



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍAS EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS**  
**Y TECNOFUNCIONALES EN ALMIDONES DE OCA**  
***(Oxalis tuberosa)*, KAYA Y UMA KAYA"**

**MARITZA REGINA YANA CALSIN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**JULIACA – PERÚ**

**2024**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS**  
**Y TECNOFUNCIONALES EN ALMIDONES DE OCA**  
**(*Oxalis tuberosa*), KAYA Y UMA KAYA"**

**MARITZA REGINA YANA CALSIN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**JULIACA – PERÚ**

**2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍAS EN**  
**INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**" EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y**  
**TECNOFUNCIONALES EN ALMIDONES DE OCA**  
**(*Oxalis tuberosa*), KAYA Y UMA KAYA"**

Maritza Regina Yana Calsin

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Asesor: M. Sc. Lenin Quille Quille

Co-asesor: Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

Juliaca, 2024

## FICHA CATALOGRAFICA

Yana-Calsin, M. R. (2024). *Evaluación de las características fisicoquímicas y tecnofuncionales en almidones de oca (Oxalis tuberosa), kaya y uma kaya* Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca. Juliaca

**AUTOR:** Maritza Regina Yana Calsin

**TITULO:** Evaluación de las características fisicoquímicas y tecnofuncionales en almidones de oca (*oxalis tuberosa*), kaya y uma kaya.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2024

**NOTA:** Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional de Juliaca.

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (150 pp)

**CÓDIGO:** 03-000037-03/Y21

**NOTA:** Incluye bibliografía

**ASESOR:** M. Sc. Lenin Quille Quille

**CO-ASESOR:** Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

**PALABRAS CLAVES:** Almidón, oca, kaya, uma kaya, propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**

**" EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y  
TECNOFUNCIONALES EN ALMIDONES DE OCA  
(*Oxalis tuberosa*), KAYA Y UMA KAYA "**


**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Presentada por:

**MARITZA REGINA YANA CALSIN**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez**  
**PRESIDENTE DE JURADO**



---

**Dra. Silvana Lisset Aguilar Tuesta**  
**JURADO (Secretario)**



---


**2° MIEMBRO**

**M. Sc. José Manuel Prieto**  
**JURADO (Vocal)**




---

**3° MIEMBRO**



---

**M. Sc. Lenin Quille Quille**  
**ASESOR(A) DE TESIS**



---

**Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe**  
**CO-ASESOR DE TESIS**

# Maritza Regina Yana Calsin

## " EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y TECNOFUNCIONALES EN ALMIDONES DE OCA (*Oxalis tu*

 Universidad Nacional de Juliaca



### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:472454442

150 Páginas

Fecha de entrega

7 jul 2025, 9:51 p.m. GMT-5

34.955 Palabras

Fecha de descarga

7 jul 2025, 9:55 p.m. GMT-5

191.100 Caracteres

Nombre de archivo

MRYC-BT-2025 (2).pdf

Tamaño de archivo

4.4 MB




## 11% 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 10 palabras)

### Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

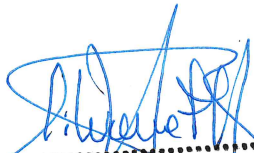
### Marcas de integridad

#### 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 JULIACA  
Facultad de Ingeniería de Procesos Industriales  
Unidad de Investigación

## DEDICATORIA

A Dios, por los grandes regalos que me dio a lo largo de mi vida, por brindarme salud, protegerme, guiarme por el buen camino, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad, por haber permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, Benjamin y Matilde con todo mi amor, por darme la vida y creer en mí, por sus sabios consejos de superación, por su comprensión, por su esfuerzo, ya que son y serán mi motivación para seguir cumpliendo mis metas, gracias por permitirme continuar con mis estudios.

A mis hermanos; Fredy, Rene y Percy, con el aprecio y cariño de siempre, ya que fueron parte de mi proceso de formación como profesional.

A mi abuelita Margarita que desde el cielo nos cuida y guía. Agradecerte desde lo más profundo de mi corazón por ser mi mayor motivación, tu espíritu y amor me acompañen siempre en cada desafío y logro, te extraño.

A mi madrina Janeth, por incentivar me a ser mejor cada día; así mismo a mis amigas Gaby, Rocio y Leydi.

## **AGRADECIMIENTO**

**Agradecer a la Universidad Nacional de Juliaca y a la escuela profesional de Ingeniería en Industria alimentaria** por haberme dado la oportunidad de culminar mi formación profesional.

**A mis asesores, M.Sc. Lenin Quille Quille** por su tiempo, orientación, paciencia, conocimiento, quien ha sido fundamental en el proceso de ejecución y culminación de este trabajo de investigación. **Dr. Noé Benjamin Pampa Quispe**, por sus sugerencias. Para ustedes mi mayor agradecimiento.

**A los miembros del jurado, D. Sc. Elizabeth Huanatico Suarez, Dra. Silvana Lisset Aguilar Tuesta y M. Sc. Jose Manuel Prieto**, por sus recomendaciones para que este proyecto se ejecute y redacte de la mejor manera.

**Al Ing. Edwin Chila, Ing Rolando y Ing. Elizabeth encargados de laboratorio**, quienes me facilitaron los equipos y materiales que hay en los laboratorios para realizar la parte experimental de mi tesis.

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1.1. Pregunta general .....	2
1.1.2. Preguntas específicas .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.2.1. Objetivo general .....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	3

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES .....	5
2.2. LA OCA .....	9
2.2.1. Generalidades de la oca .....	9
2.2.2. Clasificación taxonómica .....	10
2.2.3. Variedades de oca .....	10
2.2.4. Conservación de la oca .....	11

2.3.	LA KAYA .....	13
2.3.1.	Generalidades de la kaya .....	13
2.3.2.	Proceso de elaboración .....	14
2.4.	LA UMA KAYA .....	15
2.4.1.	Generalidades de la uma kaya .....	15
2.4.2.	Proceso de elaboración .....	16
2.5.	ALMIDÓN .....	18
2.5.1.	Generalidades del almidón .....	18
2.5.2.	Composición del almidón .....	18
2.5.3.	Usos e importancia del almidón .....	18
2.5.4.	Efecto de la congelación-descongelación en el almidón .....	19
2.6.	EXTRACCIÓN Y RENDIMIENTO DE ALMIDONES .....	20
2.7.	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN .....	21
2.7.1.	Contenido de amilosa y amilopectina .....	21
2.7.2.	Contenido de ácido oxálico .....	25
2.7.3.	Color e índice de blancura (WI) .....	26
2.8.	PROPIEDADES TECNOLÓGICAS .....	27
2.8.1.	PROPIEDADES REOLÓGICAS .....	28
A.	Comportamiento de pastas en frío y caliente (curva de gelatinización) .....	28
B.	Viscoelasticidad .....	32
2.8.2.	PROPIEDADES TÉRMICAS .....	33

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
3.1.1.	Hipótesis general .....	36
3.1.2.	Hipótesis específicas .....	36
3.2.	ÁMBITO DE ESTUDIO .....	36
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	37
3.4.	METODOLOGÍA PRELIMINAR .....	37
3.4.1.	Obtención de la kaya .....	38

3.4.2.	Obtención de la uma kaya .....	40
3.4.3.	Descripción del diagrama de operaciones para la extracción del almidón. ....	42
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	43
3.6.	METODOLOGÍA POR OBJETIVOS .....	44
3.6.1.	Metodología para el objetivo N° 1 .....	44
3.6.2.	Metodología para el objetivo N° 2 .....	47
3.6.3.	Metodología para el objetivo N° 3 .....	51

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1.	COMPARAR EL RENDIMIENTO DE LOS PORCENTAJES DE ALMIDONES EXTRAÍDOS A PARTIR DE OCA, KAYA Y UMA KAYA .....	55
4.2.	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA OCA EN KAYA Y UMA KAYA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS (CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA, CONTENIDO DE ÁCIDO OXÁLICO, ÍNDICE DE BLANCURA) DE LOS ALMIDONES EXTRAÍDOS. ....	59
4.2.1.	Determinación del contenido de amilosa y amilopectina. ....	59
4.2.2.	Determinación del contenido de ácido oxálico .....	62
4.2.3.	Determinación del índice de blancura (WI) .....	64
4.3.	COMPARAR LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS (COMPORTAMIENTO DE PASTA, VISCOELASTICIDAD) Y TÉRMICAS DE LOS ALMIDONES EXTRAÍDOS A PARTIR DE OCA, KAYA Y UMA KAYA. ....	67
4.3.1.	Comportamiento de pasta .....	67
4.3.2.	Viscoelasticidad .....	73
4.3.3.	Propiedades térmicas .....	74

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	CONCLUSIONES .....	76
5.2.	RECOMENDACIONES .....	77
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	78
	ANEXOS .....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Variedades de oca en la región Puno.</i> .....	11
Tabla 2: <i>Productos obtenidos a partir de tubérculos frescos deshidratados.</i> .....	12
Tabla 3: <i>Métodos de conservación de la oca.</i> .....	12
Tabla 4: <i>Elaboración de la kaya.</i> .....	14
Tabla 5: <i>Composición química proximal en oca y kaya</i> .....	14
Tabla 6: <i>Contenido de capacidad antioxidante y ácido oxálico en oca y kcaya.</i> .....	15
Tabla 7: <i>Elaboración de la uma kaya.</i> .....	16
Tabla 8: <i>Composición química proximal en oca y uma kaya.</i> .....	16
Tabla 9: <i>Métodos de extracción de almidones.</i> .....	20
Tabla 10: <i>Rendimiento de almidones de diversas fuentes.</i> .....	21
Tabla 11: <i>Contenido de amilasa y amilopectina en almidones de diversas fuentes.</i> .....	24
Tabla 12: <i>Índice de blancura en almidones.</i> .....	27
Tabla 13: <i>Propiedades de formación de pastas (curvas de gelatinización) en almidones.</i> .....	31
Tabla 14: <i>Propiedades térmicas de almidones de diferente fuente.</i> .....	35
Tabla 15: <i>Matriz de diseño completamente al azar (DCA).</i> .....	45
Tabla 16: <i>Matriz de diseño completamente al azar (DCA).</i> .....	48
Tabla 17: <i>Matriz de diseño completamente al azar (DCA).</i> .....	52
Tabla 18: <i>Porcentaje de rendimiento de almidones obtenidos de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	55
Tabla 19: <i>Contenido de amilosa y amilopectina en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	59
Tabla 20: <i>Contenido de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	62
Tabla 21: <i>Resultados de la medición del color (<math>L^*</math>, <math>a^*</math> y <math>b^*</math>) y el índice de blancura (WI).</i> .....	64
Tabla 22: <i>Resultados de croma/saturación <math>C^*</math> y matiz/tonalidad <math>H^*</math>.</i> .....	66
Tabla 23: <i>Propiedades de curvas de pastas de los almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	68
Tabla 24: <i>Propiedades térmicas de almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	74
Tabla 25: <i>Análisis de varianza para la comparación del rendimiento de almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	102
Tabla 26: <i>Prueba Tukey para el rendimiento de almidones Oca, Kaya y Uma Kaya.</i> .....	103

Tabla 27: <i>Análisis de varianza para el contenido de amilosa en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	104
Tabla 28: <i>Prueba Tukey para el contenido de amilosa en almidones oca, kaya y uma kaya.</i>	104
Tabla 29: <i>Análisis de varianza para el contenido de amilopectina en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	105
Tabla 30: <i>Prueba Tukey para el contenido de amilopectina en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	105
Tabla 31: <i>Análisis de varianza para el contenido de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	106
Tabla 32: <i>Prueba Tukey para el contenido de ácido oxálico en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	107
Tabla 33: <i>Análisis de varianza para el índice de blancura en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	108
Tabla 34: <i>Prueba Tukey para el índice de blancura en almidones oca, kaya y uma Kaya.</i> ...	108
Tabla 35: <i>Análisis de varianza para temperatura de gelatinización (°C) en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	109
Tabla 36: <i>Prueba Tukey para temperatura de gelatinización (°C) en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	109
Tabla 37: <i>Análisis de varianza para “Viscosidad máxima (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	110
Tabla 38: <i>Prueba Tukey para “Viscosidad máxima (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	110
Tabla 39: <i>Análisis de varianza para “Viscosidad a 95°C (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	111
Tabla 40: <i>Prueba Tukey para “Viscosidad a 95°C (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	111
Tabla 41: <i>Análisis de varianza “Viscosidad a 95°C, 5 min (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	112
Tabla 42: <i>Prueba Tukey para “Viscosidad a 95°C, 5 min (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	112

Tabla 43: <i>Análisis de varianza para “Viscosidad a 45°C (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	113
Tabla 44: <i>Prueba Tukey para “Viscosidad a 45°C, (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	113
Tabla 45: <i>Análisis de varianza para “Viscosidad final (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	114
Tabla 46: <i>Prueba Tukey para “Viscosidad final (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.</i>	114
Tabla 47: <i>Análisis de varianza para “Breakdown (descomposición) (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	115
Tabla 48: <i>Prueba Tukey para “Breakdown (descomposición) (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	115
Tabla 49: <i>Análisis de varianza para “Setback (retrogradación) (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.</i> .....	116
Tabla 50: <i>Prueba Tukey para “Setback (retrogradación) (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.</i> .....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Variedades de oca: a. Pili runtu, b. K'ellu Qayara, c. Yana oqa.....	11
<i>Figura 2:</i> Estructura de la amilosa. ....	22
<i>Figura 3:</i> Estructura de la amilopectina .....	23
<i>Figura 4:</i> Espacio del color CIELAB.....	26
<i>Figura 5:</i> Curvas de empaste.....	29
<i>Figura 6:</i> Esquema del proceso de gelatinización y retrogradación de los gránulos de almidón.....	30
<i>Figura 7.</i> Esquema de estudio de DSC .....	34
<i>Figura 8:</i> Diagrama de flujo de procesos de elaboración de la kaya .....	38
<i>Figura 9:</i> Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la uma kaya .....	40
<i>Figura 11:</i> Diseño experimental para la evaluación de las características físicoquímicas y tecnofuncionales en almidones de oca, kaya y uma kaya.....	43
<i>Figura 12:</i> Diseño experimental para el objetivo 1.....	44
<i>Figura 13:</i> Diseño experimental para el objetivo 2.....	47
<i>Figura 14:</i> Diseño experimental para el objetivo 3.....	51
<i>Figura 15:</i> Comparación de medias en el rendimientos de almidón (%)......	57
<i>Figura 16:</i> Muestras: (A) oca, (B) kaya y (C) uma kaya. ....	58
<i>Figura 18:</i> Comparación de las medias del contenido de amilosa (%).....	61
<i>Figura 19:</i> Comparación de las medias del contenido de amilopectina (%).....	61
<i>Figura 20:</i> Comparación de las medias para contenido de ácido oxálico (%).....	63
<i>Figura 21:</i> Comparación de las medias para el índice de blancura.....	65
<i>Figura 22:</i> : Curvas de formación de pastas de almidones de oca, kaya y uma kaya. ....	69
<i>Figura 23:</i> Barridos de frecuencia para almidones de oca, kaya y uma kaya. ....	73
<i>Figura 24:</i> Termograma de almidones de oca, kaya y uma kaya .....	75
<i>Figura 26:</i> Gráfica de probabilidad de residuos normal .....	117
<i>Figura 27:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	118
<i>Figura 28:</i> Gráfica de probabilidad de residuos normal.....	118
<i>Figura 29:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	119
<i>Figura 30:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	119
<i>Figura 31:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	120

<i>Figura 32:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	120
<i>Figura 33:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	121
<i>Figura 34:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	121
<i>Figura 35:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	122
<i>Figura 36:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	122
<i>Figura 37:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	123
<i>Figura 38:</i> Grafica de probabilidad de residuos normal.....	123

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Panel fotografías de la investigación. ....	92
Anexo 2: Cálculos realizados para la determinación del rendimiento. ....	94
Anexo 3: Balance de materia del rendimiento del almidones. ....	95
Anexo 4: Análisis estadístico para el rendimiento de los porcentajes de almidones extraídos. ....	102
Anexo 5: Análisis estadístico para el contenido de amilosa y amilopectina de los almidones. ....	103
Anexo 6: Análisis estadístico para el contenido de ácido oxálico de los almidones. ....	106
Anexo 7: Análisis estadístico para el índice de blancura de los almidones. ....	107
Anexo 8: Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey para propiedades reológicas: comportamiento de pastas en almidones de oca, kaya y uma kaya. ....	108
Anexo 9: Supuestos del diseño DCA ....	117
Anexo 10: Resultados obtenidos del análisis del contenido de amilosa y amilopectina de las muestras de almidón. ....	124
Anexo 11: Resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades viscoelásticas. ....	125
Anexo 12: Resultados obtenidos de la evaluación de propiedades térmicas. ....	128

## RESUMEN

La finalidad de este proyecto de investigación fue evaluar las características fisicoquímicas y tecnofuncionales en almidones de oca (*Oxalis tuberosa*), kaya y una kaya así como el efecto de la tecnología tradicional sobre estas propiedades. Primeramente, se determinó el rendimiento, luego se evaluaron las características fisicoquímicas y tecnofuncionales. La evaluación de las características fisicoquímicas se realizó mediante los análisis de contenido de amilosa y amilopectina, ácido oxálico e índice de blancura. Las propiedades tecnofuncionales incluyo propiedades reológicas, las cuales se determinaron con un reómetro mediante análisis de comportamiento de pastas y viscoelasticidad, por último, se evaluaron las propiedades térmicas. Los almidones de oca, kaya y una kaya presentaron rendimientos de 4.15%, 14.16% y 8.62% respectivamente. El contenido de amilosa oscilo entre 24.65% a 26.45%. El contenido de ácido oxálico presento valores mínimos de 0.00098% a 0.00183 %. El índice de blancura varió en rango de 85.30 a 91.26. En el comportamiento de pastas, el almidón de oca tuvo valores mayores de viscosidad, lo contrario se observó para los almidones de kaya y una kaya, asimismo, las tres muestras de almidones se caracterizaron por ser geles débiles, con predominio del comportamiento elástico ( $G'$ ) sobre el viscoso ( $G''$ ). Finalmente, las propiedades térmicas del almidón de oca presentaron temperaturas y entalpia de gelatinización menores a los almidones de kaya y una kaya. En conclusión, existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las muestras de almidones y la transformación de la oca en kaya y una kaya tuvo efecto significativo sobre las mismas. Los resultados permiten determinar posibles usos potenciales en la industria alimentaria. El almidón de oca podría emplearse en productos que requieren bajas temperaturas de gelatinización y alta viscosidad (alimentos líquidos espesos) y para los almidones de kaya y una kaya podrían emplearse en alimentos de baja viscosidad.

**Palabras Claves:** Almidón, oca, kaya, una kaya, propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales.

## ABSTRACT

The purpose of this research project was to evaluate the physicochemical and technofunctional characteristics of goose (*Oxalis tuberosa*), kaya, and uma kaya starches, as well as the effect of traditional processing technology on these properties. First, yield will be determined, then physicochemical and technofunctional characteristics will be evaluated. Physicochemical characteristics were assessed through amylose and amylopectin content, oxalic acid, and whiteness index analyses. Technofunctional properties included rheological properties, which were determined using a rheometer through paste behavior analysis and viscoelasticity. Finally, thermal properties were evaluated. Goose, kaya, and uma kaya starches showed yields of 4.15%, 14.16%, and 8.62%, respectively. Amylose contents ranged from 24.65% to 26.45%. The oxalic acid content presented minimum values of 0.00098% to 0.00183%. The white index ranged from 85.30 to 91.26. In the behavior of the pastes, goose starch had higher viscosity values, the opposite was observed for kaya and uma kaya starches. Likewise, the three starch samples were characterized by being weak gels, with a predominance of elastic behavior ( $G'$ ) over viscous behavior ( $G''$ ). Finally, the thermal properties of goose starch presented lower gelatinization temperatures and enthalpies than kaya and uma kaya starches. In conclusion, there were significant differences ( $p < 0.05$ ) in the starch samples and the transformation of oca into kaya and uma kaya had a significant effect on them. The results allow to determine possible potential uses in the food industry. Goose starch could be used in products requiring low gelatinization temperatures and high viscosity (thick liquid foods) and kaya and uma kaya starches could be used in low viscosity foods.

**Foods.Keywords:** Starch, Goose, Kaya, Uma Kaya, Physicochemical and Technofunctional Properties.

## INTRODUCCIÓN

El sector agrícola es el más importante del Perú, concretamente en el departamento de Puno, ya que representa alrededor del 50% de la población económicamente activa. A nivel nacional, la zona es la principal productora de papa, quinua, oca y cañihua (SINEACE, 2020). Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2023) el departamento de Puno es el principal productor de oca del país, aporta cerca del 30% de la producción nacional total. En 2021-2022, se produjeron 30,662 toneladas de oca, según la producción de cultivos transitorios de la región (DEIA y DRA, 2023). La oca es ampliamente utilizado en platos locales debido a su componente principal, el almidón, que promueve buenas propiedades de textura y sabor; sin embargo, en otros lugares hay poca demanda de este tubérculo debido a su baja calidad, los tubérculos pequeños no son aceptados por los consumidores, por lo que acaban utilizándose como alimento para animales, además de que tienen un tiempo de almacenamiento corto (<3 meses) ya que surgen brotaciones que pueden cambiar los componentes del tubérculo (Velásquez-Barreto et al., 2021).

Gracias a los métodos tradicionales empleados por las comunidades llegaron a conservar la oca en productos denominados kaya y uma kaya que se obtienen de manera tradicional y artesanal mediante congelado-descongelado del tubérculo de la oca (Nina, 2018). El valor agregado de estos productos sería mayor, manteniendo características únicas del tubérculo, como el sabor, el color y lo más importante, los nutrientes, compuestos funcionales y además que destaca por su prolongada conservación (Chuquilin et al., 2020). La oca es una alternativa para la obtención de almidones con propiedades fisicoquímicas y funcionales particulares (Velásquez-Barreto et al., 2021)

El almidón generalmente es utilizado en aplicaciones industriales como espesamiento, estabilizante coloidal, agente gelificante, agente de relleno y agente de retención de agua. Asimismo, su uso se prolonga a las industrias alimentarias y farmacéuticas (Choque-Quispe et al., 2024; Velásquez-Barreto y Velezmoro, 2018).

Tratamientos como el congelado-descongelado probablemente lleguen a modificar los almidones obtenidos a partir de kaya y uma kaya, ya que según Abedi et al. (2022) señala que el método físico identificado para alterar la estructura del almidón es el congelado-descongelado.

La producción de almidón de diferentes fuentes depende del rendimiento que estos puedan presentar, la maniobrabilidad durante su extracción, concentración de amilosa y amilopectina, las características fisicoquímicas y propiedades reológicas; estos aspectos ya mencionados permitirán determinar aplicaciones en productos de industrias alimentarias y especialmente cuando estos almidones proceden de fuentes no convencionales. Las propiedades térmicas en el estudio almidones son referencias de calidad y servir de base para el procesamiento y aplicaciones de estos (Zhao et al., 2023), mientras que las propiedades tecnofuncionales son cruciales para determinar uso (Choque-Quispe et al., 2024; Velásquez-Barreto et al. 2021).

Estudios sobre la caracterización de almidones en el Perú, se limita a pocos cultivos como la papa, sin embargo, contamos con una gran variedad de tubérculos potencialmente ricos en almidón; la kaya y uma kaya podrían tomarse en cuenta como fuente de almidón, pero, tomarlos en cuenta requeriría conocer sobre las propiedades de estos almidones, información que es limitada dada la falta de estudios publicados acerca de la caracterización de almidones de kaya y uma kaya. Las pocas investigaciones sobre la kaya y uma kaya se basan en la caracterización fisicoquímica de harina de khaya (Bernabé y Cancho, 2017), evaluación de las características fisicoquímicas de cjava (Aguilar, 2019), la determinación de capacidad antioxidante en kcaya (Escarcena, 2020). También estudios sobre la evaluación de las isothermas de absorción de kaya (Rodrigo, 2023), entre otros.

Para conocer las cualidades y atributos que posee cada muestra de almidón, el objetivo principal de este estudio es evaluar las características fisicoquímicas y tecnofuncionales en almidones de oca, kaya y uma kaya. El estudio permitirá poseer información sobre propiedades particulares entre una muestra de almidón a otra, generando el desarrollo de nuevas investigaciones como la aplicación de estos almidones en diversas industrias (alimentaria, farmacéutica, entre otros). Del mismo modo, los resultados de la investigación servirán de base para futuros estudios, como aporte a nuevas investigaciones, ofrecer posibles usos en el sector alimentaria y contribuyendo a la producción de cultivos locales, preservando al mismo tiempo el modo de vida tradicional de las comunidades.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Según SINEACE (2020) el sector agropecuario es el más significativo para el departamento de Puno, ya que representa alrededor del 50% de la población económicamente activa. A nivel nacional, la zona es la principal productora de papa, quinua, oca y cañihua. Puno es el principal productor de oca del Perú según el MIDAGRI (2023). La oca es ampliamente utilizado en platos locales; sin embargo, en otros lugares hay poca demanda de este tubérculo debido a su baja calidad, los tubérculos pequeños no son aceptados por los consumidores, por lo que acaban utilizándose como alimento para animales (Velásquez-Barreto et al., 2021). El almidón constituye la mayor parte de los hidratos de carbono de los tubérculos (Palate, 2013).

Durante el almacenamiento, los tubérculos de oca presentan un tiempo de almacenamiento corto (<3 meses) debido a brotaciones que llegan a cambiar los componentes del tubérculo (Velásquez-Barreto et al., 2021). Conservar la oca empleando prácticas ancestrales (congelado-descongelado) permite obtener productos denominados como kaya y uma kaya (Nina, 2018). El valor agregado de estos derivados sería significativamente mayor, al ser productos deshidratados podrían mantener su vida útil durante más tiempo en comparación con otros productos procesados (Chuquilin et al., 2020). Como se a indicado anteriormente, el principal componente de la oca es el almidón y este permanecería tanto en la kaya como en la uma kkaya.

Los almidones tienen una aplicación amplia en el sector alimentario y farmacéutico, suele ser sustituto de espesantes y estabilizadores en emulsiones. Sus propiedades pueden estar condicionados a la variedad, ecotipo del tubérculo, tipo de suelo, condiciones climáticas, condiciones agrícolas y usos de agroquímicos (Choque-Quispe et al., 2024), los tratamientos como el congelado/descongelado probablemente lleguen a modificar los almidones obtenidos a

partir de kaya y uma kaya, ya que según Abedi et al. (2022) señala que los procesos de congelado-descongelado es uno de los métodos físico para modificar los almidones, la microestructura y las propiedades fisicoquímicas pueden cambiar ampliamente.

