulces.
3. Paucar oca, de tubérculos rojos y dulces.
4. Mestiza oca, de tubérculos blancos.
5. Nigro oca, de tubérculos negruzcos.
6. Luncho oca, de tubérculos blancos y amargos, usados en la preparación de chuño.
7. Huari chuchu, de tubérculos rojos muy alargados.
8. Khella sunti, de tubérculos blanquecinos muy desteñidos.
9. Chair achacana, de tubérculos amarillos con listones negros.
10. Ulchu gorra, de tubérculos rosados que al cocinarse desprenden su hollejo.
11. Kheni harinosa, de tubérculos amarillos muy intenso, casi anaranjados.
12. Uma huaculla, de tubérculos rojos con yemas negras y gran tamaño.

REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS

LUZ SOLAR: Generalmente requiere de períodos diurnos menores de 12 horas para iniciar la formación del tubérculo. En la mayoría de los casos los días con luz solar más largos producen solamente el desarrollo del follaje.

PRECIPITACIÓN: El cultivo crece en lugares donde las lluvias varían de 570 a 2,150 mm, distribuidas uniformemente a través de todas las etapas de crecimiento.

ALTITUD: En los Andes del Perú, Bolivia y Ecuador, desarrolla entre 2,800 a 4,000 msnm. Sin embargo, en Nueva Zelanda crece cerca al nivel del mar.

BAJAS TEMPERATURAS: Es resistente a bajas temperaturas y prospera en climas fríos moderados, no obstante las heladas destruyen su follaje.

ALTAS TEMPERATURAS: Las temperaturas por encima de los 28° C destruyen la planta.

TIPO DE SUELO: Parece indiferente al tipo de suelo donde crece, pero se ha reportado que tolera de 5.3 a 7.8 pH de acidez.

Nombres	- Occa, o'qa, okka (en quechua); apíña, apíia, kawí (en aymara).
Comunes :	- Ibia (en Colombia); quiba, ciaba, (en Venezuela).
	- Sorrel, kao, yam (en inglés); truffette acide (en francés); knollen-sauerklee (en alemán).

Anexo 8. Panel fotográfico



CULTIVO DE VARIEDADES DE OCAS



LAVADO DE LAS VARIEDADES DE OCA



SELECCIÓN DE LAS VARIEDADES DE OCA POR TAMAÑO



PESADO DE LA MUESTRA



**MATERIA PRIMA - VARIEDADES DE
OCAS**



**PRECIPITACIÓN DEL ALMIDÓN
DURANTE 4 HORAS**



**SECADO DEL ALMIDÓN A 40° C DURANTE
24 HORAS**



**MOLIENDA DEL ALMIDÓN CON
MORTERO DE PILON**



**MUESTRAS DE ALMIDÓN PARA SU
ANÁLISIS ACONDICIONADA A 18°C**



**EQUIPO CALORIMETRIA
DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)**



**EQUIPO REOMETRO MODULAR
COMPACTO ANTON PAAR**



**CARGA DEL GEL DE SUSENSIONES
DE ALMIDÓN AL PLATO INFERIOR
DEL REOMETRO**