La proporción de amilosa y amilopectina, características fisicoquímicas, propiedades reológicas, son determinantes en el estudio de los almidones, por que permite diferenciar diversas aplicaciones en las industrias alimentarias y especialmente cuando estos almidones son de fuentes no convencionales, (Velásquez-Barreto et al., 2021). El comportamiento de la pasta de almidón dependerá de la temperatura a la que se expone, puede evaluarse mediante el análisis reológico y propiedades tecnofuncionales como el color, el poder de hinchamiento, la capacidad de retención de agua, entre otras, que permitan diferenciar la calidad física del almidón (Vithu et al., 2020; Tester, et al., 2004). Las dos propiedades térmicas del almidón más estudiadas son gelatinización y la retrogradación, que sirven como marcadores de calidad del almidón y puede proporcionar una base para el procesamiento y aplicaciones (Zhao et al., 2023).

Existe poca información sobre las cualidades de los almidones de oca, kaya y uma kaya. Además se desconoce como afectaría la transformación la oca en kaya y uma kaya sobre los almidones obtenidos a partir de estas muestras. Las características fisicoquímicas, propiedades funcionales, reológicas y térmicas que se deben someterse a los almidones, permiten determinar la calidad del almidón después de su transformación.

#### **1.1.1. Pregunta general**

- ¿Qué características fisicoquímicas y tecnofuncionales presentaran los almidones de oca, kaya y uma kaya?

#### **1.1.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuál será el rendimiento de los almidones extraídos a partir de la oca, kaya y uma kaya?
- ¿Cuál será el efecto de la transformación de la oca en kaya y uma kaya sobre las características fisicoquímicas (contenido de amilosa y amilopectina, contenido de ácido oxálico, índice de blancura) de los almidones extraídos?
- ¿Cuál será el efecto de la transformación de la oca en kaya y uma kaya sobre las propiedades reológicas (comportamiento de pasta, viscoelasticidad) y térmicas de los almidones oca, kaya y uma kaya?

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo general

- Evaluar las características fisicoquímicas y tecnofuncionales en almidones de oca (*oxalis tuberosa*), kaya y uma kaya.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Comparar el rendimiento de los porcentajes de almidones extraídos a partir de oca, kaya y uma kaya.
- Evaluar el efecto de la transformación de la oca en kaya y uma kaya sobre las características fisicoquímicas (contenido de amilosa y amilopectina, contenido de ácido oxálico, índice de blancura) de los almidones extraídos.
- Comparar las propiedades reológicas (comportamiento de pasta, viscoelasticidad) y térmicas de los almidones extraídos a partir de oca, kaya y uma kaya.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

En la producción de cultivos transitorios de la región Puno 2021-2022, la oca tuvo una producción de 30,662 toneladas (DEIA y DRA, 2023), la región es el primer productor de oca del país, aportando aproximadamente el 30% de la producción nacional (MIDAGRI, 2023), producción que considera a la oca en diversos estudios, permitiendo ser fuente de materia prima. Según Apaza (2018) una de las características de este tubérculo es que crece en latitudes más altas, lo cual favorece su alta producción en nuestro departamento. Su componente principal, el almidón, promueve propiedades de textura en alimentos (Velásquez-Barreto et al., 2021).

La transformación de la oca en kaya y la uma kaya mediante el uso de “técnicas ancestrales”, como una especie de proceso de liofilizado en épocas de “helada” (junio-julio) resultaría en un mayor valor agregado para estos derivados. Esto se debería a que se preservarían mejor las características propias del tubérculo como son su sabor, color, sus nutrientes y compuestos funcionales (Chuquilin et al., 2020).

El almidón es un polisacárido de la mayoría de vegetales, es una fuente barata y muy popular en la preparación de alimentos porque mejora las cualidades organolépticas, texturales de muchos alimentos y usos industriales como espesamiento, estabilizantes coloidal, agente

gelificante, agente de relleno y agente de retención de agua (Velásquez-Barreto y Velezmoro, 2018). Velásquez-Barreto et al. (2021) afirma que la oca es una alternativa para la extracción de almidones con ciertas características fisicoquímicas y funcionales específicas.

El almidón es uno de los derivados que se podría obtener de la kaya y uma kaya pero la producción del almidón de diferentes fuentes depende del rendimiento que estos puedan presentar, la maniobrabilidad durante su extracción, el comportamiento fisicoquímico y tecnofuncional que depende de la fuente. La aplicación de almidones en la industria viene determinada por las propiedades tecnofuncionales (Choque-Quispe et al., 2024).

Por otro lado, se cuenta con escasos estudios sobre la caracterización de almidones de oca, kaya y uma kaya, razón por la cual la presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar las características fisicoquímicas y tecnofuncionales de los almidones de oca, kaya y uma kaya. Del mismo modo, la información obtenida del estudio servirá como aporte a nuevas investigaciones, como también se podrá identificar posibles usos en el sector alimentario, lo que ayudaría a la promoción de la producción de cultivos locales y la conservación de prácticas ancestrales por parte de las comunidades.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Internacionales

Velásquez et al. (2017) en su estudio sobre “Determinación de las características físico-químicas del almidón de patata” las propiedades funcionales del almidón de papa (*Solanum phureja* Juz. & Bukasov) se realizaron mediante microscopia electrónica de barrido (SEM), calorimetría diferencial de barrido (DSC) y análisis de viscoamilógrafo (RVA). Según el estudio RVA obtuvo 63.95 °C en temperatura de gelatinización, reportaron 1087 cP de viscosidad máxima con una cocción de 7 min. La transición de gelatinización del almidón inicio a 50.97 °C y termino a 71.25 °C, con una entalpia de 2.11 Jg<sup>-1</sup>, estos últimos datos mencionados son con relación al análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Los análisis realizados al almidón de papa nativa reveló su capacidad para conservar su estructura a altas temperaturas, podría ser un sustituto de los espesantes en el proceso de cocción.

Zhu y Cui (2020), estudiaron los almidones de los tubérculos de dos variedades comerciales de oca para determinar diversas propiedades físicoquímicas. También trabajaron con almidones de maíz y papa, para realizar una comparación con las muestras en estudio. Las muestras de almidones de oca en contraste con los almidones de maíz y papa; el almidón de oca presenta bajas temperaturas de gelatinización y el comportamiento de pegado, flujo y gelificación se situaban entre los almidones de papa y maíz. La comparación de las pastas de almidones, la oca presentó una pasta más elástica que el almidón de papa y más viscosa que el almidón de maíz. La menor concentración de amilosa, cantidades intermedias de grupos fosfato (~400 ppm) y tamaño de gránulo (34.6 µm) de los almidones de oca, pueden ser la causa de los cambios en las

características. Las diferentes propiedades fisicoquímicas de los almidones de oca, papa y maíz podrían estar sujetas a cadenas internas de amilopectina, como la cantidad de cadenas B de huella digital y la longitud de las cadenas B.

Salgado-Ordosgoitia et al. (2019) en “Análisis de las curvas de gelatinización de almidones nativos de tres especies de ñame: criollo (*Dioscorea*), hawthorn (*Dioscorea rotundata*) and diamond 22”, se analizaron las curvas de gelatinización de almidones de ñame Criollo, Espino y Diamante 22, mediante un reómetro y un analizador rápido de almidón. Los almidones de Criollo y Diamante 22 tuvieron una temperatura de gelatinización mayor, el almidón Espino obtuvo la mayor viscosidad, los almidones con mayor estabilidad fueron las especies Criollo y Diamante 22 con menor tendencia a la retro-degradación. Estos almidones podrían emplearse en alimentos que necesiten una consistencia estable en su gel durante operaciones de cocción y también que mantengan su estabilidad al ser aplicados en productos que requieran enfriarse durante su preparación.

### **2.1.2. Nacionales**

Velásquez-Barreto y Velezmoro (2018) realizaron una investigación sobre el tema “Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos”. Se trabajó con; mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* M.) y olluco (*Ullucus tuberosum* C.) procedentes del distrito de Paucará (Huancavelica). Se realizaron mediciones para determinar contenido de amilosa aparente (AA), así como las propiedades reológicas y viscoelásticas. En los resultados se obtuvo entre 21.13% a 26.13% concentración de AA, las muestras de almidones de mashua, oca y olluco tuvieron un comportamiento tixotrópico y pseudoplástico en sus pastas. Se observó que las pasta de la muestras de almidones presentaron un comportamiento más elástico que viscoso ( $G' > G''$ ).

Choque-Quispe et al. (2024) en su estudio titulado “Propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales del almidón de papa nativa alto andina” analizaron comportamiento reológico, térmico y tecnofuncional. Los almidones reportaron temperaturas de gelatinización de 61.8 y 66.4 °C y fusión de 132.2 y 133.5 °C, se reportó 43.56 y 42.09 % de amilosa aparente para HA y AR respectivamente. El color presentó valores de  $L^* > 95,17$  y un índice de blancura superior a 94,80. La papa nativa altoandina son fuentes potenciales para la extracción de almidón, con buenas propiedades tecnofuncionales.

En la investigación de Velásquez-Barreto et al. (2021) sobre “Relaciones entre las características moleculares, fisicoquímicas y de digestibilidad de los almidones de tubérculos andinos” tuvo como objetivo determinar las características fisicoquímicas, térmicas, pastosas, digestibilidad y moleculares de los almidones nativos y la relación entre estas propiedades, se trabajó con mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. y P.), oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) y olluco (*Ullucus tuberosus* C.). El almidón de mashua tuvo menor tamaño que los almidones de oca y olluco. Además, se observó que los gránulos de almidón de mashua tenían forma redonda, mientras que los almidones de oca y olluco presentaron forma elipsoidal. Los almidones de mashua y olluco reportaron temperaturas de gelatinización y entalpía menores que el almidón de oca. El almidón resistente de muestras gelatinizadas y no gelatinizadas exhibió una correlación fuerte y positiva con las propiedades moleculares de la amilosa y la amilopectina, la entalpía de gelatinización y el orden molecular.

Cuba (2021) trabajó sobre “Caracterizar fisicoquímica y funcionalmente almidones de papa y tunta de tres variedades nativas amargas (Ocucuri negra, Cuchi jipilla y Pala) procedentes de Ilave-Puno” mediante análisis proximal, color, contenido de fósforo (CF) y de amilosa (CAM). El comportamiento reológico de los geles fue determinado con un reómetro, como las propiedades viscoelásticas, las propiedades de formación de pastas y propiedades térmicas. Dentro del análisis fisicoquímicos, los almidones destacan los bajos contenidos de proteína (0,25-0,40%), fibra (0-0,1%) y lípidos (0-0,16%), y altos para carbohidratos (>99%). El CAM se encontró en un rango de 23,13-31,02%. Los AT tuvieron valores mayores para la PV, TP, Pt y PT, lo contrario se observó para el resto de propiedades. Por otro lado, los seis almidones se caracterizaron por ser geles débiles, con predominio de un comportamiento más elástico que viscoso ( $G' > G''$ ). También, las propiedades térmicas de Tf y  $\Delta H$  fueron mayores para los AP, lo que concordó con el mayor orden molecular de corto alcance. En conclusión, existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las propiedades funcionales de los almidones que se estudiaron y el proceso de elaboración de tunta tiene efectos significativos sobre las mismas.

En el artículo de revisión de Chuquilin et al. (2020) sobre las “Propiedades funcionales de productos tradicionales congelados y secados al sol de oca (*Oxalis Tuberosa* Molina) y olluco (*Ullucus Tuberosus* Caldas)” resaltan la importancia de dos tubérculos andinos orgánicos, ya que poseen componentes benéficos para la salud y estos tendrían un valor agregado al

deshidratarlos llamandolos comúnmente “chuño” aplicando tecnicas ancestrales, para el caso de la oca y olluco se les conoce como caya y chullce. Ambos tubérculos procesados conservan y potencian sus compuestos, el congelado y secado al sol altera la composicion química, en especial el almidón y azúcares. El impacto del proceso de congeldo y secado al sol puede llegar a ser efectiva y económica para preservar alimentos, los almidones resistentes que se forma durante este proceso, son una fuente de energía para la microbiota intestinal que promueve el bienestar general. Los resultados se resumieron en tablas para resaltar cualidades de ambos tubérculos en estado freco y despues de deshidratarlos. La estandarización del proceso de congelado y seado al sol podria facilitar su exportación, convirtiendolos en productos agroindustriales con beneficios para la salud y nutrición en otros mercados.

Chilon y Mamani (2019) trabajó la Caracterización de las propiedades tecnofuncionales en almidones resistente de tunta y chuño” obtuvieron resultados de; rendimiento de 69.61% en la tunta y 73.28% en el chuño. Se evaluaron propiedades fisico-quimicas como la concentración de amilosa y amilopectina, absorción y solubilidad de agua, poder de hinchamiento y colorimetría. El las propiedades térmicas se determinaron temperaturas de gelatinización y entalpia. Por ultimo las propiedades morfológicas se evaluaron con difracción de rayos X y MEB. El almidón de tunta tuvo mayor temperatura de gelatinización de 65.21 °C, valores menores fueron reportados para el almidón de chuño de 63.21 °C.

### **2.1.3. Regionales**

En relacion a la caracterizacion del almidón de oca Apaza (2018) trabajo con la oca (*Oxalis tuberosa*) de la variedad k'ellu kamusa, donde evaluó rendimientos, características morfológicas, reológicas y térmicas del almidón de oca. Los resultado indicaron que el almidón de oca tiene un rendimiento de 28.39%, en el analisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) se observó tres etapas de descomposición y una estabilidad que varia de 128.96 – 229.71 °C, se pudo apreciar que la muestra de almidón de oca mostró un pico alto a una temperatura de 55.50 °C con una entalpia de 11.04 ΔHg (J g-1). En cuanto a las propiedades de pasta (RVA) mediante el uso de un viscoamilógrafo el almidón de oca generó una viscosidad de 5680 cP a una temperatura de 94 °C, a partir de esto se deduce que la muestra de almidón de oca requiere una menor cantidad de energía para su gelatinización, generando una viscosidad alta en comparación a otros almidones.

Por otra parte Hanco (2021) evaluó las propiedades térmicas del almidón de seis variedades de papa nativa de la región de Puno, indicando resultados de 10.23 a 17.60 % en el rendimiento de almidones. El contenido de amilosa estuvo entre 23.9 a 30.5% para las seis variedades. Asimismo el análisis de calorimetría diferencial de barrido, la temperatura inicial estuvo entre 55.00 a 59.07 °C, la temperatura pico entre 58.20 a 62.51 °C, la temperatura final entre 65.81 a 69.50 °C y en cuanto a la entalpia de gelatinización reportó valores de 13.03 a 16.53 J/g. por otro lado en los viscoamilogramas se obtuvo una temperatura de empaste entre 59.50 a 62.12 °C, una viscosidad final de 97.67 a 139.00 RVU, una viscosidad pico de 125.00 a 178.67 RVU, estos resultados muestran diferencias entre los almidones las variedades de papa nativas.

Asimismo Castillo (2017) realizó la caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles obtenidos de tres variedades de papa nativa (*solanum spp.*). Los resultados reportan un promedio 35.7% en el contenido de amilosa de las tres variedades. En el análisis de las propiedades de empaste como; viscosidad pico, temperatura de empaste, retrogradación y estabilidad, se observó que para las tres muestras de almidón no hay diferencias considerables, sin embargo la variedad Huaycha Puneña muestra cualidades particulares que de ser empleada en la industria sería de gran utilidad. El almidón de la variedad de Huaycha Puneña los geles presentaron un comportamiento más elástico con una menor tendencia a la sinéresis, de manera general el estudio de los almidones de las tres variedades de papa nativa permitirán determinar posibles aplicaciones considerando sus características fisicoquímicas y reológicas.

## **2.2.LA OCA**

### **2.2.1. Generalidades de la oca**

El origen de la oca se encuentra ubicada entre las regiones de Puno y Cuzco, ya que tienen mayor producción y una gran diversidad en variedades en comparación con otras zonas altoandinas, considerada importante en el mundo por ser el segundo tubérculo más consumido después de la papa (Santivañez, 2019). Según el MIDAGRI (2023) la región de Puno es uno de los principales productores de oca, con un aporte de 30% en la producción nacional. Debido a que representa casi el cincuenta por ciento de la población económicamente activa, el sector agropecuario tiene mayor importancia para el departamento. No solo es el primer productor de papa, quinua, oca y cañihua, sino también ocupa el segundo lugar en la producción de cebada, el cuarto en productos cítricos y sexto en la producción de café (SINEACE, 2020).

La oca además de poseer una variación a nivel fenotipo y genotipo, tiene la capacidad de crecer hasta los 3000 m.s.n.m. Los tubérculos de oca por su color se dividen en grupos; el primer grupo varia del blanco al anaranjado, el otro grupo varia del color rosado al negro, estos pigmentos indican que el alimento es rico en compuestos bioactivos, asimismo contiene alrededor de 14.2 % de materia seca (Chuquilin, Martinez y Rodrigo, 2020). La oca contiene un promedio de 76.92% de humedad, 0.86% de proteínas, 21.34% de carbohidratos, 0.16% de grasas y 0.72% de cenizas, además posee cantidades relevantes de vitamina A (retinol) (Velásquez-Barreto y Velezmoro, 2018). Los carbohidratos que contiene la oca representan una cantidad significativa de su composición, dentro de este se encuentran almidones y azúcares (Palate, 2013). Su aplicación en platos locales es amplia, porque el almidón que contiene promueve propiedades de textura y sabor. Por otro lado, la demanda de la oca tiende a bajar en otros lugares, ya que tubérculos pequeños terminan como alimento para animales (Velásquez-Barreto et al., 2021).

La oca tuvo una producción de 30,662 toneladas, según la producción de cultivos transitorios de la región en los años 2021-2022, de acuerdo al reporte de la Dirección de Estadística Agraria e Informática de la Dirección Agraria de Puno (DEIA y DRA, 2023).

### **2.2.2. Clasificación taxonómica**

Según Chuquilin et al. 2020, a la oca (*Oxalis tuberosa*) también se le conoce con los nombres de; oqa, apilla, uncha, ibia y cuiba. La oca tendría la siguiente clasificación taxonómica según Amaguaña y Manjarrez (2013)

Reino: Especie

División: Plantae

Clase: Magnoliophyta

Orden: Mgnoliopsida

Familia: Geraniales

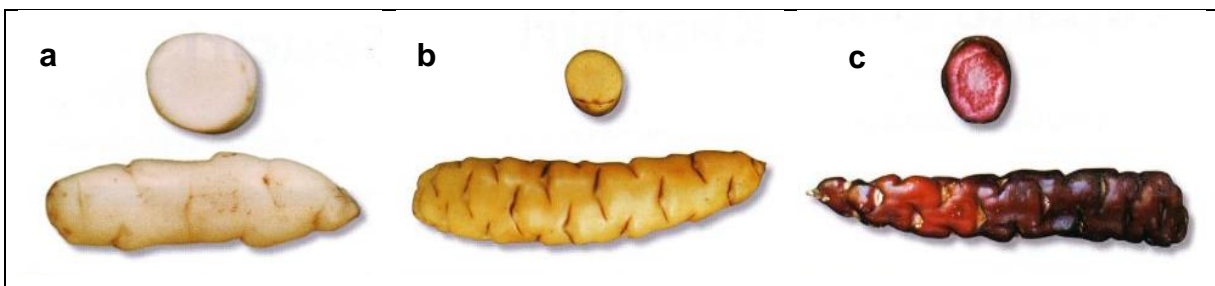
Género: Oxalidaceae

Nombre binomial: *Oxalis tuberos*

### **2.2.3. Variedades de oca**

Santivañez (2019) señala que el Perú se tendría un promedio de 82 variedades de oca de diferentes países, 50 de estas variedades son originarias de Perú, sin embargo, hay básicamente tres formas de reconocerlas: alba, flava y roseo violáceo (Cajamarca, 2010):

- Alba: se caracterizan por tener una coloración blanca en las ocas (a).
- Flava: son ocas de coloración anaranjadas, amarillas intensas y claras (b).
- Roseo violáceo: ocas pigmentadas por la presencia de antocianinas con coloraciones de rosa claro, violeta oscuro (c).



**Figura 1. Variedades de oca: a. Pili runtu, b. K'ellu Qayara, c. Yana oqa**

FUENTE: Merino et al. (2004).

**Tabla 1: Variedades de oca en la región Puno.**

Ocas dulce	Ocas Amargas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keny blanca</li> <li>• Keny roja</li> <li>• Amarilla (Kello)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Luki blanca</li> <li>• Luki rosada</li> </ul>

FUENTE: Tapia y Fries (2007).

La oca al tener un mayor porcentaje de humedad la hace propensa al deterioro, lo que conlleva a transformarla en productos denominados; caya, cavi, kaya, kahya, obtenidas a partir del congelado de las noches y el deshidratado al sol (Chuquilin et al., 2020).

#### 2.2.4. Conservación de la oca

Preservar los tubérculos de la oca implica transformarlas en derivados como; kaya, uma kaya y kawui (Nina y Murillo, 2018). Obtener estos productos comprende la aplicación de varios procesos, desde exponer los tubérculos a las heladas nocturnas hasta secarlas al sol durante el día para deshidratarlas (Tapia, 2000). La necesidad de conservar por más tiempo los tubérculos por parte de las comunidades implicó transformarlas en derivados como el chuño en el caso de la papa, caya o kaya en el caso de la oca y chullcce o lingli para el olluco (Chuquilin et al. 2020).

**Tabla 2: Productos obtenidos a partir de tubérculos frescos deshidratados.**

<b>Alimento</b>	<b>Productos</b>	
<b>Papa y papa amarga</b>	Sin lavar: chuño	Lavado: moraya o tunta
<b>Oca</b>	Sin lavar: khaya	Lavado: okhaya
<b>Olluco, papa lisa</b>	Lingli	
<b>Isaño, mashwa</b>	Thayacha	

FUENTE: Tapia (2000).

Para la elaboración la kaya, una kaya o k´awui se toman en cuenta el tamaño y el ecotipo de la oca (Nina, 2018).

**Tabla 3: Métodos de conservación de la oca.**

	<b>Medio de conversión</b>	<b>Tiempo de conversión</b>
<b>Oca soleada</b>		
	Después de la cosecha, se realiza la selección de la semilla, para ponerlas al sol.	Este proceso tarda de 1 a 2 semanas.
<b>K´awui</b>		
	En el mismo terreno las ocas son secadas al sol para deshidratarlas.	Esto tarda 1 a 2 meses, los días soleados permiten que la tierra se caliente y ayuden en el deshidratado del tubérculo.
<b>Kaya</b>		
	Las ocas son expuestas a las heladas nocturnas, seguido a ello se realiza el pisado para extraer el excedente de agua para su posterior secado.	Se aprovecha los meses de invierno (junio-julio).
<b>Uma Kaya</b>		
	Las ocas son llevadas al lago dejándolas sumergidas, posteriormente son secadas.	Se realiza por los meses de junio o julio, hay que tener bastante agua, ríos, lagunas pozos etc.

FUENTE: Nina (2018).

Los agricultores señalan que las ocas amarillas se consideran para la elaboración de la kaya y uma kaya, porque tiene mayor cantidad de azúcar y un tamaño aceptable. Por otro lado, se recomienda usar ocas dañadas, ya que no se necesitan ocas sanas para este proceso (Nina, 2018). En la elaboración de la kaya están presentes procesos como el congelado y secado, al adicionarle el lavado del tubérculo se tendría un producto denominado “uma kaya” (Caiza, 2010).

Es necesario exponer la oca a los rayos solares antes de su consumo, dado que reduciría el sabor amargo producto de los oxalatos presentes en el tubérculo, considerados como antinutrientes (Chuquilin et al., 2020). El soleado de la oca tiende a incrementar los sólidos solubles (azúcares libres) de igual manera el pH, pero paralelo a esto disminuye su acidez; es decir aumenta los azúcares libres y se reduce el ácido oxálico. Los ácidos orgánicos disminuirían drásticamente si el asoleado de la oca excede los 10 días (Castañeda, Castañeda y Peñarrieta, 2022).

El endulzamiento de papa es producto del almacenamiento a bajas temperaturas lo que provocaría la acumulación de azúcares como la glucosa y fructosa. En el caso del endulzamiento de la oca probablemente este estimulado por la radiación solar, en vista de que algunas investigaciones indican que la degradación del almidón aumentaría el dulzor de la oca (Castañeda et al., 2022).

## **2.3. LA KAYA**

### **2.3.1. Generalidades de la kaya**

El congelado, descongelado y secado al sol de la oca nos permitirá obtener el chuño de este tubérculo el cual se nombra “kaya” conservándolo por un tiempo más prolongado (Garcia, 2001). Las épocas de “heladas” que se dan principalmente en zonas altoandinas de la sierra los meses junio y julio, las cuales son aprovechadas por las comunidades para la elaboración del chuño considerándolas como “técnicas ancestrales”. Estas heladas se asemejan a un proceso de liofilización, método de conservación de un alimento conocida como secado por congelación. Adicional al hecho de que estos procesos permiten conservar los alimentos durante largos periodos de tiempo, también permitirían que atributos como sabor, color e incluso los compuestos nutricionales se mantenga, inclusive se menciona un valor agregado a estos compuestos (Chuquilin et al., 2020). La kaya contienen en promedio de 0.97 % de fibra y 346.39 kcal (Escarcena, 2020)..

### 2.3.2. Proceso de elaboración

Para la elaboración de la kaya, primeramente, la oca es expuesta a las heladas nocturnas con el fin de congelar el agua del alimento para un posterior deshidratado o secado al sol. Estos procedimientos permiten conservar las características particulares del tubérculo, entre estas características se encuentran los compuestos funcionales, así como también el sabor, color y nutrientes (Chuquilin et al., 2020). La kaya al ser un producto deshidratado permite un almacenamiento prolongado, se estima que podría durar hasta 10 años en lugares con poco movimiento de preferencia que estos sean oscuros. En la elaboración de la kaya, los agricultores maneja las siguientes etapas (Nina, 2018).

**Tabla 4: Elaboración de la kaya.**

Procedimiento	Método tradicional
<b>Cosecha</b>	En los meses de mayo o abril se realiza la cosecha.
<b>Helada</b>	Las ocas son sometidas a las heladas propias del invierno, para extraer el exceso de agua que puede tener.
<b>Pisado</b>	Para extraer el exceso de agua del alimento, los tubérculos son pisados, esto también permitirá el pelado del tubérculo.
<b>Secado</b>	Luego del pisado y pelado la oca se extienden sobre pajas para su secado.

FUENTE: Nina (2018).

Se necesitaría 5 kilos de oca fresca para obtener 1 kilo de khaya (Tapia y Fries, 2007).

#### a. Composición química de la oca en fresco y procesado

En la Tabla 5 se observa la comparación de los valores de la composición química proximal de los componentes de la oca y la kaya.

**Tabla 5: Composición química proximal en oca y kaya**

Composición	Oca	Kaya
Humedad	76.92	11
Proteínas	0.86	5.08
Grasas	0.16	1.55
Carbohidratos	21.34	78.03
Cenizas	0.72	4.34

FUENTE: (Velásquez-Barreto y Velezmoro, 2018; Escarcena, 2020).

Escarcena (2020) señala que la oca posee componentes bioactivos particularmente en antioxidantes, los cuales nos protegen frente a enfermedades, estos aspectos consideran a la oca con un alto valor nutricional. Los procesos de congelado y secado contribuyen a la variación del contenido del ácido oxálico como también a la capacidad antioxidante.

**Tabla 6: Contenido de capacidad antioxidante y ácido oxálico en oca y kcaya.**

Determinación	Oca fresca	Kcaya (secado controlado)	Kcaya (secado ambiente)
Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol trolox/g}$ )	9.91	3.99	4.55
Ácido oxálico (%)	0.17	0.051	0.0057

FUENTE: Escarcena (2020).

### **b. Norma técnica para la elaboración de kaya**

La elaboración de la kaya es practicada por las comunidades por lo que no se tiene especificaciones técnicas dirigidas principalmente para su elaboración. Por otro lado, la Norma Técnica Peruana 011.400:2007 sobre “Tubérculo Procesados. Papa deshidratada. Tunta requisitos y definiciones” señala que esta norma puede ser aplicada a los productos obtenidos con métodos adecuados que se identifiquen con el mismo nombre.

- **Chuño:** Producto obtenido a partir del tubérculo fresco sometido a sucesivos procesos de congelado y secado con exposición al sol, llegando a obtener como producto final, un tubérculo deshidratado sin cáscara de color paró oscuro.

## **2.4. LA UMA KAYA**

### **2.4.1. Generalidades de la uma kaya**

La uma kaya al igual que la kaya se obtiene a partir de la oca, pasando por procesos de congelado, deshidratado, remojado, lavado y secado, como producto final es un tubérculo deshidratado de color blanco claro (García, 2001). Se recomienda consumir la uma kaya los primeros años después de su elaboración, esto porque pasado cierto tiempo suelen adquirir un sabor más amargo, asimismo hay una disminución del almidón que repercute en la textura y son difíciles de cocinar (Nina, 2018).

Según Mamani (2018) la relación aproximada de transformación en la uma kaya es de 2/1.

## 2.4.2. Proceso de elaboración

**Tabla 7: Elaboración de la uma kaya.**

Procedimiento	Método tradicional
<b>Selección</b>	Se selecciona todos los tubérculos de oca y se exponen a las noches frías del invierno.
<b>Nailon o yutes</b>	Se prepara un pozo cercado con piedras, en la base se pone paja para evitar el contacto con el suelo arenoso. Las ocas son introducidas en sacos de yute para ser sumergidas en el pozo, se tapa para evitar la entrada de polvo, el contacto con aves o animales.
<b>Sumergido</b>	A las orillas del lago, en el pozo, los sacos de yute con oca permanecerán sumergidas en un aproximado de 3 a 4 días, se cubrirán con pajas.
<b>Secado</b>	Pasado el tiempo de sumergido en el pozo, se procede a secarlas, por un periodo de 4 a 6 días, seguido a ello se procede al pelado de la uma kaya con los pies o las manos mientras sigue fresco.

FUENTE: Nina (2018).

### a. Composición química proximal en fresco y procesado

En la Tabla 8 se observar la reducción del contenido de la humedad, pero caso contrario ocurrió en los otros parámetros llegando a incrementar estos componentes del 290% al 466.92%. Estos procesos no solo lo conservan, también dan un valor agregado a su composición químico proximal (Chuquilin et al., 2020).

**Tabla 8: Composición química proximal en oca y uma kaya.**

Parámetros	Oca		
	Fresco (%)	Deshidratada (%)	Variación (%)
Humedad	84.1	15.3	-81.81
Proteína	1	4.3	330.00
Ceniza	1	3.9	290.00
Carbohidratos	13.3	75.4	466.92
Energía (Kcal/100g)	61	325	432.79

FUENTE: Chuquilin et al. (2020).

## **b. Norma técnica para la elaboración de una kaya**

La elaboración de la una kaya es practicada por las comunidades por lo que no se tiene especificaciones técnicas dirigidas principalmente para su elaboración. Por otro lado, la Norma Técnica Peruana 011.400:2007 sobre “Tubérculo Procesados. Papa deshidratada. Tunta requisitos y definiciones” señala que esta norma puede ser aplicada a los productos obtenidos con métodos adecuados que se identifiquen con el mismo nombre.

- **Tunta:** De color blanco, con una superficie áspera, posee hendiduras propio de los ojos del tubérculo que proviene. Este alimento se obtuvo a partir de sucesivos procesos de congelamiento (protegidos del sol), sumergido en agua en movimiento (rio) y secados.
- **Tuntilla:** Como materia prima para su elaboración se emplearon tubérculos de tamaño pequeño, por ende, se obtiene tunta de pequeñas dimensiones.
- **Moraya:** De color blanco pardo, se emplea el mismo proceso para obtener la tunta sumergido en aguas semi-estancadas.
- **Chuño blanco:** En las zonas ajenas a la producción la tunta y la moraya se le generaliza con el termino de chuño blanco.

El sistema de congelación permite aplicar temperaturas por debajo de los 0°C para conservar alimentos, convirtiendo en hielo el agua libre o no ligada del alimento. El agua libre se encuentra al interior de la célula como en los espacios intercelulares. En una congelación lenta (pocos cristales pero crecen ampliamente) se forma grandes cristales de hielo ocasionando deformación y rupturas celulares siendo estos irreversibles, caso contrario ocurre en una congelación rápida (más cristales pero más pequeños) donde se forman cristales pequeño dentro del alimento (Umaña, 2013).

La congelación en los tubérculos de papa los cristales de hielo generados pueden provocar la ruptura y separación de las paredes celulares, provocando la destrucción de la estructura física del tejido, facilitando la migración del agua y haciendo posible el exprime de la humedad del tubérculo, así como algunos nutrientes (Zhang et al., 2022). La calidad del producto por congelado-descongelado puede verse influenciado por la cantidad de agua en el alimento que define la formación de hielo, velocidad de congelación, tiempo de congelación, el método de descongelación y los ciclos de congelación/descongelación (Umaña, 2013; Zhang et al. 2022).

## **2.5. ALMIDÓN**

### **2.5.1. Generalidades del almidón**

El almidón llegó a ser considerado como el polímero natural más importante que existe (Aristizábal y Sánchez, 2007) distribuido en las plantas, es el segundo polisacárido más abundante (Lucas-Aguirre, Velásquez-Herrera, y Quintero-Castaño, 2016). Está presente en alimentos como los cereales, legumbre, tubérculos y algunas frutas inmaduras, también se le considera principal reserva alimenticia para la dieta humana (Quizhpi, 2018).

### **2.5.2. Composición del almidón**

En la composición química del almidón de oca parte con una humedad de 7.32 %, proteínas 0.17 %, grasas 0.01 %, fibra 1.46 %, ceniza 0.13 %, carbohidraos 92.47 (Velásquez, 2019).

Rodrigues y Lemma (2014) menciona que el almidón está estructurado por dos componentes: amilosa de estructura lineal, está presente de un 15% a 20% en el almidón, el otro componente es la amilopectina quien posee una estructura ramificada y puede estar presente en el almidón de un 80% al 85%, no obstante, también se menciona que la amilosa puede llegar a tener de 20% a 30% de presencia en el almidón (Quiroga, 2008). Una serie de factores pueden llegar a influenciar la composición, estructura y propiedades del almidón, pueden tomarse en cuenta aspectos genéticos, condiciones ambientales donde creció el tubérculo como; adición de fertilizantes, tipo de suelo, clima, entre otros (Chung et al., 2014).

### **2.5.3. Usos e importancia del almidón**

La aplicación amplia que tiene el almidón en el sector alimentaria o farmacéutico puede ser como sustituto de espesantes y estabilizadores en emulsiones, utilizada como material de base para producir películas comestibles, recubrimientos biodegradables, hidrogeles, entre otros. Si bien estos pueden estar condicionados a la variedad y ecotipo del tubérculo, tipo de suelo, condiciones climáticas, condiciones agrícolas y usos de agroquímicos (Choque-Quispe et al., 2024).

El uso del almidón aporta aspectos adicionales significativos en las características nutricionales y funcionales de muchas materias primas y alimentos procesados, el rol que ha llegado a tener el almidón es fundamental, desde modificar texturas hasta contribuir en varios atributos sensoriales de alimentos terminados (Villanueva et al., 2018). Es común la aplicación del

almidón en la industria de los alimentos, ya que es barata, de fácil extracción y se emplea en la preparación de alimentos. El sector alimentario resalta el uso del almidón porque permite potenciar características organolépticas como propiedades de textura en alimentos. En otras aplicaciones industriales actúa como agente de retención de agua, agente de relleno, agente gelificante, estabilizante, espesamiento y en la industria de empaques se emplea para la formación de films (Velásquez-Barreto y Velezmoro, 2018).

#### **2.5.4. Efecto de la congelación-descongelación en el almidón**

Entre los métodos físicos para modificar almidones se encuentra el congelado-descongelado, considerado como un tratamiento que depende de factores como; velocidad de congelación, ciclos de congelado-descongelado, de la humedad, temperaturas de congelado-descongelado, variedad del almidón (Yu et al., 2015). Los almidones provenientes de cereales son empleados para la elaboración de postres congelados, ya que presentan una gran estabilidad frente a los procesos de congelación-descongelación, estos almidones también son conocidos como almidones “céreos” (Bello, 2000).

El almidón a veces se modifica para cambiar sus propiedades y funcionalidad, esta modificación puede ser física o química (Joye, 2019). Los métodos físicos (por ejemplo, extrusión mecánica, métodos ultrasónicos y de congelación) han atraído una gran atención debido a sus condiciones de reacción suaves y respetuosas con el medio ambiente. El tratamiento de congelación/descongelación es una modificación física, resulta en el colapso, agrietamiento, estructura gruesa y promueve la lixiviación de materiales de los gránulos de almidón, aunque en la actualidad existen varios métodos para la preparación de materiales porosos, principalmente métodos físicos, químicos, enzimáticos y sinérgicos. (Zhang et al., 2022a). El congelado-descongelado y los ciclos repetidos de congelado y descongelado llegan a modificar las propiedades fisicoquímicas, la microestructura, el tamaño de poro, el área de superficie específica del almidón (Abedi et al., 2022).

Según Cuba (2021) algunas investigaciones refieren que el cambio de fase líquido del agua a una fase sólida (hielo) provocaría la compresión de los gránulos, dañando la estructura del almidón, la expansión del agua en su estado sólido llegaría a aumentar la porosidad y lo que conllevaría a la salida del agua que se encuentra en el alimento, al igual que compuestos como; lípidos, proteínas, amilosa y fosforo durante el descongelamiento.

## 2.6. EXTRACCIÓN Y RENDIMIENTO DE ALMIDONES

Las técnicas para la extracción de almidones usualmente emplean el método de extracción por vía húmeda y el método de extracción por vía seca. En el método por vía húmeda, se encuentran la extracción empleando reactivos ácidos (ácido cítrico, ácido sulfúrico) y la extracción alcalina (hidróxido de sodio y bisulfito de sodio). Adicional a los métodos ya mencionados se registran métodos de extracción enzimática (celulasa) y el método por ultrasonido (Nizama, 2021).

**Tabla 9: Métodos de extracción de almidones.**

Nº	Técnica	Descripción
1	Método de extracción vía seca	Según Guadrón (2013), este método empieza con la molienda de la materia prima, una vez se obtenga la harina, se procede al tamizado en varias mallas, en la última malla quedara el producto final, es decir, el almidón.
2	Método de extracción vía húmeda	Guadrón (2013) en el método por vía humedad inicia con la trituración o reducción de tamaño de la materia prima, seguido a ello se realizar el lavado de la pulpa, quedando en el medio filtrante componentes como fibra y proteínas. Esperar a que el agua del lavado termine de decantar para facilitar la eliminación de esta, se realiza el lavado del material sedimentado para eliminar impurezas, se concluye el secado del almidón.

FUENTE: Nizama (2021)

Según Mogrovejo (2019) en la extracción del almidón de oca mediante el método seco y el método húmedo, el que genero mayor rendimiento fue el método de extracción por vía seca, pero reporto elevado contenido de cenizas lo que indicaría un almidón de baja calidad o contaminación de la muestra, según Aristizábal y Sánchez (2007) se recomienda porcentajes que no excedan el 0.12% en el contenido de cenizas. No solo el método para la extracción del almidón influye en el rendimiento, sino aspectos como; factores ambientales, tamaño del gránulo del almidón, tamaño del tubérculo (Mogrovejo, 2019) y también el estado de madurez en el que se encuentra el tubérculo al realizar la extracción (Zarate-Polanco et al., 2014).

**Tabla 10: Rendimiento de almidones de diversas fuentes.**

<b>Muestra</b>	<b>Rendimiento %</b>	<b>Autor</b>
Papas nativas del departamento de Puno	10.23 – 17.60	(Hanco, 2021)
Papas nativas de Ilave (Puno)	6.58 – 10.19	(Peña, 2017)
Almidón Oca	4.28	(Estrada, 2017)
Almidón Oca	5.99	(Mogrovejo, 2019)
Almidón Oca	32.20 bs	(Velásquez-Barreto y Velezmoro, 2018)
Almidón Oca	32.78 bs	(Velásquez-Barreto et al. 2021)
Almidón de chuño	44.89 - 73.28	(Chilon y Mamani, 2019)
Almidón de tunta	33.29 – 69.61	
Almidón de khaya	58	(Bernabé y Cancho, 2017)

Nota: bs=base seca

Leiva y Obando (2014) trabajaron con siete variedades de papa, a partir de estos se extrajeron almidones para determinar rendimientos. Los valores que reportaron fueron en base húmeda y en base seca, la primera se dividió el peso del almidón seco entre el peso de la papa integra, el rendimiento en base seca se calculó a partir del almidón entre la materia seca.

Los tubérculos deshidratados como el chuño y la tunta presentaron rendimientos de almidón mayores en comparación con la papa fresca, tanto Lipa y Maquera (2013) como Chilon y Mamani (2019) infieren que la diferencia se deba a que el chuño (88.10 %) y la tunta (84.07-86.38%) (Patrón, 2019) poseen una cantidad significativamente mayor en materia seca a diferencia de la papa fresca (20%) (Silveira et al., 2020).

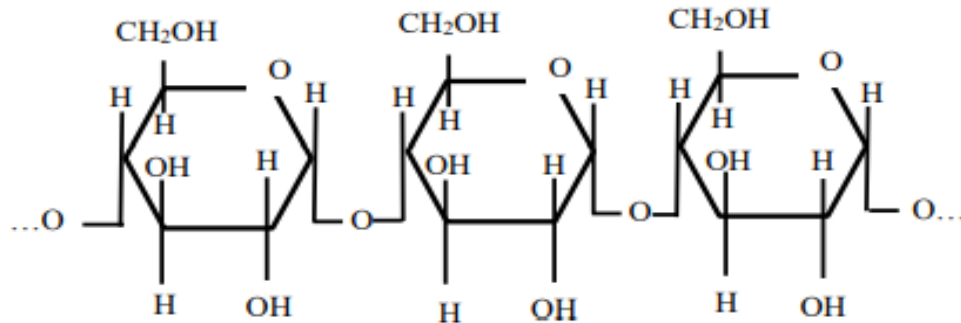
## **2.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN**

### **2.7.1. Contenido de amilosa y amilopectina**

El almidón está compuesto por la mezcla de dos polisacáridos, la amilosa quien posee una estructura lineal y la amilopectina con una estructura ramificada, ambas están constituidas por enlaces de glucosa y la proporción en la que se encuentran varía según la fuente de donde se extrajeron (Agama-Acevedo et al., 2015; Rembado y Sceni, 2009; Aristizábal y Sánchez, 2007).

### a. Amilosa

La amilosa es un componente principal del almidón, representa alrededor del 20 al 30 por ciento del almidón total, se caracteriza por tener una estructura de moléculas lineales de glucosa con enlaces  $\alpha$ -(1-4) (Aristizábal y Sánchez, 2007; Martins et al. 2018).



**Figura 2: Estructura de la amilosa.**

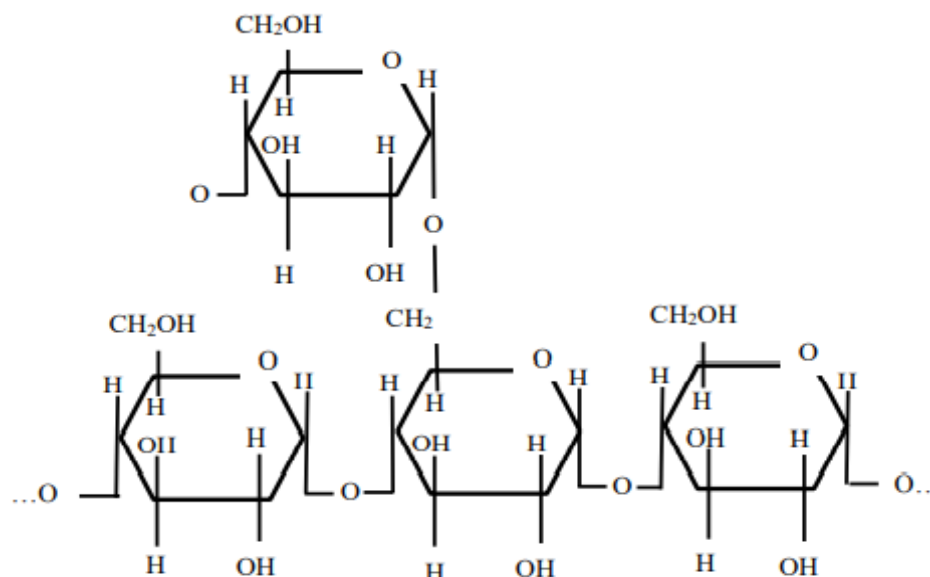
FUENTE: Aristizábal y Sánchez (2007)

Según Przetaczek-Roz (2017) la retrogradación y la elasticidad de una pasta, se verá influenciada por el contenido de amilosa que llegue a tener la muestra de almidón. Si el almidón tendría porcentajes elevados de amilosa favorecería en aspectos como; una mejor claridad del gel, alta solubilidad, tendría una mayor viscosidad y una elevada tendencia a la retrogradación de sus geles. Al emplearse el almidón en una serie de alimentos, la amilosa es considerada un factor importante que determina la calidad de los alimentos terminados (Aristizábal y Sánchez, 2007). La variación genética de los tubérculos, el origen geográfico, las condiciones de cultivo, entre otros, probablemente sean aspectos que llegue a influir en contenido de amilosa de una materia prima (Velásquez, 2019).

Valdivieso y Mollinedo (2021) señalan que durante el proceso de elaboración de chuño posiblemente se dan rupturas de enlaces glucósidos, sobre todo de amilosa, ya que el soleado (luz UV) empleado para la deshidratación del tubérculo provocaría la fotodegradación del almidón, ocasionando acortamiento de la cadena de amilosa y desramificación de la amilopectina. De la misma manera, se indica que el proceso de del congelado-descongelado llego a alterar la estructura del gránulo del almidón, cambios como la relación de amilosa/amilopectina, textura y forma del gránulo.

## b. Amilopectina

La amilopectina, estimada por ser importante en la estructura y función del almidón al igual que la amilosa, representa alrededor del 70 al 80 por ciento del almidón total. Se caracteriza por ser un polímero de estructura ramificada, formada por unidades glucosídicas ( $\alpha$ -D-glucosa) con la presencia de enlaces  $\alpha$ -(1-4) y  $\alpha$ -(1-6) (Aristizábal y Sánchez, 2007; Martins et al. 2018).



**Figura 3: Estructura de la amilopectina**

FUENTE: Aristizábal y Sánchez (2007).

Las cualidades que proporcionan la amilosa y la amilopectina a sus respectivos geles, depende de la concentraciones presentes en el almidón, es decir, si hubiese mayor contenido de amilosa permitiría la formación de geles con estructuras firmes y transparentes. Por otro lado, altos niveles de amilopectina forma geles con elasticidad y plasticidad (Choque-Quispe et al., 2024).

Para la mayoría de los almidones, la amilosa representa aproximadamente 18% al 33% de los carbohidratos del almidón. Existen genotipos mutantes que tienen contenidos de amilosa mucho más altos (hasta un 70%; por ejemplo, maíz, cebada y patatas) a los cuales se les denomina almidones amilóticos y almidones que no contienen amilosa (menos del 1%; por ejemplo, maíz, arroz, sorgo, cebada, trigo, patatas y mandioca) llamados almidones céreos (Joye, 2019).

Las propiedades fisicoquímicas de los geles dependen de la proporción de amilosa/amilopectina en el almidón, dado que, al ser aplicado en un producto influyen en características relacionadas a la viscosidad, retención de agua, textura, gelatinización y su homogenización (Cuba, 2021). Asimismo la concentración de amilosa/amilopectina también afectaría las propiedades funcionales del almidón, dicho de otra manera, las pastas de almidón presentarían comportamientos particulares de elasticidad (Villanueva et al., 2018). Según Singh et al. (2006) citado por Arzapalo et al. (2015) una gran variedad de factores contribuyen a la variación del contenido de amilos y amilopectina de un almidón, entre los cuales se menciona el tipo de suelo, el clima, origen botánico, condiciones de almacenamiento, también se toma en cuenta el proceso de obtención y purificación del almidón.

La siguiente Tabla muestra contenidos de amilosa y amilopectina en muestras de diferentes muestras de almidón realizado por anteriores estudios

**Tabla 11: Contenido de amilasa y amilopectina en almidones de diversas fuentes.**

<b>Muestra</b>	<b>Amilosa</b>	<b>Amilopectina</b>	<b>Autor</b>
Almidón de papas	23.42-35.5		(Martínez et al. 2021)
Almidón Oca	24.38	75.62	(Velásquez-Barreto et al. 2021)
Almidón Oca	23.00	77.00	(Velásquez-Barreto y Velezmoro, 2018)
Almidón Oca	27.60		(Valcárcel-Yamani et al. 2013)
Almidones de tunta	23.13-30.00	70.00-76.87	(Cuba, 2021)
Almidón de chuño	20.21	79.79	(Chilon & Mamani, 2019)
Almidón de tunta	14.89	85.11	
Almidón de Khaya	36.74	63.26	(Bernabé & Cancho, 2017)

Según Alvis et al. (2008) al haber una mayor proporción de amilosa, durante el enfriamiento de la pasta, la retrogradación aumentaría dándose el fenómeno de sinéresis. Un mayor contenido de amilopectina presentaría pastas espesas mas estables durante el enfriamiento, puesto que estas no se retrogradarían. Las características de las propiedades del almidón dependerán tanto de la amilosa y amilopectina.

### 2.7.2. Contenido de ácido oxálico

La acidez se debe a la presencia de ácidos orgánicos, están presentes en concentraciones que varían de una materia prima a otra. Entre los ácidos más conocidos se encuentran; el ácido cítrico, el ácido oxálico, el ácido fórmico, el ácido tartárico, el ácido málico, entre otros. Los ácidos orgánicos llegan a influir en el sabor, color y estabilidad de los alimentos. Por otro lado, el contenido de acidez en almidones, sirve para identificar si hay presencia de un aditivo, si hubo fermentación o para identificar algún tipo de modificación. Determinar la acidez permite saber si un producto tiene algún tipo de deterioro fisicoquímico o microbiológico, considerado como control de calidad (Rached et al., 2006).

El ácido orgánico presente en la oca son los oxalatos, considerado como un antinutriente. Se reportaron porcentajes de 3.3 g a 3.7 g de ácido oxálico en la oca, lo que le confiere un sabor agrio a este tubérculo, en la cascara se encontraría mayor contenido de este ácido que es propio del género oxális. Someter a la oca a los rayos del sol (soleado) llegaría a disminuir alrededor del 75% de contenido de ácido oxálico (Antay, 2018).

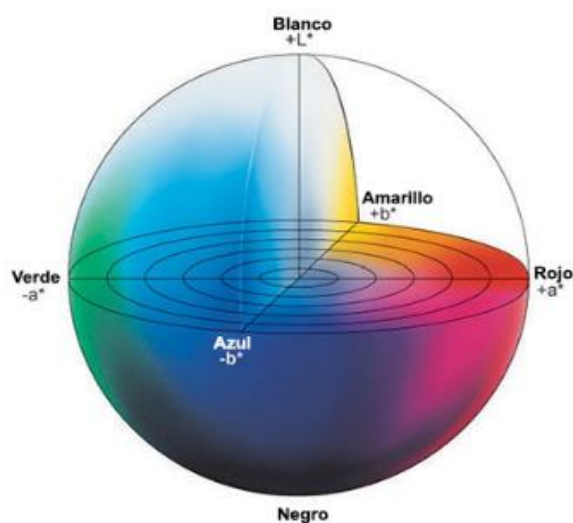
Por ejemplo, las ocas de variedades blanca y amarilla presentan contenidos de ácido oxálico de 0.060 y 0.063 %, las cuales fueron sometidas a una radiación de 8 horas para ambas variedades, llegando a tener una concentración final de ácido oxálico de .0150 y 0.0113 % en la oca blanca y la oca amarilla respectivamente. Se toma en cuenta que hay aspectos que influyen en el contenido del ácido oxálico, tal como las condiciones medioambientales durante la cosecha y poscosecha de la oca y la variedad. (Cáceres y Valerio, 2021).

Escarcena (2020) trabajo con ocas con contenido de 0.17 % en ácido oxálico, el propósito de su estudio fue transformar la oca en un tubérculo deshidratado denominado kcaya, el cual fue sometido a procesos de congelado-descongelado y secado al sol, señala que el contenido de ácido oxálico se reduce si se trabajan con temperaturas menores de congelación con tiempos prolongados, reportando un contenido final de 0.051 % ácido oxálico en la kcaya.

En harinas de oca y khaya se han reportado 0.18 y 0.20 % de acidez respectivamente (Bernabé y Cancho, 2017). Un almidón de calidad se encuentra dentro de los rangos de  $2.2 \times 10^{-3} - 5.0 \times 10^{-3}$  % meq. de ácido láctico/g de almidón de acidez titulable, valores mayores a estos rangos sería signo de deterioro (Aristizábal y Sánchez, 2007; Jiménez y Martínez, 2016)

### 2.7.3. Color e índice de blancura (WI)

Las ventajas de la medición instrumental del color, sobre la medición visual del color incluyen la eliminación de la subjetividad, el aumento de la precisión y la simplicidad del rendimiento. Se enumeran tres tipos de instrumentos de medición de color que incluye el calorímetro monocromático, el calorímetro de triestimulo y el espectrofotómetro calorimétrico (Good, 2002). El análisis de las propiedades físicas como el color y el índice de blancura (WI) del almidón juegan el papel de control de calidad, permitiendo su aplicación en la industria alimentaria (Barraza-Jáureguí y Siche, 2021). Como el uso del almidón es amplio, se optan por aquellos que no impartan una coloración extraña al momento de su aplicación, que tengan bajos niveles de caroteno, ácido ascórbico, proteínas, compuestos polifenólicos y pigmentos (Falade y Christopher, 2015).



**Figura 4: Espacio del color CIELAB**

FUENTE: Americas (2006).

En la Figura 4, se muestra escala de color CIELAB con parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  plasmado en el plano cartesiano en base a tres ejes; uno vertical ( $L^*$ ) y dos ejes horizontales ( $a^*$  y  $b^*$ ), que permite expresar el color en forma numérica a partir de los ingredientes alimentarios (Waliszewski et al., 2003). En el eje  $L^*$  de luminosidad, su color tiene una variación en un rango de 0 igual a negro hasta 100 igual a blanco. Para el eje  $a^*$ , la medida va de un color rojo igual a  $a^*$  positivo y un color verde igual a  $-a^*$  negativo. Por último, para el eje  $b^*$ , comprende desde un

color amarillo igual a  $b^*$  positivo y un color azul igual  $-b^*$  negativo (Talens, 2017). Informar sobre altos valores de luminosidad ( $L^*$ ) e índice de blancura (WI) hace referencia a una alta pureza del almidón. Por ejemplo, si se tiene valores cercanos a cero en el indicador  $a^*$  se refiere a que tiende al color neutro, si el indicador  $b^*$  reporta valores por encima de cero, indicaría tendencia al color amarillo posiblemente a la presencia de proteínas, lípidos o pigmentos amarillos que estuvieron presentes en el tubérculo fresco (Cuba, 2021).

**Tabla 12: Índice de blancura en almidones.**

Muestras	Parámetros de color			Índice de blancura (W)	Autores
	$L^*$	$a^*$	$b^*$		
Almidones de papa	96.43 a 96.96	0.09 a 0.12	1.55 a 2.14	95.90 a 96.59	(Cuba, 2021)
Almidones de tunta	94.15 a 96.47	0.04 a 0.50	2.44 a 3.54	93.15 a 95.71	
Almidones de papa de dos variedades	92.22 y 90.82	-0.28 y 0.20	1.98 y 3.41	97.72 y 96.41	(Ramirez, 2023)
Almidón de oca	83.88	1.76	1.68	81.73	(Arévalo, 2017)
Almidón de oca	81.88	1.88	1.34	81.73	(López, 2017)

Al igual que la anteriores características fisicoquímicas, los valores del color e índice de blancura serán influenciados por el origen del almidón (Cuba, 2021). Por otra parte, en el estudio del almidón de tunta, sus valores fueron influidos por pigmentos presentes en la cascara del tubérculo, ya que hubo propagación del color al endospermo, debido al su proceso de elaboración durante el remojo (Falade y Christopher, 2015).

## 2.8. PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

Las propiedades tecnofuncionales de un almidón son determinados bajo cambios de temperatura, lo que permite definir mejor la interacción de las moléculas de agua con las cadenas de almidón en las regiones semicristalinas, lo cual nos proporciona cualidades propias de los almidones y así orientar su uso al sector alimentario o doméstico (Coque-Quispe et al., 2024).

### **2.8.1. PROPIEDADES REOLÓGICAS**

Según Campos et al. (2018) las propiedades reológicas nos dan la posibilidad de realizar estudios cuantitativos y cualitativos del comportamiento de las pastas de almidón, obteniendo así información relevante de aspectos como; la viscosidad, propiedades elásticas y viscoelásticas. Asimismo, el termino reología estudia aspectos como la deformación y el fluir de materiales que pueden ser sólidos o líquidos.

En la evaluación de las propiedades reológicas ocurre una serie de reacciones cuando el almidón entra en contacto con el agua y es sometida a una temperatura que van en aumento. Se registran reacciones como la gelatinización del almidón, ruptura y salida de la amilosa, formando una red tridimensional. La materia prima de donde se extrajo el almidón influye significativamente en estos aspectos, ya que las pastas muestran comportamientos particulares en su viscosidad, tasa de esfuerzo cortante, según sea su concentración inicial (Singh et al., 2016).

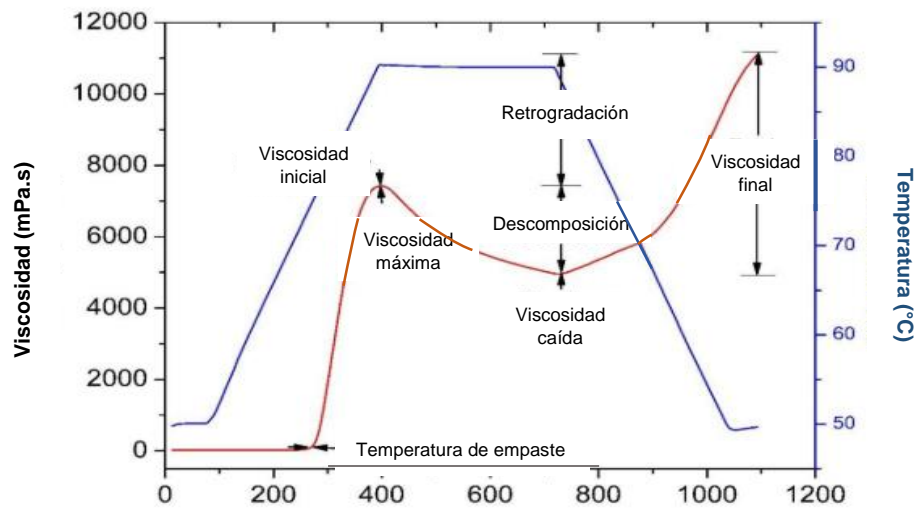
El comportamiento de pasta de almidones se estudia según la norma ICC 162. Esta norma es aplicable a almidones, harinas y granos de cereales nativos y modificados para analizar las propiedades de pasta en suspensiones de almidón-agua o harina-agua durante el calentamiento y enfriamiento (ICC, 2018). Asimismo, el sistema de evaluación de viscoelasticidad en un Reómetro de placas paralelas se describen en los estándares del sistema de medición ISO/WD 3219-2 (2021) y ISO 6721-10 (2015).

#### **A. Comportamiento de pastas en frio y caliente (curva de gelatinización)**

La evaluación del comportamiento de pastas o pasting, se trabajan con equipos de medición estandar como el reómetro y viscosímetro. Este tipo de estudio nos permite cuantificar la viscosidad de la muestra en ciertos puntos, que vendria ser la fricción interna de un fluido o tendencia a resistir de un flujo. El reómetro trabaja con cinco intervalos o tambien llamado rampas de temperatura, iniciando con el mezclado, equilibrio y absorcion de agua, calentamiento, mantenimiento y termina con el enfriamiento. Este dispositivo electrico permite un control apropiado de la temperatura con velocidades rápidas de calentamiento, enfriamiento y agitación constante (Rao, 2014; Mezger, 2018).

Las curvas de empaste son la representación gráfica del comportamiento de las pastas de almidón, inicia con una rampa de temperatura constante que se mantiene a la par con la

viscosidad, en la segunda rampa la temperatura va en aumento y la viscosidad incrementa debido a que los gránulos de almidón empiezan a hincharse a partir de ello se da la viscosidad pico relacionada con el poder de hinchamiento, la temperatura se mantiene a 95 °C en la tercera rampa, comenzando el colapso y ruptura de los gránulos de almidón registrándose la viscosidad de caída. En la cuarta rampa la viscosidad disminuye a la par con la temperatura y finalmente en la última rampa se toma los valores de la viscosidad final (Tan y Halley, 2014).



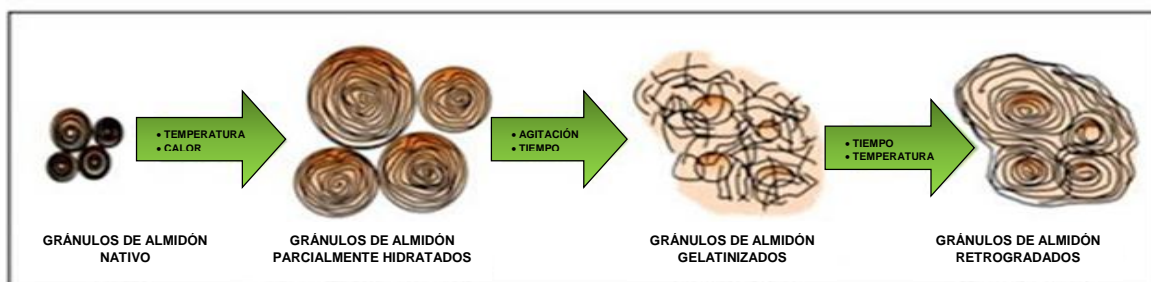
**Figura 5: Curvas de empaste**

FUENTE: (Rincón-Londoño et al., 2016).

Mínguez (2012) señala que en las curvas de empaste se detallan las propiedades de formación de pasta permitiendonos conocer mas sobre estas características las cuales son:

- **Viscosidad inicial (pasting viscosity)(cP)(PV):** La viscosidad inicial se registra cuando inicia la formación del gel o la gelatinización del almidón.
- **Temperatura de empaste (pasting temperature)(°C)(TP):** La temperatura de empaste o pasting se refiere a la temperatura en que inicia la gelatinización de una muestra dada.
- **Viscosidad máxima (peak viscosity)(cP)(VM):** La viscosidad máxima o conocida como viscosidad pico es la capacidad de retención de agua del almidón o una mezcla.
- **Temperatura pico (peak time)(°C)(PT):** La temperatura pico se registra junto con la viscosidad máxima, hace referencia a la fácil cocción de una pasta.

- **Descomposición (breakdown)(cP)(II):** Cuando la rampa de temperatura se mantiene a 95 °C se da el fenómeno de descomposición o breakdown.
- **Viscosidad de caída o mínima (trough)(cP)(VC):** La viscosidad mínima o de caída se da antes que comience la retrogradación, registrándose al final de la temperatura constante antes del enfriamiento, siendo este uno de los valores menores de viscosidad.
- **Retrogradación (setback)(cP)(RG):** Durante la rampa de enfriamiento sucede el fenómeno de retrogradación, es decir la re-asociación entre moléculas de almidón.
- **Viscosidad final (final viscosity)(cP)(VF):** En la última rampa se da la reorganización de los gránulos de almidón, registrándose los valores de viscosidad final, esta propiedad hace referencia como un material después de un proceso de cocción y enfriamiento forma una pasta viscosa o gel.



**Figura 6: Esquema del proceso de gelatinización y retrogradación de los gránulos de almidón**

FUENTE: Villarroel et al. (2018)

La longitud de las cadenas de amilopectina influyen en la temperatura de inicio, ya que al aumentar las cadenas cortas disminuye la temperatura de gelatinización (Tan y Halley, 2014). Después de la gelatinización se le llama pasta de almidón (Joye, 2019), esta pasta llega a un punto donde forma un pico que dependerá de la concentración inicial del almidón (Singh et al., 2016), seguido a ello sucederá el fenómeno de retrogradación que se refiere a la asociación de cadenas de almidón en consecuencia al enfriamiento (Cuba, 2021). Las propiedades de formación pastas de los almidones pueden ser condicionados por variables como proporción de amilosa/amilopectina, estructura de la amilopectina, tamaño del gránulo, poder de hinchamiento del gránulo, presencia de componentes de proteínas, lípidos y grupos fosfatos que forman complejos con el almidón (Zhu y Cui, 2020; Cuba, 2021).

**Tabla 13: Propiedades de formación de pastas (curvas de gelatinización) en almidones.**

<b>Muestra</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
Almidones de papa(a1)	53.76-55.11	5554..85-5939.17	815.75-1039.82	4826.11-5123.41	829.73-1017	1813.30-1869.55
Almidones de tunta(a2)	54.65-56.19	2255.80-2555.26	708.13-954.30	1547.67-1600.96	632.73-765.23	1340.86-1719.54
Almidón de oca (b)	57.99	2790	1140	1680	920	2020
Almidón de Oca (K'ellu kamusa) (c)	52.7	5680	1354	4326	738	2092
Almidones de papa (criolla) (d)	62.30-65.05	3165-4379	3847-7202	1860-2427	1545-4775	1304-1952
Almidones de ñame (yuca) (e)	80.43-84.03	1367-2752	1296-2259	70.66-493	865-1967	2161-4226

FUENTE: Cada muestra de almidón tiene un código con un orden alfabético lo cual indica las fuentes de donde se seleccionó los resultados relacionados al comportamiento de pastas. (a1)(a2)= (Cuba, 2021); (b)= (Velásquez, 2019); (c)= (Apaza, 2018); (d)= (Solarte-Montúfar et al., 2019); (e)= (Salgado-Ordosgoitia et al., 2019). Donde, A: Temperatura de pasta (°C), B: Viscosidad máxima o pico (cP); C: Viscosidad mínima (cP); D: Descomposición (cP); E: Retrogradación (cP); F: Viscosidad final (cP).

## B. Viscoelasticidad

Según Shrestha y Halley (2014) la viscoelasticidad indica si un material presenta características viscosas o elásticas, a estas variables se le denominan módulos, el primero como módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y el segundo como módulo de pérdida ( $G''$ ), estos llegan a identificar el grado de viscoelasticidad. Para realizar las pruebas viscoelasticas, primeramente, se identifica la región viscoelastica lineal, a partir de esta se pueden realizar tres pruebas de reología dinámica (Rao, 2014) como se menciona a continuación:

- **Barrido de frecuencia:** El barrido de frecuencia o denominado espectro mecánico permite clasificar los materiales dependiendo de sus características viscoelasticas (Gałkowska, Pycia, Juszczak, & Pająk, 2014). Este estudio se realiza mayormente a través de un reómetro, la frecuencia que abarca es amplia, otorgando una serie de datos. Los módulos se evalúan a partir de una frecuencia ( $\omega$ ) y temperatura establecida previamente antes de empezar a correr el programa con la muestra (Rao, 2014).
- **Barrido de temperatura:** El barrido de temperatura permiten evaluar la gelatinización del almidón en el calentamiento y formación del gel en el enfriamiento. Esta prueba trabaja con una temperatura y frecuencia ( $\omega$ ) definida (Rao, 2014).
- **Barrido de tiempo:** la prueba de barrido de tiempo para evaluar las muestras trabaja en función al tiempo con una frecuencia ( $\omega$ ) y temperatura definida (Rao, 2014)..

Si un material o muestra tiene un comportamiento más elástico, se dice que muestra oposición a la ruptura, pero si la muestra es más viscosa, estos tienden a una ruptura con facilidad. Las pruebas de viscoelasticidad a través del barrido de frecuencia llegan a identificar diferencias entre alimentos y como pueden influir los diversos ingrediente y tratamiento a lo largo de la elaboración de un producto final (Cuba, 2021). Las propiedades viscoelasticas de un almidón contribuyen a interpretar mejor cómo funciona la estructura de la muestra mediante los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y pérdida ( $G''$ ), independientemente cada módulo proporciona diferente información; por ejemplo, módulo de almacenamiento ( $G'$ ) refleja medidas de almacenamiento y recuperación de energía de un material en un ciclo de deformación a una temperatura establecida, alcanzado un pico  $G'$  para luego sufrir una caída. En contraste, para módulo de pérdida ( $G''$ ) es la medida disipada o perdida de la energía en un ciclo de deformación sinusoidal (Rao, 2014)

## 2.8.2. PROPIEDADES TÉRMICAS

Las propiedades térmicas es el estudio de la reacción de un material o una muestra frente al calor, implica también como almacena y transfiere energía térmica (Apaza, 2018). Estas propiedades son de gran importancia en especial para el sector alimentario, en el estudio de almidones permite obtener información sobre temperaturas de transición y la gelatinización. Cuando el almidón comienza a gelatinizar se genera una transición endotérmica, acompañado de cambio irreversibles de sus propiedades, pasando de tener una estructura semi-cristalina a una estructura amorfa (Zhang et al., 2014; Quintero, Lucas, y Alzate, 2012)

### a. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

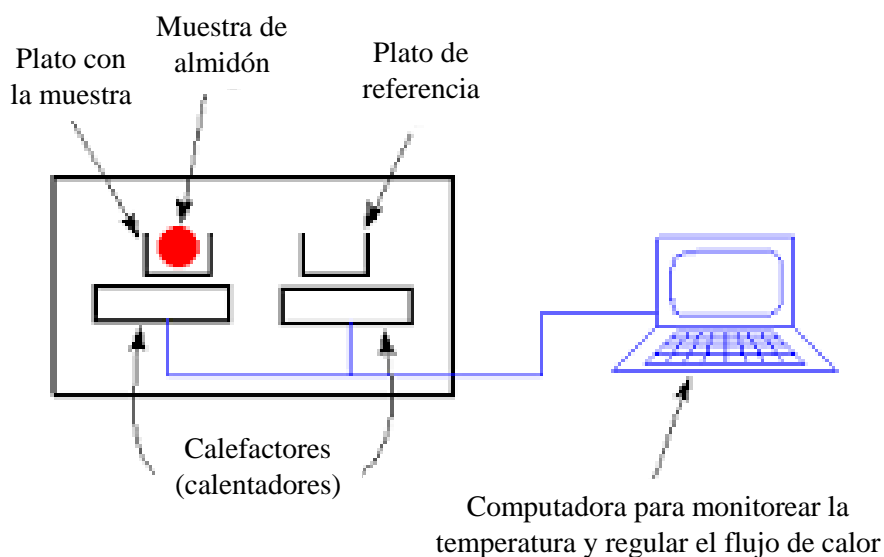
Para el análisis de calorimetria diferencial de barrido se aplica el método ASTM D3418 (2021) para temperaturas de transición y entalpias de fusión y cristalización de polímeros.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) nos permite obtener una serie de datos referentes cambios en la transición de fase de un almidón o sistemas alimentarios complejos, la interacción con compuestos alimenticios y el proceso de gelatinización del almidón mediante flujos de calor con temperaturas establecidas (Quezada, 2019). Según Joye (2019) el estudio con DSC, mide la proporción de calor que necesita una muestra para aumentar su temperatura junto con un material de referencia a una misma velocidad, cada muestra absorbe o libera calor.

El DSC permite determinar la; temperatura inicial ( $T_0$ ), temperatura pico ( $T_p$ ), temperatura final ( $T_f$ ) y entalpia ( $\Delta H$ ) de gelatinización, todos estos parámetros tiene relación con la cantidad de calor absorbido por la muestra durante el proceso, lo que nos facilitara entender mejor su uso en procedimientos como cocción o para modificar almidones (Cuba, 2021).

Los resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) son reportados mediante curvas en un plano con variables de flujo de calor versus temperatura versus tiempo, estas curvas mostraran picos positivos o negativos dependiendo de la tecnología o instrumento empleado en el experimento. Los equipos mayormente utilizados en este estudio son los calorímetros de flujo de calor o de potencia compensada, instrumentos de análisis térmicos, entre otros equipos, estos van acompañados de software especializado para el análisis de datos. Estos equipos generalmente trabajan con dos platillos, uno con la muestra y el otro vacío como referencia, los dos platillos estarán encima de calefactores, los cuales entrarán en funcionamiento una vez que

inicie a correr el programa. Los calefactores se calentarán a una velocidad específica establecida con anterioridad, esta suele ser en la mayoría de casos 10 °C por minuto. El calefactor con la muestra tendrá que suministrar más calor y el equipo medirá cuánto calor adicional debe suministrarse (Johnprieto's, 2015).



**Figura 7. Esquema de estudio de DSC**

FUENTE: Johnprieto's, 2015

La gelatinización de una muestra se puede ver afectada por la disponibilidad del agua, humedad, presencia de otros componentes en la suspensión acuosa del almidón, distribución eficiente del calor en el sistema, lenta lixiviación de la amilosa, estructuras de doble hélice entre las cadenas de amilosa y amilopectina, interacciones fuertes entre amilosa-amilopectina y amilopectina-amilopectina, estos factores pueden resultar en una gelatinización rápida o en el caso de la lixiviación, la gelatinización puede tardar (Joye, 2019; Martínez et al., 2019b).

Se han reportado una gran variación de las temperaturas y entalpías de gelatinización de muestras de almidones evaluadas por anteriores investigaciones, señalando que esto se da por diversas causas como; el origen del almidón, organización interna, distribución, forma y tamaño de los gránulos del almidón, contenido de amilosa y longitud de la cadena de amilopectina. Asimismo, las condiciones ambientales también influyen, al igual que las condiciones y protocolos experimentales desde la metodología de extracción de la muestra, nivel de humedad,

transferencia de calor del equipo, velocidad de calentamiento del equipo, temperatura y composición del producto (Valcárcel-Yamani et al. 2013; Moreno, 2018; Velásquez, 2019; Cuba, 2021)

**Tabla 14: Propiedades térmicas de almidones de diferente fuente.**

<b>Muestras</b>	<b><math>T_0</math> (°C)</b>	<b><math>T_P</math> (°C)</b>	<b><math>T_f</math> (°C)</b>	<b><math>\Delta H_G</math> (Jg)</b>	<b>Autores</b>
Almidón de oca (K'ellu kamusa)	49.95	55.50	66.89	11.04	(Apaza, 2018)
Almidón de oca	50.26	55.17	63.91	9.66	(Valcárcel-Yamani et al. 2013)
Almidón de oca (amarilla)	53.47	58.30	70.42	15.98	(Velásquez-Barreto et al.2021)
Almidones de tunta	54.69-56.45	58.36-60.32	64.40-66.38	15.70-16.53	(Cuba, 2021)
Almidón de chuño	59.25	63.69	69.89	13.62	(Chilon & Mamani, 2019)
Almidón de tunta	60.70	65.21	72.28	14.09	(2019)
Almidón de tunta	54.69-54.98	58.36-58.69	64.40-64.67	15.70-16.08	(Marquez, 2022)

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

- Existen diferencias significativas en las características fisicoquímicas y tecnofuncionales de los almidones de oca, kaya y uma kaya.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas**

- Los almidones obtenidos a partir de la oca, kaya y uma kaya, presentan diferencias significativas en el rendimiento.
- La transformación de la oca en kaya y uma kaya influye significativamente en las características fisicoquímicas (contenido de amilosa y amilopectina, contenido de ácido oxálico, índice de blancura) de los almidones extraídos.
- Los almidones extraídos a partir de oca, kaya y uma kaya, presentan diferencias significativas en las propiedades reológicas (comportamiento de pasta, viscoelasticidad) y térmicas.

#### **3.2. ÁMBITO DE ESTUDIO**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los siguientes laboratorios:

- La extracción del almidón y el análisis de las características fisicoquímicas se realizó en los laboratorios de granos andinos de la Escuela Profesional de Ingenierías en Industrias Alimentarias (EPIIA) de la Universidad Nacional de Juliaca - sede Ayabacas. El análisis del contenido de amilosa y amilopectina en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

- El análisis de las propiedades reológicas se realizó en los laboratorios del Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITAL) de la escuela profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión (UPeU) sede Juliaca.
- El análisis de Propiedades térmicas se realizó en el laboratorio de la empresa PANKARANA S.A.C: Ventanilla-Lima.

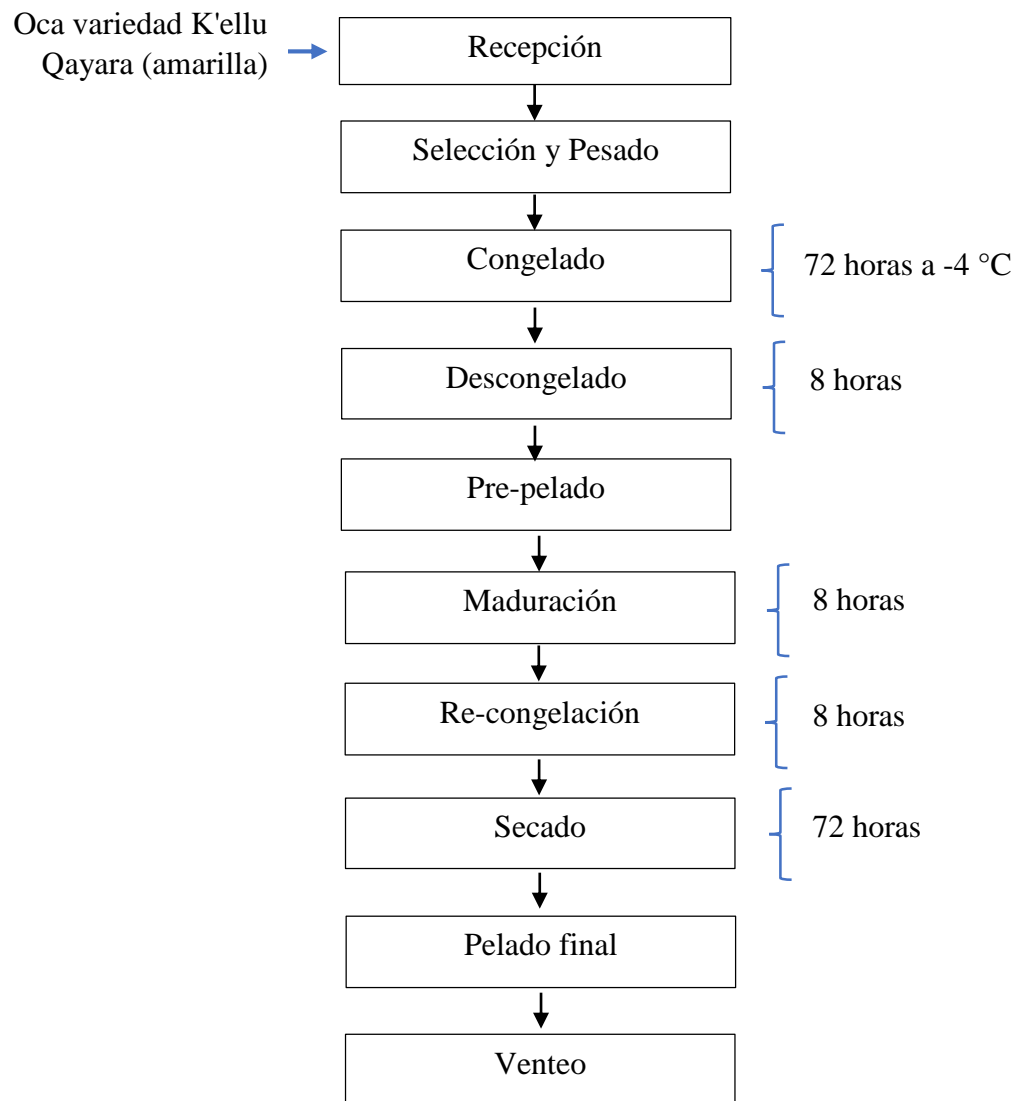
### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población utilizada para el presente trabajo de investigación fueron las ocas de la variedad K'ellu Qayara (amarilla) proveniente de los mercaderes que expenden sus productos en el mercado Manco Capac de la ciudad de Juliaca, de las cuales 30 kg de oca para cada tratamiento: es decir de 30 kg se extrajo el almidón del tubérculo fresco; 30 kg para la elaboración kaya y 30 kg para la elaboración de la uma kaya. Las muestras utilizadas fueron los almidones extraídos a partir de la oca, kaya y uma kaya.

### **3.4. METODOLOGÍA PRELIMINAR**

Los métodos aplicados para obtener la kaya y la uma kaya se muestran en las Figuras 8 y 9. Así mismo, la metodología aplicada para obtener el almidón de la oca, kaya y uma kaya por vía húmeda se muestra en la Figura 10, siguiendo los procesos descritos por Hanco (2021), a continuación se detallan dichos métodos.

### 3.4.1. Obtención de la kaya



**Figura 8: Diagrama de flujo de procesos de elaboración de la kaya**

FUENTE: Adaptado de Cardenas (2018); Waki (2021)

#### Descripción del diagrama de flujo:

- **Recepción**

Se empezó recepcionando la materia prima, las ocas variedad K'ellu Qayara.

- **Selección y Pesado**

Las ocas se seleccionaron según su especie, variedad, peso y tamaño.

- **Congelación**

En el congelado las ocas se dispersaron de manera homogénea en el congelador por un tiempo de 72 horas.

- **Descongelado**

Las ocas fueron retiradas del congelador y colocadas en forma extendida sobre una superficie limpia al ambiente durante 8 horas.

- **Pre-pelado**

Antes de exponerlas nuevamente al congelado a medida que las ocas fueron descongelándose por efecto de los rayos solares, se procedió al pelado mediante la acción mecánica de las manos (Vasquez, 2020).

- **Maduración**

Los tubérculos húmedos permanecieron amontonados durante 8 horas.

- **Re-Congelación**

Se volvió a colocar en forma extendida en el congelador durante 8 horas.

- **Secado**

Posteriormente fueron retirados los tubérculos del congelador y extendidos sobre una superficie limpia para aprovechar la radiación solar, por 30 días. Durante el secado se removió frecuentemente los tubérculos para acelerar el proceso, garantizando la prolongación de la vida útil del alimento.

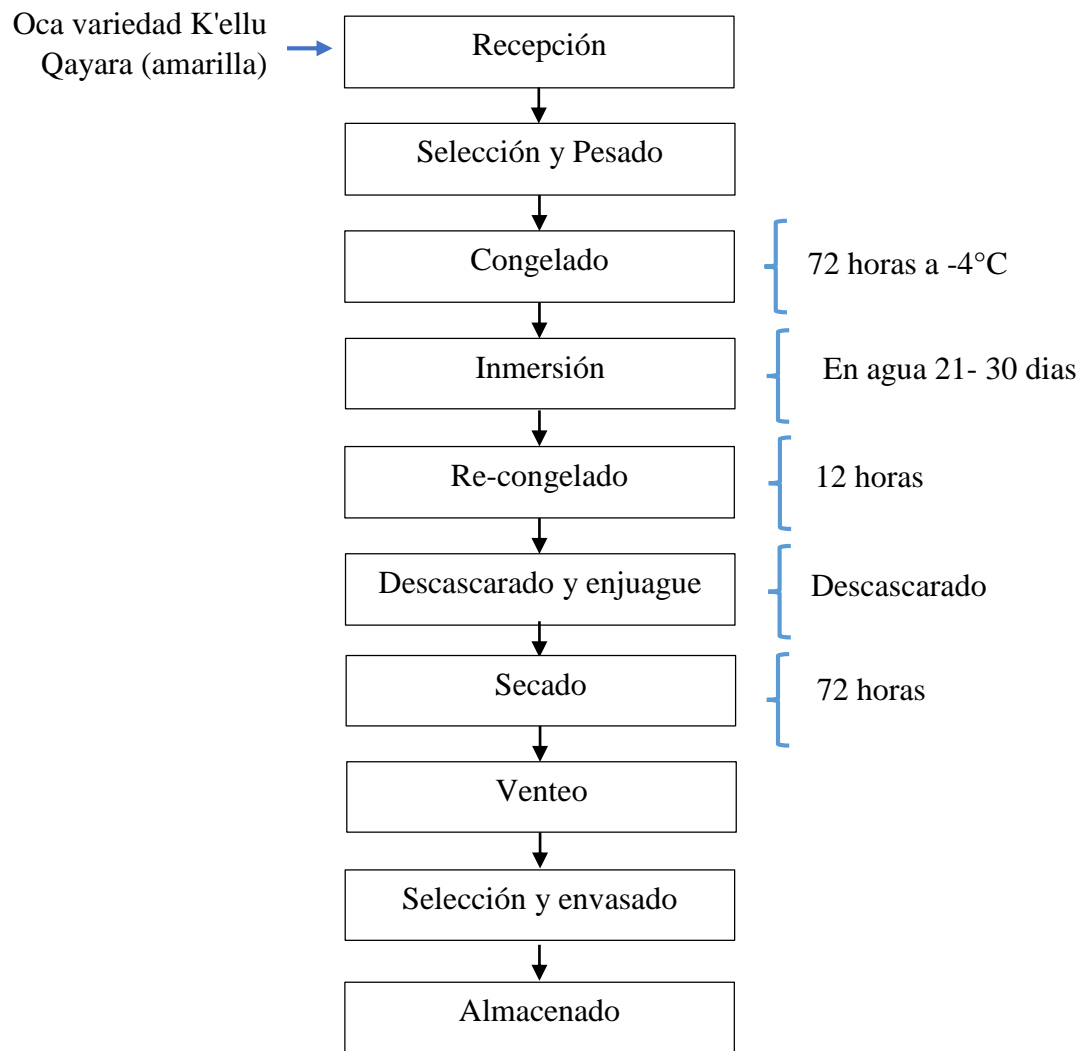
- **Pelado final**

Para la etapa de pelado, los tubérculos ya deshidratados se frotaron entre sí, de tal manera que pierdan los restos de carcasa que quedaron en este.

- **Venteado**

Se eliminaron las impurezas como cáscara, polvo, pajas, etc., se pesó para su respectivo análisis y almacenamiento.

### 3.4.2. Obtención de la uma kaya



**Figura 9: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la uma kaya**

FUENTE: Adaptado de Alucho y Ramos (2022); Waki (2021)

#### Descripción del diagrama de flujo

- **Recepción**

Se empezó recepcionando las ocas variedad K'ellu Qayara.

- **Seleccionado y pesado**

Las ocas se seleccionaron según su especie, variedad, peso y tamaño.

- **Congelado**

Para el congelado las ocas se dispersaron de manera pareja en el congelador a una temperatura de -3 °C, por un tiempo de 72 horas.

- **Inmersión**

Para esta etapa se preparan recipientes con agua, de tal manera que los tubérculos congelados serán sumergidos por un periodo de 15 a 30 días, de preferencia se realiza un cambio de agua cada 24 horas.

- **Re-congelado**

Luego de ser inmersas en agua por más de 15 días, el re-congelado será solo por una noche. Para el re-congelado se colocarán nuevamente las ocas al congelador.

- **Descascarado y enjuague**

Primeramente, se retira las ocas del congelador, para apresurar el descongelado se procede a lavarlas. Una vez terminado el lavado, las ocas húmedas fueron dispersadas en una superficie limpia para ser comprimidas con las manos y permitir la salida del agua. Para terminar las ocas son enjuagadas hasta obtener un agua transparente. (BID-ADEX-RTA, 2001).

- **Secado**

Para el secado, las ocas son colocadas en una superficie limpia, a temperatura ambiente y expuesta a las heladas nocturnas por 7 días aproximadamente.

- **Venteo**

En mantas de malla se balancea el tubérculo deshidratado, provocando el roce entre estos, el ventado permitio que los restos de cascara que quedaron en el tubérculo deshidratado se separen completamente.

- **Selección y envasado**

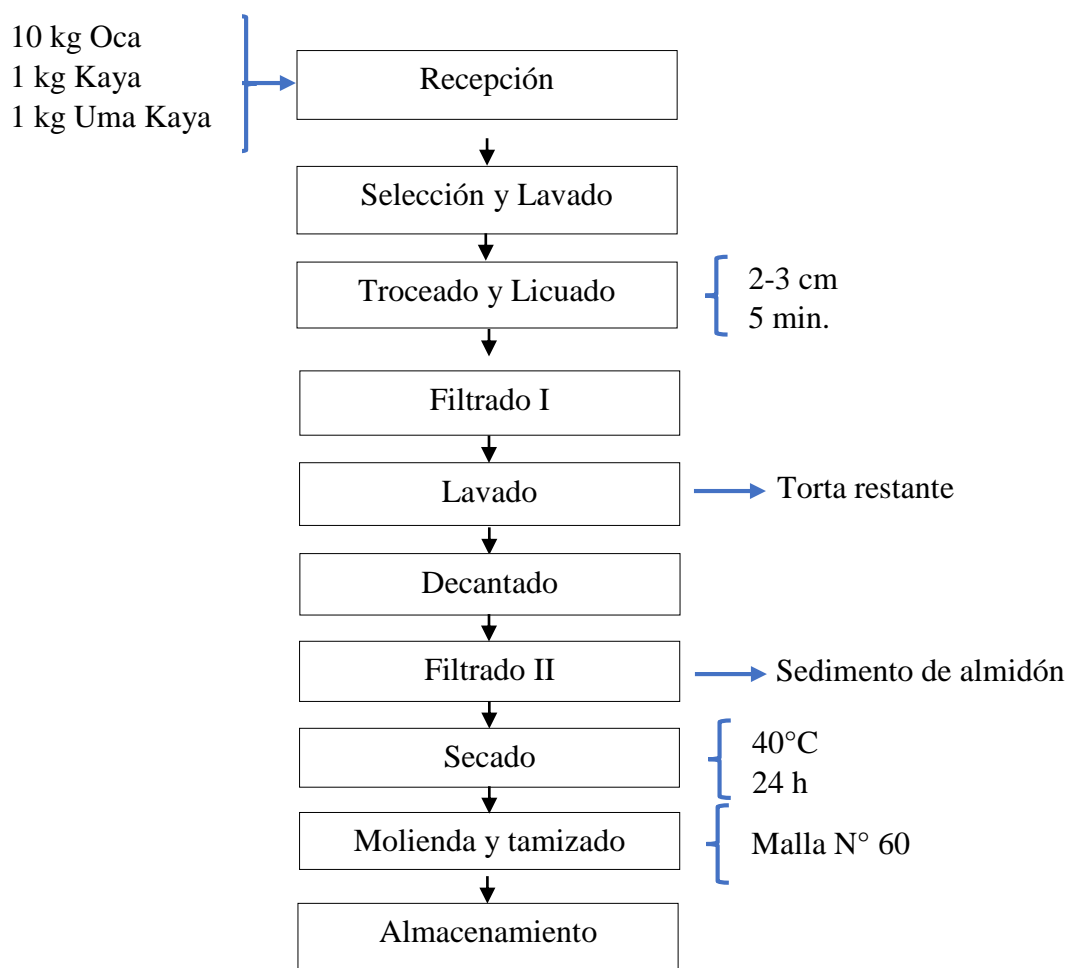
Los tubérculos deshidratados fueron seleccionados de manera cuidadosa, prestando especial cuidado en el envasado porque ello influiría en la calidad.

- **Almacenamiento**

El producto final fue almacenado en un lugar fresco y seco.

### 3.4.3. Descripción del diagrama de operaciones para la extracción del almidón.

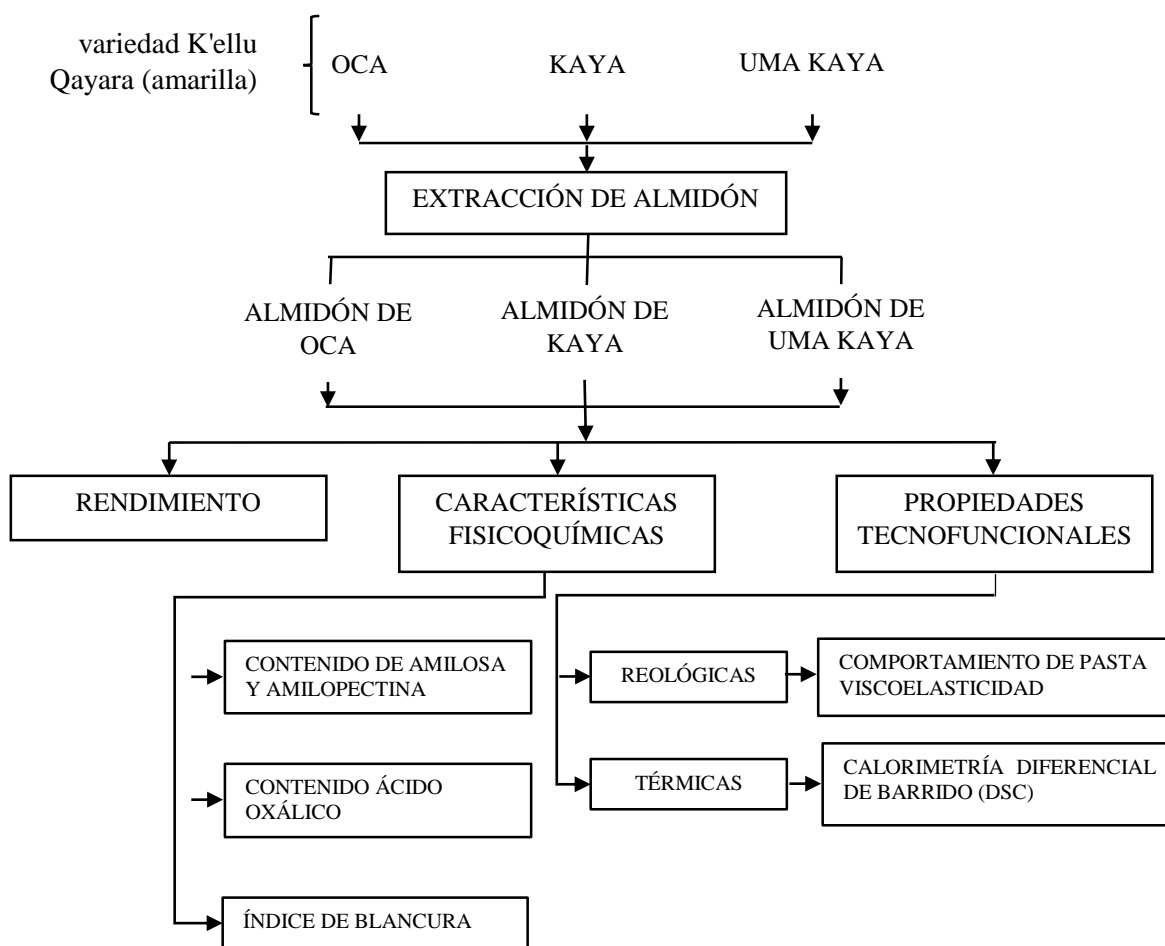
Para la extracción del almidón, se siguió la metodología de propuesta por Hanco (2021) con ligeras modificaciones. La materia prima fue reducida en trozos pequeños, posterior a ello se licuaron a baja velocidad por 5 minutos, se filtró en una malla N° 60, el sedimento de agua y almidón se lavó varias veces hasta que el agua este limpia, posterior a ello el almidón se secó en un horno por 24 horas a una temperatura 40 °C, por último, el almidón seco fue molido y tamizado en mallas número 60.



**Figura 10: Diagrama de operaciones para la extracción almidón**

FUENTE: Adaptado de Hanco (2021)

### 3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



**Figura 11:** Diseño experimental para la evaluación de las características fisicoquímicas y tecnofuncionales en almidones de oca, kaya y uma kaya.

### 3.6. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

#### 3.6.1. Metodología para el objetivo N° 1

Comparar el rendimiento de los porcentajes de almidones extraídos a partir de oca, kaya y una kaya.

##### A. Variables de estudio

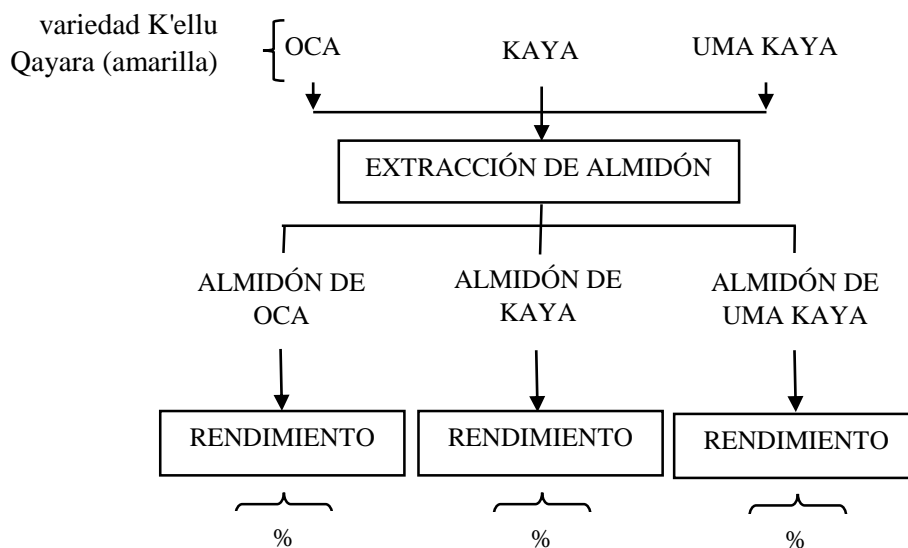
###### Variable independiente

- Oca
- Kaya
- Uma Kaya

###### Variable dependiente

- Rendimiento (%) de almidón de oca
- Rendimiento (%) de almidón de kaya
- Rendimiento (%) de almidón de una kaya

##### B. Diseño experimental



**Figura 12:** Diseño experimental para el objetivo 1.

### C. Diseño estadístico

Para el análisis e interpretación de la información obtenida del rendimiento de los porcentajes de almidones extraídos a partir de la oca, kaya y uma kaya, se realizó según el diseño completamente al azar (DCA), para concluir si hubo diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) a los resultados obtenidos. De igual forma, se realizaron pruebas de comparación Tukey solo a los tratamientos que precisaron diferencias significativas. Los datos fueron procesados mediante el software Minitab 17.

**Tabla 15: Matriz de diseño completamente al azar (DCA).**

REPLICAS	TRATAMIENTOS		
	T1=oca	T2=kaya	T3=uma kaya
R1			
R2			
R3			

### Modelo matemático

Para este diseño, cada unidad experimental  $Y_{ij}$  se desarrolló siguiendo el siguiente modelo estadístico lineal.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array} \right.$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Es la j-ésima observación que se hizo en el tratamiento i-ésimo.

$t_i$  = Parámetro que mide el efecto del tratamiento i o considerado réplica de los tratamientos

$\mu$  = Promedio de las medias de cada variable

$\varepsilon_{ij}$  = Error aleatorio de las réplicas

### D. Métodos de análisis

El rendimiento del almidón expresado en porcentaje, se trata la relación del peso seco de almidón entre el peso de la materia prima. Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$R\% = \frac{\text{peso de almidon kg}}{\text{peso de materia prima kg}} \times 100$$

## **E. Equipos, materiales y reactivos**

### **Equipos**

- Balanza analítica, marca NAHITA serie C75814
- Licuadora, marca OSTER
- Estufa, marca Memmert
- Tamizador, marca Wstyler

### **Materiales**

- Mortero
- Espátula
- Vasos precipitados de 1000 ml.
- Vasos precipitados de 500 ml
- Bandejas
- Baldes de plástico de 20 L.
- Cuchillos.
- Telas para el filtrado
- Papel aluminio
- Bolsas con cierre herméticos.
- Brocha con punta fina

### **Reactivos**

- Agua destilada
- Agua embotellada
- Etanol 96%

### 3.6.2. Metodología para el objetivo N° 2

Evaluar el efecto de la transformación de la oca en kaya y uma kaya sobre las características fisicoquímicas (contenido de amilosa y amilopectina, contenido de ácido oxálico, índice de blancura) de los almidones extraídos.

#### A. Variables de estudio

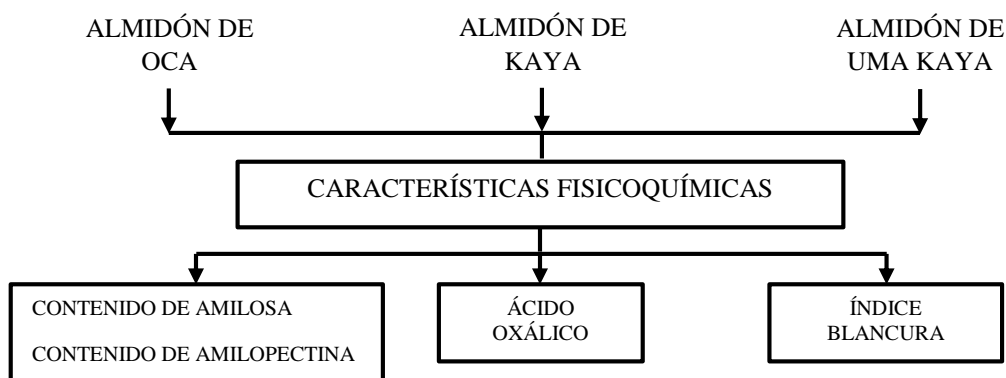
##### Variable independiente

- Almidón: oca, kaya y uma kaya

##### Variable dependiente

- Contenido de amilosa y amilopectina (%)
- Contenido de ácido oxálico (%)
- Índice de blancura (IW)

#### B. Diseño experimental



**Figura 13: Diseño experimental para el objetivo 2.**

#### C. Diseño estadístico

El análisis e interpretación de la información obtenida al evaluar el efecto de la transformación de la oca en kaya y uma kaya sobre las características fisicoquímicas de los almidones extraídos, se realizó según el diseño completamente al azar (DCA), para concluir si hubo diferencias significativas entre las muestras, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) a los resultados obtenidos. De igual forma se realizaron pruebas de comparación Tukey, solo a las muestras que precisan diferencias significativas. Los datos fueron procesados con el software Minitab 17.

**Tabla 16: Matriz de diseño completamente al azar (DCA).**

REPLICAS	TRATAMIENTOS		
	T1=oca	T2=kaya	T3=uma kaya
R1			
R2			
R3			

### Modelo matemático

Para este modelo matemático, cada unidad experimental  $Y_{ij}$  se aplicó el modelo estadístico lineal que se detalla a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array} \right.$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es una observación en la j-ésima unidad experimental, sujeto al i-ésimo tratamiento.

$t_i$  = Réplica de los tratamientos

$\mu$  = Promedio de las medias de cada variable

$\varepsilon_{ij}$  = Representa el error en las réplicas.

### D. Métodos de análisis

- **Contenido de amilosa y amilopectina**

Se determinó con diluciones de almidón, mediante la técnica usada ISO (1987), descrita por Aristizábal y Sánchez (2007).

Primeramente, en un matraz volumétrico se pesó 100 mg de muestra de almidón, se agregó 1 ml de etanol al 95 % y 9 ml de hidróxido de sodio 1N, se tapó y almaceno por 24 horas a temperatura ambiente, pasado el tiempo indicado, se completó a 100 ml con agua destilada. En un matraz volumétrico de 100 ml se agregó 50 ml de agua destilada adicionando 5 ml de cada punto de la curva estándar, además se agregó 1 ml de ácido acético 1N, 2 ml de solución de yodo al 2% y se completó con agua destilada. Por último, se dejó 20 minutos bajo oscuridad para luego leer la densidad óptica con una longitud de onda de 620nm con un espectrofotómetro.

Para determinar el contenido de amilopectina se obtuvo por diferencia del valor de la amilosa.

- **Contenido de ácido oxálico**

Se determinó (método titulometría) mediante la técnica usada ISI (1999), descrita por Huamaní, (2018).

Se trabajó con disoluciones de 20 g de almidón en base seca con adición de 100 ml de agua destilada durante 15 minutos, las muestras se filtraron, del líquido filtrado se tomó 60 ml en frascos Erlenmeyer de capacidad 125 ml. A los frascos Erlenmeyer con las muestras se le agregó 3 gotas de fenolftaleína como indicador y se procedió a titular con NaOH al 0.1 N hasta el cambio de color a un rosa palo. Por último, se tomó registro del gasto de NaOH. Se calculó el porcentaje de acidez con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Ácido Oxálico} = \frac{V_{NaOH} * N_{NaOH} * meq(\text{ácido oxálico}) * 100}{\text{peso de la muestra alicuota}}$$

Donde:

$V_{NaOH}$  = gasto del volumen de NaOH usado (ml)

$N_{NaOH}$  = normalidad del NaOH 0.1N

$meq(\text{ácido oxálico})$  = miliequivalente del ácido oxálico (0.04502) (Beca, 2017)

- **Índice de blancura**

Los parámetros de color para los almidones de oca, kaya y uma kaya se determinó mediante el sistema de color CIELAB (Talens, 2017). Primeramente, de manera uniforme se colocó las muestras de almidón en placas petri, sobre una superficie plana con fondo blanco y se procedió a realizar la medición del color con el instrumento, dándonos parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . A partir de ello se calculó el índice de blancura (Whiteness, W) según la metodología de Hunter citado por Ramírez (2023), mediante la siguiente ecuación:

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

Donde L, a y b son los parámetros de color.

**C\* (Croma):** Mide la intensidad de color o saturación (Retting y Ah-Hen, 2014).

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

**H\* (Tono/Matiz):** Mide el ángulo de color en el plano de los ejes a\* y b\* (Retting y Ah-Hen, 2014).

$$H^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

## **E. Equipos, materiales y reactivos**

### **Equipos**

- Balanza analítica, marca NAHITA serie C75814
- Colorímetro
- Equipo de titulación digital, marca SOLARUS HIRSCHMANN

### **Materiales**

- Espátula
- Varilla
- Placas petri
- Vasos precipitados de 250 ml
- Matraz 100 ml
- Embudos
- Fiola 100 ml
- Piseta
- Papel filtro

### **Reactivos**

- Agua destilada
- Etanol 96%
- fenolftaleína
- Hidróxido de sodio 0.1 N.

### 3.6.3. Metodología para el objetivo N° 3

Comparar las propiedades reológicas (comportamiento de pasta, viscoelasticidad) y térmicas de los almidones extraídos a partir de oca, kaya y uma kaya.

#### A. Variables de estudio

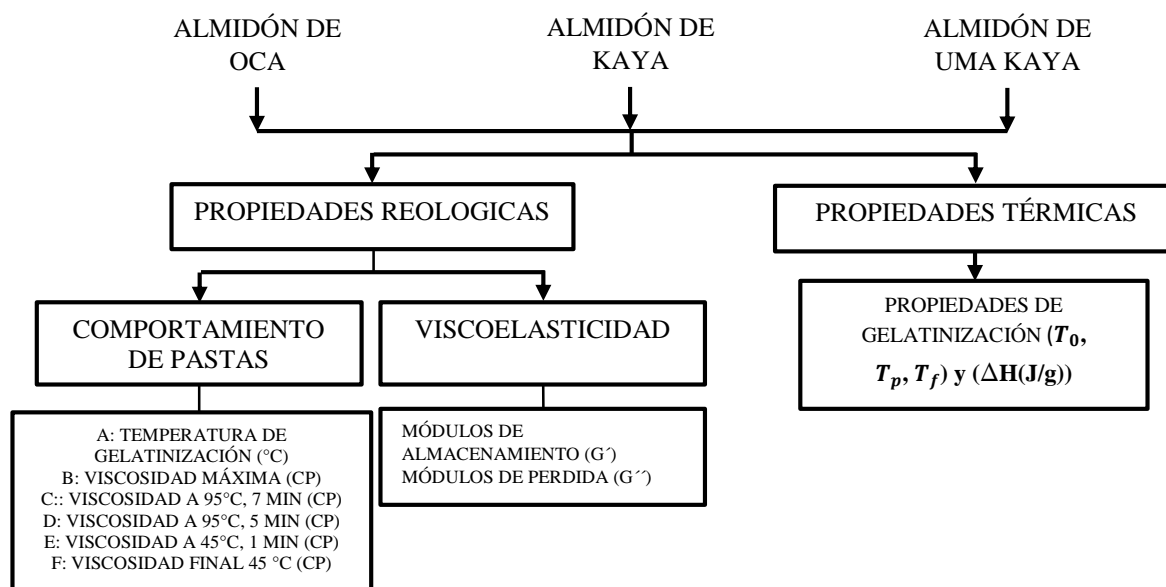
##### Variable independiente

- Almidón: oca, kaya y uma kaya

##### Variable dependiente

- Propiedades reológicas (comportamiento de pastas, viscoelasticidad)
- Propiedades térmicas

#### B. Diseño experimental



**Figura 14:** Diseño experimental para el objetivo 3.

#### C. Diseño estadístico

Para el análisis e interpretación de la información al comparar las propiedades reológicas y térmicas de los almidones extraídos a partir de oca, kaya y uma kaya, se realizó según el diseño completamente al azar (DCA) y con los resultados obtenidos se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para precisar si hubo diferencias significativas entre una muestra y otra. De igual modo, se aplicaron las pruebas de comparación Tukey solo si las muestras mostraron diferencias

significativas. Los datos fueron procesados mediante el software Minitab 17.

**Tabla 17: Matriz de diseño completamente al azar (DCA).**

REPLICAS	TRATAMIENTOS		
	T1=oca	T2=kaya	T3=uma kaya
R1			
R2			
R3			

### Modelo matemático

Para este diseño, cada unidad experimental  $Y_{ij}$  se aplicó el siguiente modelo estadístico lineal.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array} \right.$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es una observación en la j-ésima unidad experimental, sujeto al i-ésimo tratamiento.

$t_i$  = Réplica de los tratamientos

$\mu$  = Representa las medias de cada variable

$\varepsilon_{ij}$  = Error aleatorio que se da en las réplicas

### D. Método de análisis

#### Propiedades reológicas

- **Comportamiento de pasta**

El comportamiento de la pasta en frío y caliente se determinaron mediante el uso del reómetro modular compacto (MCR72), con un dispositivo de calentamiento C-PTD 150/XL/AIR/18P, con una copa de medición C-CC27/T200/XL/SS y geometría de agitación ST22-4V-40. Se siguió la metodología propuesta por Salgado-Ordosgoitia et al. (2019) con algunas modificaciones.

Donde se realizó curvas de gelatinización en el reómetro, con diluciones al 10% (2 g de muestra en base seca en 20 mL de agua destilada). La muestra de almidón y agua se calentó a 45°C a

baño maria, para luego pasar la muestra a la copa del reómetro. La suspensión se sometió a corridas de 5 etapas; primeramente, el calentamiento, inicialmente a 45 °C por 1 min, luego se elevó a 95 °C en 7,5 min; con una de calentamiento de 6 °C por minuto, se mantuvo a dicha temperatura por 5 min y posteriormente se enfrió hasta 45 °C en 7,5 min. Finalmente, se mantuvo durante 2 min a temperatura de 45 °C. Los parámetros evaluados serán la temperatura inicial de pastificación o gelificación, la viscosidad máxima, viscosidad a 95 °C por 5 min, descomposición (breakdown), retrogradación (setback). viscosidad final.

- **Viscoelasticidad**

El sistema de evaluación de viscoelasticidad en un reómetro de placas paralelas se describen en los estándares del sistema de medición ISO/WD 3219-2 (2021) y ISO 6721-10 (2015).

Las propiedades viscoelásticas se determinaron usando el reómetro modular compacto (MCR72), con un dispositivo de calentamiento P-PTD 200/62/AIR, con una geometría de plato paralelo PPSO/Q1 de 50 mm de diámetro.

Se trabajó con diluciones de 7% (1.4 gr de almidón) en 20 ml de agua destilada. Primeramente, la muestra de almidón y agua se calentó a 95°C (baño maria), una vez la muestra haya gelatinizado, se procedió a colocar una pequeña cantidad en la placa. Se realizó barridos de amplitud y el barridos de frecuencia, siguiendo la metodología propuesta por Velásquez-Barreto y Velezmoro (2018) con ciertas modificaciones. Se realizaron barridos de amplitud de 0,1 a 100 Pa a una frecuencia de 1 Hz para determinar la región viscoelastica lineal de las pastas. Se realizaron barridos de frecuencia (intervalo viscoelástico lineal). La frecuencia oscilatoria ( $\omega$ ) vario de 0,01 a 10 Hz. Luego, se registró los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y módulos de pérdida ( $G''$ ) de las pastas de almidones.

### **Propiedades térmicas**

- **Calorimetría diferencial de barrido (DSC)**

Las propiedades térmicas de los almidones se estudiaron mediante la técnica de calorimetría diferencial de barrido (DSC), donde se utilizó un analizador térmico simultaneo Perkin Elmer ST 6000 calibrado previamente, se determinó la temperatura y la entalpía de gelatinización ( $T$  y  $\Delta H$ ). Se siguió la metodología descrita por Quintero et al. (2012) con ligeras modificaciones,

las muestras con las que se trabajó fueron diluciones de 4:1 (agua: almidón) y en reposo por 60 minutos. Las muestras se calentaron desde temperatura ambiente hasta 100°C con una rampa de calentamiento de 5 °C. los resultados fueron calculados con el software TRIOS de TA instruments. Así, las temperaturas iniciales, picos máximos, temperatura de finalización y entalpías de gelatinización fueron calculadas.

### **E. Equipos, materiales y reactivos**

#### **Equipos**

- Balanza analítica, marca PIONER modelo InCal
- Calentador, marca PETRA electric
- Analizador térmico Perkin Elmer ST 6000
- Reómetro, marca Anton Paar

#### **Materiales**

- Espátula
- Varilla
- Termómetro digital
- Vasos precipitados de 50 ml
- Piseta
- Toallitas húmedas
- Papel toalla
- Papel abrasivo

#### **Reactivos**

- Agua destilada
- Etanol 96%
- Alcohol isopropílico

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. COMPARAR EL RENDIMIENTO DE LOS PORCENTAJES DE ALMIDONES EXTRAÍDOS A PARTIR DE OCA, KAYA Y UMA KAYA

En la Tabla 18, se muestran los resultados del rendimiento de almidones de oca, kaya y uma kaya extraídos mediante el método vía húmeda que se muestra a continuación:

**Tabla 18:** *Porcentaje de rendimiento de almidones obtenidos de oca, kaya y uma kaya.*

Materia primas	Peso de la muestra kg	Peso del almidón kg	Rendimiento %
OCA	10 ± 0.00	0.41 ± 0.02	4.15 ± 0.21
KAYA	1.33 ± 0.01	0.19 ± 0.01	14.16 ± 0.35
UMA KAYA	1.06 ± 0.03	0.09 ± 0.01	8.62 ± 0.47

En la evaluación del rendimiento de almidones obtenidos a partir de la oca, kaya y uma kaya, de la Tabla 18, los valores reportados van de un rango de 4.15 a 14.16 por ciento y según Tabla 25 ANOVA (Anexo 4) existen diferencias significativas ( $p$ -valor $<0.05$ ) en los porcentajes de rendimiento obtenidos de las muestras de almidones; asimismo según la comparación múltiple Tukey Tabla 26 (Anexo 4) el almidón de kaya presenta mayor rendimiento (14.16%), seguido del almidón de uma kaya (8.62%) y finalmente está el almidón de oca (4.15%).

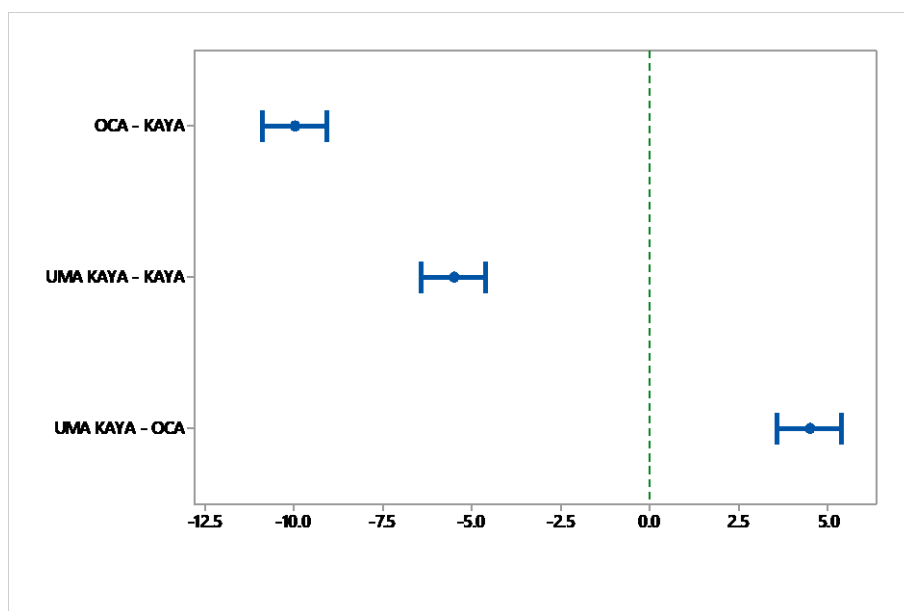
El almidón de oca tuvo rendimientos de 4.15 por ciento, valor que se aproxima a lo reportado por Estrada (2017) con un rendimiento de 4.28 por ciento. El rendimiento de la oca expresado en base seca de este estudio estaría alrededor del 28.87 por ciento aproximadamente. Una considerable variación del rendimiento de almidones de oca se ha informado en anteriores estudios, investigaciones como el de Mogrovejo (2019) que obtuvo un rendimiento de 5.99 por ciento; por su parte Velásquez-Barreto y Velezmoro (2018) en almidones de oca variedad

amarilla obtuvieron 32.20 por ciento en base seca; de igual manera Velásquez-Barreto et al. (2021) reportaron un porcentaje de 32.78 por ciento, también en base seca. Respecto al rendimiento de almidones de kaya y uma kaya no se encontraron datos bibliográficos en la extracción por vía húmeda que fue aplicado en esta investigación, a excepción de la extracción por vía seca del estudio realizado por Bernabé y Cancho (2017) reportando 58 por ciento de almidón en harina de khaya. Por otro lado, Chilon y Mamani (2019) obtuvieron porcentajes elevados en almidones de chuño (50.89%) y tunta (71.67%), al igual que Lipa y Maquera (2013) quienes reportaron rendimientos de 13.94 y 18.80 por ciento de almidones a partir de harina de chuño y tunta.

Los rendimientos obtenidos de las muestras de almidones de este estudio son menores en su gran mayoría en comparación con lo reportado por los autores. Si bien el rendimiento del almidón de oca se aproxima a lo reportado por Estrada (2017), valores mayores fueron reportados por Velásquez-Barreto et al. (2021) y Velásquez-Barreto y Velezmoro, (2018) quienes realizaron la extracción del almidón de ocas recién cosechadas y esto influiría, dado que según Zarate-Polanco et al. (2014) indica que extraer almidones de un tubérculo antes de que inicie su proceso de hidrólisis llegaría a influir positivamente en el rendimiento. Por otro lado los almidones de kaya y uma kaya tuvieron menores rendimientos en comparación a los almidones de harinas de kaya, en el trabajo realizado por Bernabé y Cancho (2017), como también Chilon y Mamani (2019), Lipa y Maquera (2013) en almidones de chuño y tunta, estos últimos posiblemente reportaron mayores rendimientos debido a que trabajaron con un proceso de aislamiento con solvente con el método de extracción por vía húmeda alcalina (NaOH), esto con la finalidad de determinar el rendimiento del almidón total.

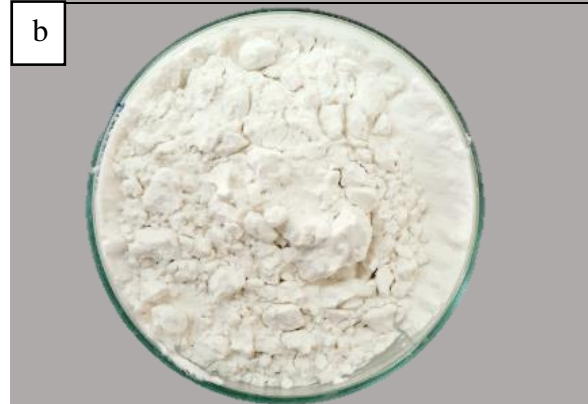
La variación en los rendimientos obtenidos de los almidones de oca, kaya y uma kaya posiblemente se deba a que en las etapas de filtrado y lavado presentaron pérdidas, esto influiría en el rendimiento, según Hanco (2021) en la fibra queda una parte del almidón o durante el lavado son arrastrados con el agua, de igual forma Peña (2017) señala que en el medio filtrante quedaría parte del almidón sin recuperar. Otros aspectos a tomar en cuenta es el tamaño del tubérculo y factores ambientales (Mogrovejo, 2019). La materia prima también es un factor que influye en el rendimiento del almidón, así como del método de obtención del almidón (Correa et al., 2017).

Respecto a los procesos empleados para la elaboración de la kaya y una kaya, como el congelado-descongelado de las ocas, el secado o soleado en la kaya para deshidratarla y la inmersión en agua para obtener la una kaya; probablemente hayan repercutido en el rendimiento de estos almidones. No se puede afirmar con certeza si la operación de secado o soleado para obtener la kaya haya influido en el rendimiento, si bien el endulzamiento de la oca es estimulada por la radiación solar, en algunas investigaciones indican que se da por la degradación del almidón, reportando la reducción del almidón e incremento de azúcares (Castañeda et al., 2022). La calidad del producto por congelación-descongelación puede verse influenciado por muchos factores como la cantidad de agua en el alimento que define la formación de hielo, velocidad de congelación, tiempo de congelación, el método de descongelación y los ciclos de congelación/descongelación (Umaña, 2013; Zhang et al. 2022).



**Figura 15: Comparación de medias en el rendimientos de almidón (%).**

En la Figura 15, nos muestra intervalos de confianza simultáneo de tukey del 95% de todas las comparaciones en pareja del rendimiento de los almidones, donde los intervalos no contienen cero, lo que indicaría que las medias correspondientes son significativamente diferentes entre las muestras de almidón obtenidos a partir de la oca, kaya y una kaya.



**Figura 16: Muestras: (A) oca, (B) kaya y (C) uma kaya.**

**Almidones: (a) oca, (b) kaya y (c) uma kaya.**

## 4.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA OCA EN KAYA Y UNA KAYA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS (CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA, CONTENIDO DE ÁCIDO OXÁLICO, ÍNDICE DE BLANCURA) DE LOS ALMIDONES EXTRAÍDOS.

### 4.2.1. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina.

En la Tabla 19 se presentan contenido de amilosa y amilopectina para las muestras de almidones de oca, kaya y una kaya.

**Tabla 19:** *Contenido de amilosa y amilopectina en almidones de oca, kaya y una kaya.*

Muestra	% Amilosa	% Amilopectina
ALMIDÓN DE OCA	26.45 ± 0.34 <sup>b</sup>	73.55 ± 0.34 <sup>b</sup>
ALMIDÓN DE KAYA	24.65 ± 0.54 <sup>a</sup>	75.35 ± 0.54 <sup>a</sup>
ALMIDÓN DE UNA KAYA	26.10 ± 0.99 <sup>ab</sup>	73.90 ± 0.99 <sup>ab</sup>

Nota: Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, p-valor<0.05).

Se reportaron contenidos de amilosa que oscilan entre 24.65 a 26.45 por ciento, mientras que la amilopectina estuvo en un rango de 73.55 a 75.35 por ciento. De acuerdo con los análisis realizados y según Tabla 27 ANOVA (Anexo 5) existen diferencias significativas (p-valor<0.05) del contenido de amilosa en almidones de oca, kaya y una kaya; asimismo, según la comparación múltiple de Tukey Tabla 28 (Anexo 5) se muestra una clasificación por categorías, donde el almidón de oca (26.45%) y el almidón de una kaya (26.10%) presentan mayor contenido de amilosa, seguido del almidón de kaya (24.655%).

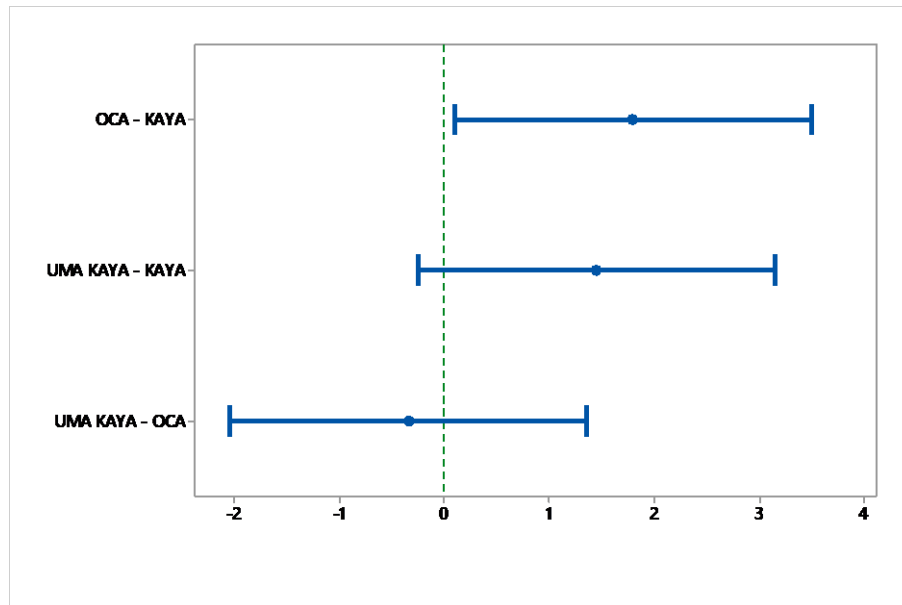
Los resultados obtenidos en este estudio sobre la proporción de amilosa en el almidón de oca se encuentre entre los rangos de Martínez et al. (2021) quienes obtuvieron de 23.42 a 35.50 por ciento en almidones de papa; sin embargo, tanto Velásquez-Barreto et al. (2021) como Velásquez-Barreto y Velezmoror (2018) reportaron valores menores de 24.38 y 23.00 por ciento, respectivamente; asimismo, Valcárcel-Yamani et al. (2013) obtuvo alto contenido de amilosa de 27.60 por ciento. Con respecto al almidón de kaya, Bernabé y Cancho (2017) reportaron 36.74 por ciento, para el almidón de chuño el contenido de amilosa fue de 20.21 por ciento (Chilon y Mamani, 2019). Por otro lado, el contenido de amilosa del almidón de una kaya se encuentra dentro de los rangos reportados por Cuba (2021) con valores que oscilan entre

23.13 a 30.00 por ciento en almidones de tunta; Chilon y Mamani (2019) señalan bajos contenidos de amilosa (14.89%) en almidones de tunta.

Según Joye (2019) y Martins et al. (2018) indican que para la mayoría de almidones, la amilosa representa aproximadamente de 18 al 33 por ciento de la composición del almidón y la proporción amilosa/amilopectina varía de un tipo a otro según sea su fuente (Rembado y Sceni, 2009; Aristizábal y Sánchez, 2007).

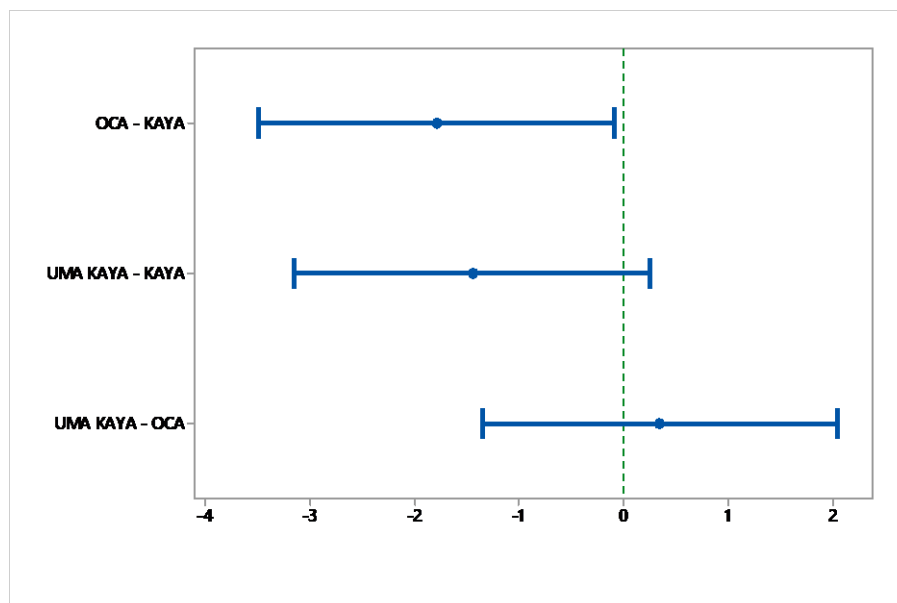
Respecto a los procesos aplicados para transformar la oca en kaya y una kaya, de alguna manera repercutieron en un menor contenido de amilosa para los almidones de kaya y una kaya como se observa en la Tabla 19. Según Valdivieso y Mollinedo (2021) aplicar procesos como el congelado-descongelado y secado en la elaboración del chuño, llegó a modificar la estructura del gránulo de almidón y con ello la proporción amilosa/amilopectina, asimismo, estos procesos contribuyeron al colapso y agrietamiento de los gránulos llegando a cambiar ampliamente la microestructura y las propiedades fisicoquímicas. La congelación o ciclos repetitivos de congelado-descongelado han sido considerados como métodos físicos para modificar almidones (Zhang et al. 2022a; Abedi et al. 2022). Cuba (2021) en su trabajo de investigación sobre almidones de papa y tunta, indica que el congelado permite que ocurra una serie de fenómenos desde el daño a la estructura de los gránulos de almidón hasta la salida de compuestos como; la amilosa, lípidos, fósforo y proteínas a lo largo del proceso de descongelado, ya que, el agua al pasar de fase líquida a sólida somete presión sobre los gránulos. Por otro lado, la proporción de amilosa del almidón de kaya también se ve influenciado por el secado al sol, puesto que según Valdivieso y Mollinedo (2021) la luz UV ocasiona la fotodegradación del almidón, una mayor parte se presentaría en la amilosa, llegando a ocasionar la ruptura de enlaces glucósidos como el acortamiento de sus cadenas, de igual manera en la amilopectina se da la desramificación de sus cadenas.

En términos generales la variación en el contenido de amilosa, ya sea en el estudio realizado como los trabajos reportados, varía por diversos factores, como la variedad usada como fuente de almidón, origen geográfico, tipos de suelos y condiciones de cultivo (Velásquez, 2019; Velásquez-Barreto et al. 2021). De la misma forma, la proporción amilosa/amilopectina también depende de aspectos como el proceso empleado para extraer el almidón, purificación y las condiciones de almacenamiento (Arzapalo et al., 2015).



**Figura 18: Comparación de las medias del contenido de amilosa (%)**

Figura 18, se muestran intervalos de confianza simultáneo tukey del 95% en las comparación en parejas para contenido de amilosa de las muestra de almidones, donde algunos intervalos si contienen cero, lo que indicaria que las medias correspondientes a las muestras de almidones de umakaya-kaya y umakaya-oca no revelan diferencias significativas, a comparacion de las medias de oca-kaya, estas ultima se observa diferencias significativas entre si.



**Figura 19: Comparación de las medias del contenido de amilopectina (%)**

Figura 19, se muestran intervalos de confianza simultáneo tukey del 95% en la comparación en parejas del contenido de amilopectina para las muestras de almidones, donde algunos intervalos si contienen cero, lo que indicaría que las medias correspondientes a las muestras de almidones de umakaya-kaya y umakaya-oca no muestran diferencias significativas, a diferencia de las medias de oca-kaya, estas ultima si muestran diferencias significativas entre si.

#### 4.2.2. Determinación del contenido de ácido oxálico

En la Tabla 20, se muestran resultados del porcentaje de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya.

**Tabla 20:** *Contenido de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya.*

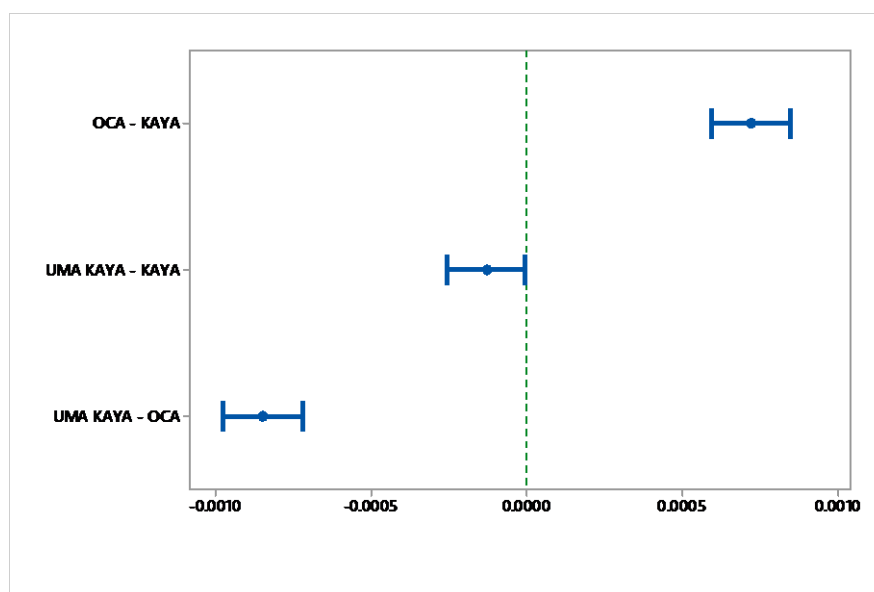
Muestra	Ácido oxálico (%)
ALMIDÓN DE OCA	$1.83 \times 10^{-3} \pm 0.00004$
ALMIDÓN DE KAYA	$1.13 \times 10^{-3} \pm 0.00001$
ALMIDÓN DE UMA KAYA	$0.98 \times 10^{-3} \pm 0.00008$

Según Ramírez-Balboa et al. (2023) el contenido de acidez de un alimento es determinada por la concentración de ácidos orgánicos presentes y el contenido de polisacáridos. En este estudio el contenido de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya, que se observa en la Tabla 20, estuvieron en un rango de  $0.98 \times 10^{-3}$  a  $1.83 \times 10^{-3}$  por ciento y según Tabla 31 ANOVA (Anexo 6) existen diferencias significativas ( $p$ -valor $<0.05$ ) del contenido de ácido oxálico entre las muestras de almidones, asimismo, según la comparación múltiple de Tukey Tabla 32 (Anexo 6) el almidón de oca presentan un contenido de ácido oxálico de  $1.83 \times 10^{-3}$  por ciento, seguido del almidón de kaya  $1.13 \times 10^{-3}$  por ciento y finalmente el almidón de uma kaya  $0.98 \times 10^{-3}$  por ciento.

La calidad de un almidón es expresado en rangos de  $2.2 \times 10^{-3}$  a  $5.0 \times 10^{-3}$  % meq. de ácido láctico/g según Aristizábal y Sánchez (2007). De acuerdo a los resultados obtenidos de  $1.83 \times 10^{-3}$ ,  $1.13 \times 10^{-3}$  y  $0.98 \times 10^{-3}$  de ácido oxálico, expresados en ácido láctico equivaldrían a  $3.65 \times 10^{-3}$ ;  $2.25 \times 10^{-3}$  y  $0.98 \times 10^{-3}$  respectivamente, los cuales se encontrarían dentro de los rangos señalados por los autores.

Según Bernabé y Cancho (2017) en harinas de oca y khaya reportaron una acidez de 0.18 y 0.20 por ciento respectivamente, asimismo, Escarcena (2020) evaluó la influencia del congelado de la oca para elaborar la kcaya, indica que tanto el tiempo y la temperatura llegan a influir en el contenido de acidez, puesto que, al trabajar con una menor temperatura de congelación y mayor tiempo tuvo menores contenidos de ácido oxálico, caso contrario sucede cuando la temperatura es mayor y tiempo es menor, el contenido de ácido oxálico aumenta.

Las muestras de almidones en estudio presentan reducidas cantidades de ácido oxálico, esto posiblemente se deba a que la mayor parte del ácido oxálico del tubérculo se concentre en la cascara, y es propio del genero oxális (Antay, 2018), al momento de la extracción de estos almidones una gran parte del tubérculo se quedó en el medio filtrante, es decir en la torta (cascara, fibra y otros compuestos). Asimismo, Hybrid (2024) señala que si la oca es expuesta a los rayos solares (soleado) se apreciaría un reducción de este ácido, representando hasta un 75% menos del contenido inicial.



**Figura 20: Comparación de las medias para contenido de ácido oxálico (%)**

En la Figura 20, nos muestra intervalos de confianza simultáneo de tukey al 95% de todas las comparaciones en pareja del contenido de ácido oxálico de los almidones, donde los intervalos no contienen cero, lo que indicaría que las medias correspondientes son significativamente diferentes entre las muestras de almidones.

#### 4.2.3. Determinación del índice de blancura (WI)

En la Tabla 21, se presentan los resultados de la medición de color e índice de blancura de las muestras de almidones de oca, kaya y uma kaya; donde el parámetro  $L^*$  representa la luminosidad de valores que van de 0 a 100 (0=negro y 100=blanco), para  $a^*$  los valores se traducen  $a^*$ =color rojo y  $-a^*$ = color verde, y por ultimo para  $b^*$  representa desde  $b^*$ =color amarillo y  $-b^*$ =azul, a partir de estos parámetros se calculó el índice de blancura.

**Tabla 21: Resultados de la medición del color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y el índice de blancura (WI).**

Muestras	Parámetros de color			Índice de blancura (WI)
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	
ALMIDÓN DE OCA	92.26 ± 1.62	0.37 ± 0.03	3.86 ± 0.22	91.26 ± 1.46 <sup>a</sup>
ALMIDÓN DE KAYA	88.98 ± 2.78	0.55 ± 0.08	4.28 ± 0.39	85.30 ± 2.53 <sup>b</sup>
ALMIDÓN DE UMA KAYA	90.55 ± 1.21	0.14 ± 0.07	3.33 ± 0.25	89.96 ± 1.05 <sup>a</sup>

Las letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, p-valor<0.05).

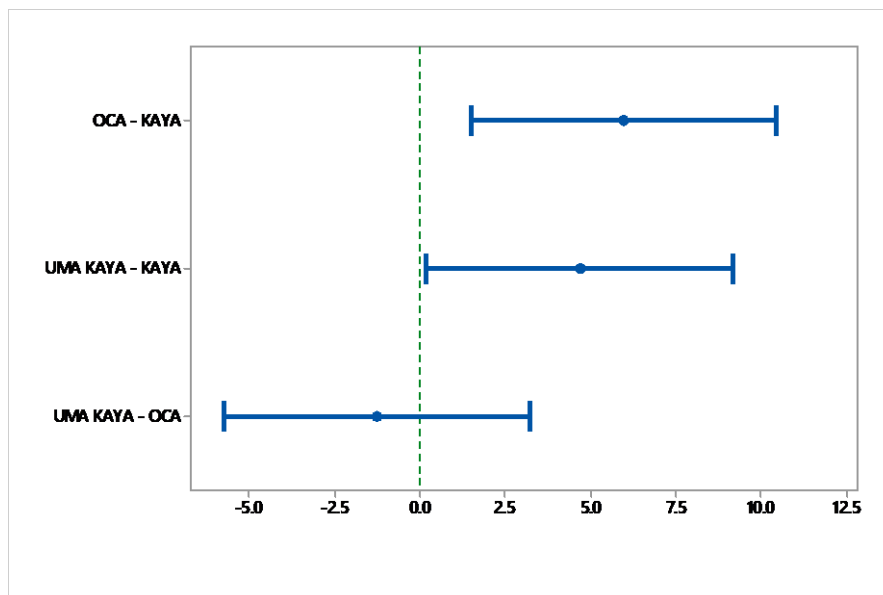
De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio los almidones procedentes de oca, kaya y uma kaya presentan una blancura (WI) de 85.30 a 91.26 y luminosidad ( $L^*$ ) de 88.98 a 92.19. Según Tabla 33 ANOVA (Anexo 7) existen diferencias significativas (p-valor<0.05) en los índices de blancura de las muestras de almidones; asimismo, según la comparación múltiple Tukey en la Tabla 34 (Anexo 7) se muestra una clasificación por categorías, donde los almidones de oca (91.26) y uma kaya (89.96) presentan mayor índice de blancura, seguido del almidón del almidón de kaya (85.30).

Arévalo (2017) y López (2017) reportaron índices de blancura menores a los obtenidos en este estudio de 83.88 y 81.88 respectivamente en almidones de oca,. Sin embargo, mayores valores fueron reportados por Cuba (2021) para almidones de papa y tunta que oscilaron entre 93.15 a 96.59; asimismo Ramos (2023) reportó índices de blancura de 97.72 y 96.41 en almidones de dos variedades de papa.

Los datos obtenidos en esta investigación sobre los parámetros de color en almidones de oca, kaya y uma kaya demuestran que los valores  $L^*$  (88.98 a 92.19) indican blancura, los valores de  $a^*$  (0.14 a 0.55) tienden a cero, es decir indican una tendencia al color neutro (Cuba, 2021) y  $b^*$  (3.33 a 4.28) donde reporto valores positivos (amarillo) señalaría que en las muestras de

almidón hubo presencia de pigmentos amarillos propios de la pulpa del tubérculo, ya que se trabajó con una variedad amarilla (Arévalo, 2017; Cuba, 2021), de igual manera tanto Arévalo (2017) como López (2017) justifican que sus valores fueron influenciados por la presencia de antocianinas y otros compuestos de color presente en la pulpa y la cascara. En el proceso de extracción se pudo observar que estos pigmentos permanecieron en la kaya y en menor proporción en la uma kaya. Falade y Christopher (2015) siendo amplio el uso de almidones en formulaciones, estos deben contener bajos niveles de pigmentos, ácido ascórbico, polifenóles y proteínas, porque impartirían colores extraños.

Se mencionan una variedad de propiedades físicas clave para el almidón, pero las que juega un papel importante es el color e índice de blancura, consideradas por la industria alimentaria como control de calidad (Barraza-Jáureguí y Siche, 2021). Los almidones de kaya y uma kaya muestren valores por debajo del almidón de oca, tal vez al elaborar la kaya y uma kaya hubo propagación del color de la cascara de oca al endospermo durante los diversos procesos aplicados (Falade y Christopher, 2015).



**Figura 21: Comparación de las medias para el índice de blancura**

En la Figura 21, podemos observar intervalos de confianza simultáneo tukey al 95% de todas las comparaciones en pareja para índice de blancura de las muestra de almidones, donde un

intervalo si contienen cero, lo que indicaría que las medias correspondientes a las muestras de almidones de umakaya-oca no muestran diferencias significativas, a diferencia de las medias de oca-kaya y umakaya-kaya, estas ultima si muestran diferencias significativas entre si.

Los resultados de C\* (croma) y H\* (tono) de las muestras de almidones.

**Tabla 22: Resultados de croma/saturación C\* y matiz/tonalidad H\***

Muestras	Parámetros de color			C*	H*
	L*	a*	b*	Croma/Saturación	Matiz/tonalidad
AO	92.19 ± 1.62	0.37 ± 0.03	3.86 ± 0.22	3.88 ± 0.22	84.53 ± 0.10
AK	88.98 ± 2.78	0.55 ± 0.08	4.28 ± 0.39	4.32 ± 0.37	82.64 ± 1.56
AUK	90.55 ± 1.21	0.14 ± 0.07	3.33 ± 0.25	3.33 ± 0.25	87.70 ± 1.06

Nota: AO=almidón de oca, AK=almidón kaya, AUK=almidón uma kaya.

Según Talens (2017) el color de los alimentos se describe en base a tres atributos; luminosidad, tonalidad y pureza de color. La croma (C\*) mide la pureza o saturación de un color, describe que el valor cero es acromático, mientras que el valor alto indica alta saturación. El ángulo de tono (H\*) es el parámetro que indica el matiz del color, denotando su posición relativa con relación al punto de origen 0° en un círculo fraccionado en 360°, el punto 0° es la posición de valor a\* positiva se encuentra el color rojo, b\* positiva de color amarillo puro está en el ángulo 90°, verde puro en 180° y azul puro en 270°, para especificar el tono correcto mediante la ecuación de H\*.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para las muestras de almidones, se presentaron valores de C\* de 3.88, 4.32 y 3.33 respectivamente y para H\* valores de 84.53°, 82.64° y 87.70° respectivamente. En comparación con el estudio realizados por Montoya-López et al. (2012) en harina de trigo comercial de cuatro muestras tuvo promedios de 9.79 en C\* y 86.74° en H\* concluyendo así en el eje del rojo-verde a\*, una muestra con mayor valor a\* no se percibe como “mas rojo”; por otro lado, Kovac et al. (2024) es su estudio de caracterización del almidón de diferentes variedades de patata cultivadas en Croacia, obtuvo valores de C\* en un rango de 2.41 a 3.17 y en H\* de 109.16 a 122.36. El parámetro de C\* expresa la saturación de color y el valor mas alto se presentó en el almidón de kaya. El parámetro H\* representa el tono de color expresado en °, según los resultados obtenidos, mostrados en la Tabla 22, se puede observar que todas las muestras se encuentran en el dominio rojo.

### **4.3. COMPARAR LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS (COMPORTAMIENTO DE PASTA, VISCOELASTICIDAD) Y TÉRMICAS DE LOS ALMIDONES EXTRAÍDOS A PARTIR DE OCA, KAYA Y UMA KAYA.**

#### **4.3.1. Comportamiento de pasta**

Los resultados obtenidos de las curvas de formación de pasta para los almidones de oca, kaya y uma kaya, se muestran en la Figura 22, los cuales muestran curvas de perfil más achatado y no se apreciaron picos notorios para almidones de kaya y uma kaya, las propiedades de pastas resultantes se encuentran en la Tabla 23.

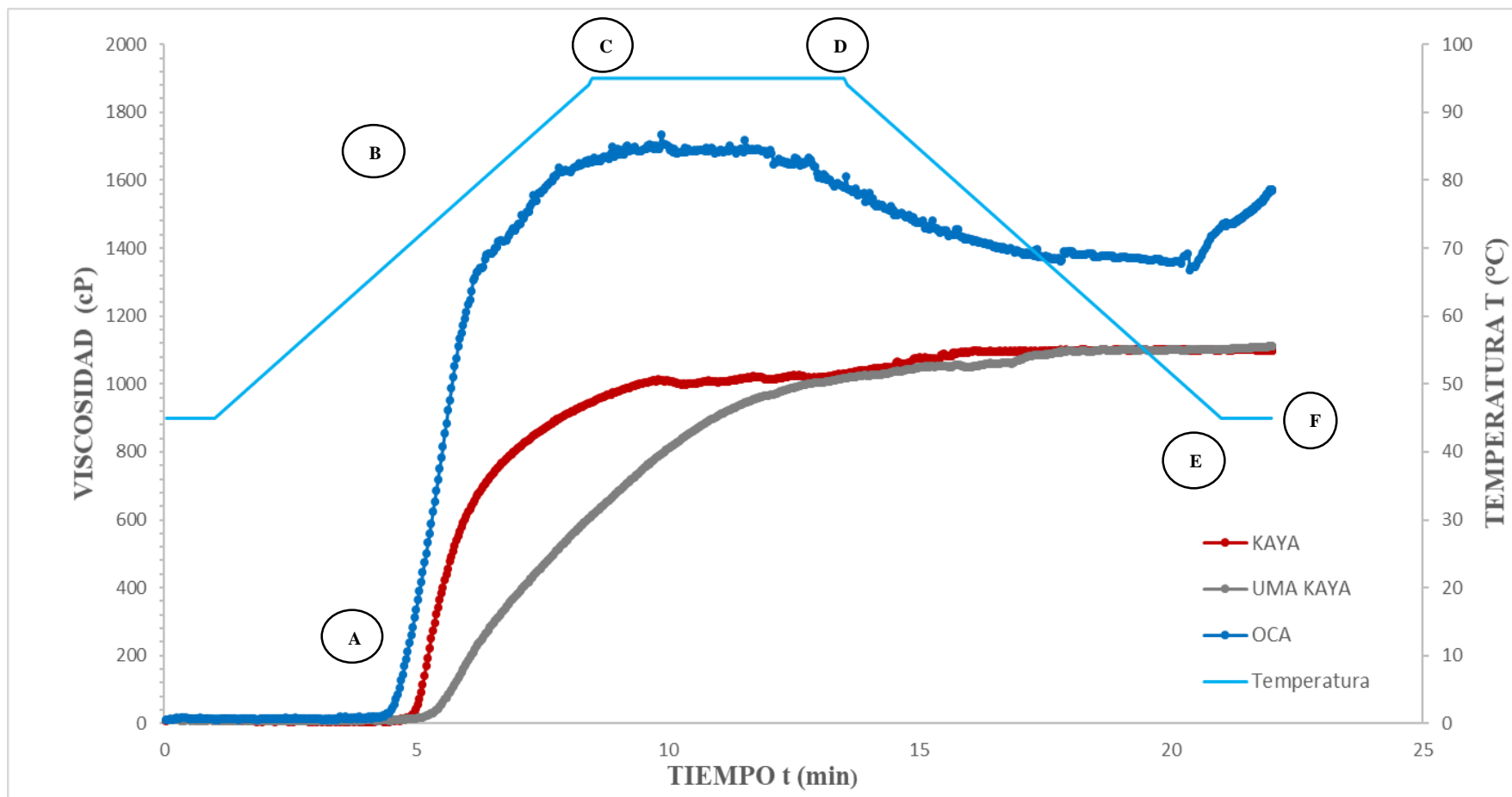
En Figura 22, se observan los resultados de las pruebas de empaste en almidones de oca, kaya y uma kaya. La muestra que respondió mejor a las rampas de temperatura, la fricción y fuerza de cizalla es la pasta del almidón de oca, ya que su curva presento los picos mas altos en comparación a las pastas de kaya y uma kaya, tuvo mejor estabilidad a la retrogradación. Por otro lado, si bien los almidones de kaya y uma kaya no tuvieron una viscosidad pico más pronunciada, sus curvas tuvieron un comportamiento más estable durante el aumento de la temperatura, la viscosidad crecía incluso cuando comenzó a disminuir la temperatura. Las pastas de kaya y uma kaya presentaron un comportamiento estable en la etapa de enfriamiento, caso contrario presento el almidón de oca, que luego de alcanzar su pico máximo en la curva tiende a caer en la rampa donde la temperatura disminuye, posiblemente este fenómeno no deseable esté relacionado con la ruptura de la estructura de los gránulos de almidón, aspecto que en la aplicación del almidón es indeseable (Castillo, 2017).

En la Tabla 23, se detallan las propiedades de las curvas de pastas para los almidones en estudio.

**Tabla 23: Propiedades de curvas de pastas de los almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Propiedades	Muestras		
	ALMIDÓN DE OCA	ALMIDÓN DE KAYA	ALMIDÓN DE UMA KAYA
<b>A: Temperatura de gelatinización (°C)</b>	67.27 ± 1.17 <sup>b</sup>	71.35 ± 0.24 <sup>a</sup>	73.66 ± 0.54 <sup>a</sup>
<b>B: Viscosidad máxima o pico (cP);</b>	1739.50 ± 62.93 <sup>a</sup>	1043.00 ± 9.90 <sup>b</sup>	849.85 ± 46.60 <sup>c</sup>
<b>C: Viscosidad a 95°C (cP);</b>	1727.25 ± 104.30 <sup>a</sup>	946.85 ± 13.08 <sup>b</sup>	611.40 ± 43.98 <sup>c</sup>
<b>D: Viscosidad 95°C, 5 min (cP)</b>	1368.46 ± 6.71 <sup>a</sup>	1006.55 ± 5.40 <sup>b</sup>	877.91 ± 42.56 <sup>c</sup>
<b>E: Viscosidad a 45°C (cP)</b>	1413.90 ± 70.29 <sup>a</sup>	1102.00 ± 4.24 <sup>b</sup>	1105.50 ± 64.35 <sup>b</sup>
<b>F: Viscosidad final (cP)</b>	1576.93 ± 23.94 <sup>a</sup>	1102.50 ± 4.95 <sup>b</sup>	1107.50 ± 64.35 <sup>b</sup>
<b>Breakdown (descomposición) (cP)</b>	371.04 ± 69.64 <sup>a</sup>	6.45 ± 4.50 <sup>b</sup>	0.28 ± 0.40 <sup>b</sup>
<b>Setback: (retrogradación) (cP)</b>	208.47 ± 30.65 <sup>a</sup>	95.95 ± 0.45 <sup>b</sup>	109.59 ± 6.50 <sup>b</sup>

Las letras diferentes indican en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, p-valor<0.05).



**Figura 22: : Curvas de formación de pastas de almidones de oca, kaya y uma kaya.**

En la Tabla 23, se presenta los resultados obtenidos de las curvas de gelatinización de las muestras de almidones de oca, kaya y uma kaya, dichas propiedades reportaron valores de A: 67.27 a 73.66 °C, B: 849.85 a 1739.50 centipoise, C: 611.40 a 1727.25 centipoise, D: 877.91 a 1368.46 centipoise, E: 1105.50 a 1413.90 centipoise, F: 1107.50 a 1576.93 centipoise, breakdown 0.28 a 371.04 y setback 95.95 a 208.47. Según ANOVA (Anexo 8) existen diferencias significativas ( $p$ -valor $<0.05$ ) en las propiedades de curvas de pastas de los almidones de oca, kaya y uma kaya; asimismo según la comparación múltiple de Tukey (Anexo 8) los almidones de oca presentan mayor viscosidad, seguido del almidón de kaya y uma kaya.

Para las pastas de almidones de oca, kaya y uma kaya la temperatura de gelatinización presentaron valores entre 67.27°C a 73.66 °C, los cuales fueron cercanos a los resultados obtenidos por Sandhu et al. (2015) en almidones de papa de 67.0°C y 67.9 °C; sin embargo, valores superiores fue reportado por Cuba (2021) para almidones de papa y tunta en rangos de 53.76 C° a 56.19 C°; al igual que Velásquez (2019) y Apaza (2018) quienes trabajaron con pastas de almidón de oca con temperaturas de gelatinización de 57.99°C y 52.7°C. Por otro lado valores superiores fueron reportados por Salgado-Ordosgoitia et al. (2019) entre 80.43 °C a 84.03 °C para almidones de tres variedades de ñame.

De acuerdo a los resultados de temperatura de gelatinización, el almidón de oca, presenta menor temperatura de gelatinización, esto indicaría que la pasta de este almidón necesita menor tiempo de cocción y los procesos como el hinchamiento, absorción de agua y gelificación se presentan primero en esta muestra (Salgado-Ordosgoitia et al. 2019), caso contrario sucede en almidones de kaya y uma kaya al presentar mayores temperaturas de gelatinización demoran en formarse las pastas. La temperatura de gelatinización de un almidón está sujeta a factores como la proporción de amilosa/amilopectina lo que retrasaría el hinchamiento del almidón, tamaño de gránulo, pH u origen botánico del almidón (Martínez et al., 2019b; Ordosgoitia et al., 2019).

Durante el estudio del comportamiento de pastas, hay un aumento considerable de la viscosidad, se da principalmente por apertura de la estructura del almidón, lixiviación de la amilosa, hinchamiento de los gránulos y la unión de moléculas de agua con cadenas de almidón, asimismo, se le denomina pasta de almidón a la muestra después de la gelatinización (Joye, 2019).

Los resultados para la viscosidad máxima o pico de las muestras de almidones de oca, kaya y una kaya fueron de 1739.50, 1043.00 y 849.85 centipoise respectivamente. Se puede observar una notoria reducción de la viscosidad en las pastas de kaya y una kaya con respecto a la pasta de oca, posiblemente los procesos de congelado-descongelado llegaron a influir en esta propiedad. Similares características fueron descritas en el estudio realizado por Cuba (2021) quien concuerda que hubo disminución de la viscosidad producto del congelado-descongelado en los almidones de tunta (2255.8-2555.26 cP) con respecto a los almidones de papa (5554.85-5939.17 cP). El descenso de la viscosidad probablemente se dio por la presencia de almidón dañado, esto afectaría las cadenas internas de amilopectina (Zhang et al. 2018; Cuba, 2021) y el almidón perdería la capacidad de retener agua (Cuba, 2021). Las pastas que presenten curvas con altura y picos elevados están relacionados a la concentración inicial del almidón, al alto contenido de amilosa y ésteres de fosfato, los cuales generan repulsión entre cadenas de almidón permitiendo el fácil ingreso del agua a los gránulos (Singh, Colussi, McCarthy, y Kaur, 2016).

Según Przetaczek-Roz (2017) la industria alimentaria considera a la viscosidad final como la de mayor importancia entre los parámetros de reología. Los resultados de viscosidad final en este estudio fueron de 1576.93, 1102.00 y 1107.50 centipoise para almidones de oca, kaya y una kaya respectivamente. Elevados niveles de viscosidad final fueron hallados en los trabajos realizados por Salgado-Ordosgoitia et al. (2019) (2161-4226 cP, para almidones de tres variedades de ñame), Cuba (2021) (1340.86-1869.55 cP, para almidones de papa y tunta) y Apaza (2018) (2092 cP, en almidón de oca). En cambio, Velásquez (2019) reportó valores menores de viscosidad final para el almidón de oca de 223 centipoise. La viscosidad final permite evaluar si una pasta presenta estabilidad a la agitación, a la cocción, al enfriamiento y si es capaz de formar una pasta o gel (Apaza, 2018; Mínguez, 2012). Los valores de viscosidad final para las pastas de almidones de kaya y una kaya fueron significativamente más bajos frente a la pasta del almidón de oca, probablemente estos valores reportados para los almidones de kaya y una kaya reflejen un mayor contenido de almidón dañado y esto derive a la formación de geles más débiles (Cuba, 2021).

En cuanto a breakdown o descomposición las muestras presentaron valores menores a los reportados por Salgado-Ordosgoitia et al. (2019) (70.66-493 cP, para almidones de tres variedades de ñame), Cuba (2021) (1547.67-5123.41 cP, para almidones de papa y tunta) y

Apaza (2018) (4326 cP, en almidón de oca), se puede observar que para esta propiedad la viscosidad puede variar ampliamente, que durante la agitación continua y calentamiento los gránulos de almidón llegan a desorganizarse con facilidad, esto se ve reflejado en mayores valores de descomposición. Para los almidones de oca, kaja y una kaja, las pastas de almidón de oca fueron desorganizadas fácilmente reportando mayor viscosidad en esta propiedad, es decir, las pastas de almidones de kaja y una kaja presentaron estabilidad a las fuerzas mecánicas y al calentamiento, dicha estabilidad podría estar asociada a los procesos congelado y descongelado, ya que según Yassaroh y Woortman, (2019) y Zhang, Han, y Lim, (2018) señalan que la estabilidad de un almidón fue mejorando con tratamientos físicos de congelado-descongelado.

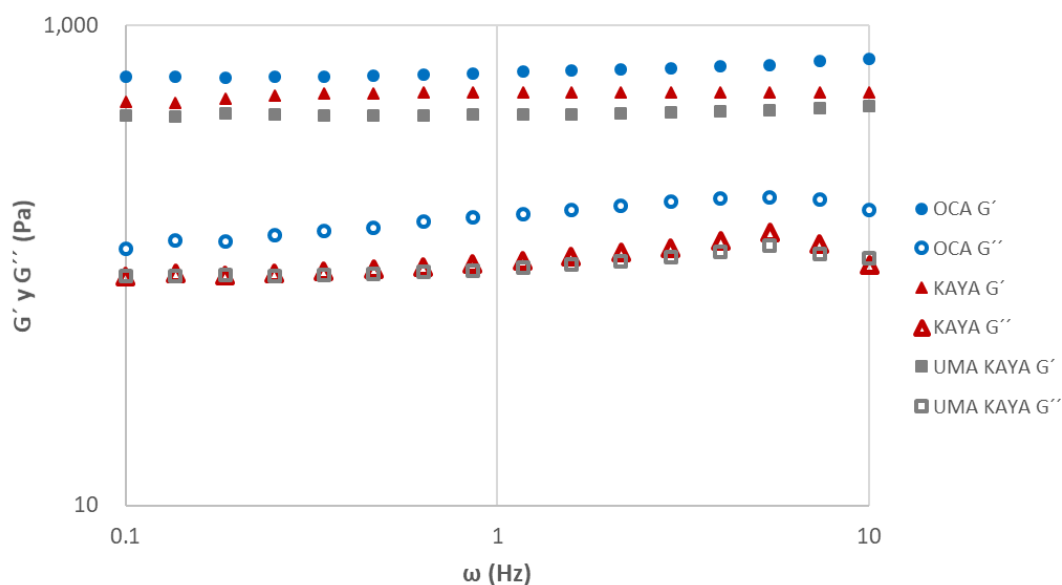
Durante la etapa de enfriamiento y almacenamiento las moléculas empiezan a re-asociarse lentamente (Cuba, 2021), es donde se da comienzo a la retrogradación o setback, que inicia con la cristalización de las cadenas de almidón, la pasta comienza a endurecerse y se da el fenómeno de sinéresis (Aristizábal y Sánchez, 2007). Los resultados obtenidos sobre la retrogradación de los almidones de oca, kaja y una kaja fueron de 208.47, 95.95 y 109.59 centipoise respectivamente, estos valores son inferiores a los reportados por Cuba (2021) (632.73-1017 cP, para almidones de papa y tunta), Apaza (2018) (738 cP, en almidón de oca), Velásquez (2019) (920 centipoise en almidón de oca) y Salgado-Ordosgoitia et al. (2019) (865-1967cP, para almidones de tres variedades de ñame). La retrogradación dependerá de diversos factores, pero la que imparte características definitivas sobre las propiedades funcionales es el contenido de amilosa/amilopectina; la amilosa presenta pastas con mayor tendencia a retrogradarse asociadas al fenómeno de sinéresis y la amilopectina con pastas que no se retrogradan fácilmente (Alvis et al., 2008). Otro de los factores que pudo haber influido es el congelado-descongelado, dado que, las pastas de kaja y una kaja reportaron valores inferiores en comparación con la pasta del almidón de oca, se señala que congelado-descongelado llegó a restringir la retrogradación, pero también disminuyó la capacidad de gelificación (Karwasra et al., 2017). Según Cuba (2021), la liofilización natural en almidones permite que la viscosidad se mantenga durante los procesos que involucren el bombeo en caliente del almidón.

Las propiedades de pasta de almidones están influenciadas por variables como; proporción amilosa/amilopectina, estructura de amilopectina (cadena tipo B), compuestos no amiláceos (lípidos y grupos fosfatos), tamaño y poder de hinchamiento de los gránulos, y las condiciones

en las que se realizaron a la medición (concentración, tasa de calentamiento, entre otros) (Cuba, 2021; Zhu y Cui, 2020; Martínez et al., 2015).

#### 4.3.2. Viscoelasticidad

la Figura 23, muestran los barridos de frecuencia para los módulos de almacenamiento ( $G'$ ) y pérdida ( $G''$ ) en las pastas de almidones de oca, kaya y uma kaya.



**Figura 23: Barridos de frecuencia para almidones de oca, kaya y uma kaya.**

En las pruebas viscoelásticas como se observa en la Figura 23, hay predominio del módulo de almacenamiento o elástico ( $G'$ ) sobre el módulo de pérdida o viscoso ( $G''$ ), es decir, influye más el carácter elástico sobre el viscoso ( $G' > G''$ ) para los almidones de oca, kaya y uma kaya.

Similares comportamientos viscoelásticos fueron descritos en investigaciones anteriores, investigaciones como la de Barreto y Velezmoro (2018) en almidones de oca, mashua y olluco; Cuba (2021) para almidones de papa y tunta; Glorio et al. (2009) en almidones de oca. Para la gran mayoría de almidones procedentes de tubérculos presentan uniformidad del predominio elástico. Los componentes que llegarían a influir en la viscoelasticidad de los almidones es la proporción de amilosa y amilopectina, altos niveles de amilosa forma pastas con estructuras firmes y transparentes, la amilopectina proporcionaría pastas con plasticidad y elásticas (Villanueva et al., 2018; Choque-Quispe et al., 2024).

### 4.3.3. Propiedades térmicas

En la Tabla 24, se muestran las propiedades térmicas de los almidones de oca, kaya y uma kaya, donde se registra temperatura inicial ( $T_0$ ), temperatura pico (gelatinización) ( $T_p$ ), temperatura final ( $T_f$ ) y entalpia ( $\Delta H$ ).

**Tabla 24: Propiedades térmicas de almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Muestras	$T_0$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_f$ (°C)	$\Delta H$ (Jg)
ALMIDÓN OCA	46.92	55.09	58.81	11.96
ALMIDÓN DE KAYA	49.55	57.30	65.80	18.76
ALMIDÓN DE UMA KAYA	50.32	59.86	70.06	13.58

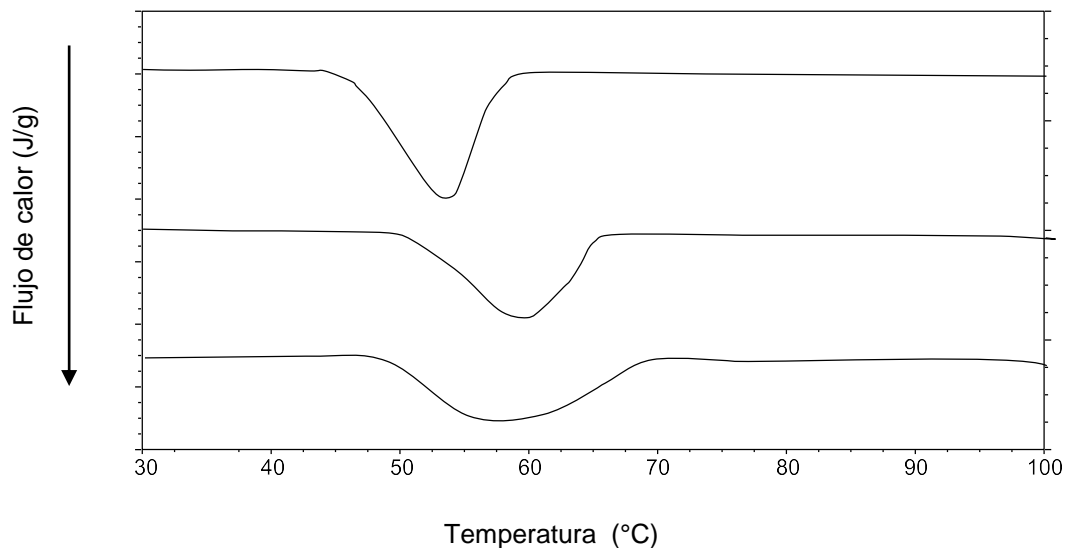
Las muestras de almidones reportaron valores de temperatura inicial ( $T_0$ ) en un rango de 46.92°C a 50.32°C, temperatura pico ( $T_p$ ) de 55.09°C a 59.86°C, temperatura final ( $T_f$ ) de 58.81°C a 70.06°C ( $T_f$ ) y entalpia de gelatinización ( $\Delta H$ ) de 11.96 a 18.76 J/g ( $\Delta H$ ). La procedencia del almidón afecta significativamente los valores obtenidos en las propiedades térmicas de los almidones de oca, kaya y uma kaya.

Los resultados obtenidos en este estudio sobre las propiedades térmicas del almidón de oca, se asemejan a lo reportado por Apaza (2018) (  $T_0= 46.92^\circ\text{C}$ ,  $T_p= 55.09^\circ\text{C}$ ,  $T_f= 58.81^\circ\text{C}$  y  $\Delta H =11.96$  J/g en almidón de oca), pero menores a lo reportado por Valcárcel-Yamani et al. (2013) (  $T_0= 50.26^\circ\text{C}$ ,  $T_p= 55.17^\circ\text{C}$ ,  $T_f= 63.91^\circ\text{C}$  y  $\Delta H =9.66$  J/g en almidón de oca) y Velásquez-Barreto et al. (2021) (  $T_0= 53.47^\circ\text{C}$ ,  $T_p= 58.30^\circ\text{C}$ ,  $T_f= 70.42^\circ\text{C}$  y  $\Delta H =15.98$  J/g en almidón de oca amarilla). Por otro lado, las temperaturas de gelatinización y entalpias obtenidas para los almidones de kaya y uma kaya se aproximaron a los rangos reportados por Cuba (2021) para almidones de tunta (  $T_0=54.69-56.45^\circ\text{C}$ ,  $T_p=58.36-60.32$ ,  $T_f=64.40-66.38^\circ\text{C}$  y  $\Delta H =15.70-16.53$  J/g ) y Marquez (2022) (  $T_0=54.59-54.98^\circ\text{C}$ ,  $T_p=58.36-58.69$ ,  $T_f=64.40-64.67^\circ\text{C}$  y  $\Delta H =15.70-16.08$  J/g para lamidones de tunta), no obstante valores mayores valores fueron reportado por Chilon y Mamani (2019) para almidones de chuño y tunta (  $T_0=59.25$  y  $60.70^\circ\text{C}$ ,  $T_p=63.69$  y  $65.21$ ,  $T_f=69.89$  y  $72.28$  C y  $\Delta H =13.62$  y  $14.09$  J/g ).

Tanto las temperaturas de gelatinización y entalpia de gelatinización se ven afectadas por una serie de factores como; contenido de amilos/amilopectina, longitud de cadena de amilopectina,

tamaño y forma de gránulo de almidón, estado de madurez del tubérculo, procedencia del almidón, variedad, así como condiciones ambientales (daño mecánico, cambios climáticos, presión, otros) y variación en la metodología y condiciones experimental (preparación de la muestra, humedad, velocidad de calentamiento del instrumento) (Valcárcel-Yamani et al. 2013; Velásquez, 2019; Apaza 2018; Cuba, 2021). Rangos amplios de gelatinización indica lenta lixiviación de cadenas de amilosa (Martínez et al., 2019b).

Al transformar la oca en kaya y una kaya repercutieron en las propiedades térmicas, esto posiblemente se deba al efecto del congelado-descongelado sobre la organización cristalina (estructura ordenada de largo alcance) y la cantidad de doble hélice (estructura de corto alcance) que llegaron a modificarse ampliamente, presentando mayor almidón dañado. La expansión del gránulo influenciado por el hielo, tanto al interior como los canales de la pared del gránulo, alteraron la superficie e interior del gránulo (Cuba, 2021)



**Figura 24: Termograma de almidones de oca, kaya y una kaya**

En la Figura 24, nos muestran termogramas de las muestras de almidones, empieza con un pico endotérmico que se sitúa sobre la línea de la base de dicho termograma, este pico suave se le atribuye a la  $T_0$  (46.92 a 50.32 °C), luego se observa  $T_P$  que registrar los valores más elevados de absorción de calor para las muestra de almidones (55.09 a 59.86) y la  $T_f$  se presenta cuando el proceso termina. En cuanto a la entalpia de gelatinización ( $\Delta H$ ) representa la energía necesaria para que el proceso pueda completarse y se calcula como el área bajo la curva.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Respecto a la comparación de los porcentajes de almidones extraídos, la kaya reportó altos porcentajes de rendimiento con un 14.16 por ciento, seguido de la uma kaya con un 8.62 por ciento y por último la oca con 4.15 por ciento.
- El efecto de la transformación de la oca en kaya y uma kaya influyo significativamente en las características fisicoquímicas de las muestras de almidones de oca, kaya y uma kaya, El almidón de oca reportó un mayor contenido de amilosa de 26.45 %. En el contenido de ácido oxálico se reportaron valores mínimos. En cuanto al índice de blancura las muestras de almidones presentaron valores en un rango de 85.30 a 91.26.
- En cuanto a las propiedades reologicas y térmicas de los almidones oca, kaya y uma kaya, la curva de pasta del almidón de oca presentó una temperatura de gelatinización menor y mayores niveles de viscosidad a diferencia de los almidones de kaya y uma kaya quienes presentaron menores valores de viscosidad. La viscoelasticidad para los almidones de oca, kaya y uma kaya, predomina el comportamiento elástico (G') sobre el viscoso (G"). Por último, en las propiedades térmicas de los almidones de kaya y uma kaya, reportaron valores mayores de temperaturas y entalpia de gelatinización a comparación del almidón de oca, esto debido a que los procesos de congelado/descongelado llegaron a modificar los almidones.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Evaluar las propiedades morfológicas de los almidones mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (MEB).
- A partir de la oca variedad amarilla, realizar estudios de extracción de colorantes y sus posibles aplicaciones.
- Se recomienda la aplicación de los almidones ya sea como aditivo en la elaboración de diversos productos terminados como bebidas u otros, evaluando las características que le proporciona.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abedi, E., Sayadi, M., & Pourmohammadi, K. (2022). Effect of freezing-thawing pre-treatment on enzymatic modification of corn and potato starch treated with activated  $\alpha$ -amylase: Investigation of functional properties. *Food Hydrocolloids*. Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107676>
- Agama-Acevedo, E., Bello-Pérez, L., Pacheco-Vargas, G., & Evangelista-Lozano, S. (2015). Estructura interna de los granulos de almidón de platano mediante gelatinización química superficial: propiedades morfológicas ,físicoquímicas y moleculares. . *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Aguilar, M. (2019). *Evaluación de las características fisicoquímicas y aceptación general de cjava obtenida por dos métodos a partir de la oca (Oxalis tuberosa)*. Huancavelica, Perú.
- Ahmed, S., Zhou, X., Pang, Y., Xu, Y., Tong, C., & Bao, J. (2018). Genetic diversity of potato genotypes estimated by starch physicochemical properties and microsatellite markers. *Food Chemistry*, 257:368-375. doi:10.1016/j.foodchem.2018.03.029
- Alucho, J., & Ramos, S. (2022). *Efecto del tiempo de inmersión y tipo de secado en el proceso de tunta en variedades de papas (Solanum tuberosa) ecuatorianas*. Guaranda, Ecuador.
- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *SciELO*. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>
- Americas, k. M. (2006). *konica minolta*. Obtenido de konica minolta sensing americas, Inc: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/about-us/company-profile/>
- Antay, R. (2018). *Influencia de stree y la temperatura de almacenamiento en la variación del ácido oxálico, azúcares reductores y pérdida de peso en tres variedades de oca (Oxális tuberosa Mol)*. Adahuaylas, Apurímac.
- Apaza, B. (2018). *Extracción y caracterización del almidón de oca (Oxalis tuberosa) de la variedad k'ellu kamusa*. Universidad Peruana Union, Juliaca.
- Arbizu, C., & Tapia, M. (1992). *Tubérculos andinos. En: Cultivos marginados, otras perspectiva de 1492 (Vol. 26)*. (J. H.-J. León, Ed.) España.
- Arenas, C., & Pedraza, D. (2017). *Evaluación del proceso de modificación de almidón de papa mediante acetilación y oxidación, para su aplicación como excipiente en la industria farmacéutica a nivel laboratorio*. Bogota. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6043/1/6111689-201-1-IQ.pdf>
- Arévalo, A. (2017). *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y térmicas del almidón de oca (oxalis tuberosa)*. Universidad nacional de trujillo, Trujillo.

- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO.*
- Arotoma, E. (2022). *Efecto de la adición de kaya en las características sensoriales.* Huancavelica. Perú.
- Arzapalo, D., Huamán, J. K., Quispe, M., & Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) negra collana, pasankalla roja y blanca de junin. *Scielo*, 44-54. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n1/a06v81n1.pdf>
- ASTM D3418, I. (2021). *Standard Test Method for transition temperatures and enthalpies of fusion and crystallization of polymers by differential scanning calorimetry.* Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/110553/95e911a8c47d41feb23a910c43f6bcb6/ASTM-D3418-21.pdf>
- Barraza-Jáureguí, G., & Siche, R. (2021). Almidon de semilla de palta: Optimización del índice de blancura durante el proceso de extracción. *Agroindustrial Science*, 11(1): 81-85.
- Beca, M. (2017). *Efecto del fritado en la obtencion de chips de oca (Oxalis tuberosa mol).* Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de ciencias agrarias, Puno. Recuperado el 15 de 03 de 2024, de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3883/52387.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos.* Pamplonas: Ediciones Díaz de Santos.
- Bernabé, Y., & Cancho, F. (2017). *Caracterización fisicoquímica, fitoquímica y funcional de la harina de khaya y oca (Oxalis tuberosa) para uso industrial.* Universidad Nacional Del Centro Del Centro Del Perú, Huancayo.
- Bertoft, E., Annor, G., Shen, X., Rumpagaporn, P., Seethraman, K., & Hamaker, B. (2016). Small differences in amylopectin fine structure may explain large functional differences of starch. *Carbohydrate Polymers*, 140: 113-121. Obtenido de 10.1016/j.carbpol.2015.12.025
- BID-ADEX-RTA. (2001). *Ficha de requisitos técnicos de acceso al mercado de EE.UU. Chuño Blanco.*
- Cáceres, M., & Valerio, M. (2021). *Secado solar y de bandejas en el contenido de azúcares reductores y de ácido oxálico de oxalis tuberosa.* Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote. Obtenido de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3883/52387.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caiza, C. (2010). *Elaboración y valoración nutricional de tres productos alternativos a base de oca (oxalis tuberosa) para escolares de proyecto runa kawsay.* Riobamba.
- Cajamarca, E. (2010). *Evaluación nutricional de la oca (oxalis tuberosa sar-oca) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas.* Riobamba-Ecuador.
- Campos, D., Chirino, L., Gálvez, L., & Pedreschi, R. (2018). Bioactive Potential of Andean Fruits, Seeds, and Tubers. *Advances in food and Nutrition Research. Elsevier*, 287-343.

- Cardenas, L. (2018). *Niveles de glicoalcaloides durante la elaboracion del chuño negro a partir de la papa amarga solanum juzepczukii y solanum curtilobun*. Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa.
- Castanha, N., Nascimento, D., Lopes, R., & Duarte, P. (2019). Properties and possible applications of ozone-modified potato starch. *Food Research International*, 116:1192-1201. doi:10.1016/j.foodres.2018.09.064
- Castañeda, G., Castañeda, R., & Peñarrieta, J. (2022). Cambios fisicoquímicos por exposicion a la radiación solar en tubérculos de oxalis tuberosa, "oca" cultivados en Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 39, 44-55.
- Castillo, C. (2017). *Caracterización reológica y fisicoquímica de pastas y geles obtenidos del almidón de tres variedades de papa nativa (Solanum spp.)*. Puno, Perú.
- Chen, B., Zhang, B., Li, M., Xie, Y., & Chen, H. (2018). Effects of glutenin and gliadin modified by protein-glutaminase on pasting, rheological properties and microstructure of potato starch. *Food Chemistry*, 253:148-155. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.034
- Chilon, F., & Mamani, R. (2019). *Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño*. Universidad Peruana Unión, Escuela Profesional de Ingenieria de Alimentos, Lima.
- Chilon, F., & Mamani, R. (2019). *Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño*. Universidad Peruana Union, Lima.
- Choi, D., & Chang, Y. (2012). Steady and dynamic shear rheological properties of buckwheat starch-galactomannan mixtures. *Preventive Nutrition and Food Science*, 17(3):192.
- Choque-Quispe, D., Obregón, F., Carranza-Oropeza, M., Solano-Reynoso, A., Ligarda-Samanez, C., Palomino-Ríncón, W., . . . Torres-Calla, M. (2024). Physicochemical and technofunctional properties of high Andean native potato starch. *Journal of Agriculture and Food Research. Elsevier*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100955
- Chung, H., Li, X., Kalinga, D., Lim, S., Yada, R., & Liu, Q. (2014). Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food Research International*, 57: 89-94. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.034
- Chuquilin, R., Martinez, M., & Rodrigo, J. (2020). Propiedades Funcionales de Productos tradicionales Congelados y Secados al sol de Oca (Oxalis Tuberosa Molina) y Olluco (Ullucus Tuberosus Caldas): Una Revisión. *Universidad Nacional Autónoma de Huanta*, 2, 247-263.
- CIP, C. i. (17 de abril de 2016). *CIP, Centro internacional de la papa*. Obtenido de CIP, Centro internacional de la papa: <https://cipotato.org/es/raices-y-tuberculos/oca-ulluco-y-mashua/>
- Colonna, P., & Buleon, A. (2010). Starches: Characterization, Properties, and Applications. *Thermal transitions of starches*, 71-102.
- Coque-Quispe, D., Obregón, F., Carranza-Oropeza, M., Solano-Reynoso, A., Ligarda-Samanez, C., Palomino, W., . . . M., T.-C. (2024). Physicochemical and technofunctional properties of high

- Andean native potato starch. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100955>
- Correa, D., Castaño, M., & Montoya, J. (2017). Influencia del método de extracción en las propiedades funcionales de almidón de plátano dominico hartón (musa paradisiaca l.). *UGCiencia*, 23, 88-91. doi:<http://10.18634/ugcj.23v.0i.792>
- Cruz, G., Ribotta, P., Ferrero, C., & Iturriaga, L. (2016). Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Starch/Staerke*, 68, 1084-1094.
- Cruz, N., Villa, K., & Choque, G. (2019). Extracción y caracterización fisicoquímica y reológica del almidon de oca (*oxalis tuberosa*). *Proceedings science*.
- Cuba, A. (2021). *Caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de papa y tunta de tres variedades nativas amargas procedentes de llave-Puno*. tesis , Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de industrias alimentarias, Lima.
- DEIA, D. d., & DRA, D. A. (2023). *Boletín sistesis agrario*. Puno.
- Deka, D., & Sit, N. (2016). Dual modification of taro starch by microwave and other heat moisture treatments. . *International Journal of Biological Macromolecules*, 92, 416-422.
- Encinas, M. (2014). *Elaboración de una bebida a base de Lactosuero con la adición de fruta de la región*. . Iquitos – Peru.
- Enríquez, M., Velasco, R., & Fernández, A. (2013). Caracterización de Almidones de Yuca Nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. . *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 2(2), 21-30.
- Escarcena, R. (2020). *Efecto de congelación y secado de la oca (Oxalis tuberosa) sobre la capacidad antioxidante para la obtencion de la Kcaya"*. Universidad Nacional de juliaca.
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). Caracterización fisico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. En V. Barrera, C. Tapia, & A. Monteros, *Raíces y tubérculos andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (págs. 91-116). Lima, Perú.
- Estrada, M. (2017). *Parámetros operativos para la obtencion de jarabe de glucosa a partir de almidón de "Oca" (Oxalis tuberosa. M.) con enzimas  $\alpha$ -amilasa y amiloglucosidasa*. Ayacucho, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0dbc3126-53c6-47bd-9092-263d95e0900d/content>
- Estrada-León, R., Moo-Huchin, V., Ríod-Soberanis, C., Betancur-Ancona, D., May-Hernández, L., Carillo-Sánchez, F., & Cervantes-Uc, J. (2016). The effect of isolation method on properties of parota (*Enterolobium cyclocarpum*) starch. *Food*, 57:1-9. Obtenido de 10.1016/j.foodhyd.2016.01.008
- Falade, K., & Christopher, A. (2015). Physical, functional, pasting and thermal properties of flours and starches of six Nigerian rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, 44:478-490. Obtenido de 10.1016/j.foodhyd.2014.10.005

- FAO, & CIP, C. I. (2013). *Material de propagación de calidad declarada protocolos y normas para cultivos propagados vegetativamente*. Roma: Estudio FAO producción y protección vegetal.
- Fernández, A., & Rodrigues, E. (2007). *Etnobotánica del Perú pre-hispano*. Trujillo, Perú: Ediciones Herbarium Truxillense.
- Fernández, C. (2008). *Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/9160/1/T30942.pdf>
- Fonseca, C., Huarachi, E., Chura, W., & Cotrado, G. (2008). *Guía de las buenas prácticas de procesamiento para la producción artesanal de la tunta*. Puno, Perú. Obtenido de <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/004295.pdf>
- Fries, E. (2007). *Guía de campo de los cultivos de los Andinos*. Lima.
- Gałkowska, D., Pycia, K., Juszczak, L., & Pająk, P. (2014). Influence of cassia gum on rheological and textural properties of native potato and corn starch. *Starch-Stärke*, 66(11-12):1060-1070.
- García, M. (2001). *La agroindustria de la oca, alternativas viables para los fruticultores*.
- García, W., & Cadima, X. (2003). *Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: Síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia*. International Potato Center.
- Glorio, P., Bello-Pérez, L. A., Salas, F., & Buleje, E. (2009). Características viscoelásticas y estimaciones de masas moleculares en almidón de oca (*Oxalis tuberosum*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 265-276.
- Golachowski, A. (1985). Properties of starch obtained from potato tubers influenced by various temperatures. 37(8):263-266. doi:<https://doi.org/10.1002/star.19850370804>
- Good, H. (2002). *Measurement of colour in cereal products*. Cereal Foods World 4. Obtenido de <http://vertassets.blob.core.windows.net/download/aea0899d/aea0899d-28b3-4f06-88aa-71a7a00bc0f3/cereal.pdf>
- Guadrón, E. (2013). *Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (Musa sp. variedad cuadrado), para su uso en la industria de alimentos*. San Salvador. Obtenido de [https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Ingenieria%20de%20Alimentos/G%20DE%20DELGADO.pdf](https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Alimentos/G%20DE%20DELGADO.pdf)
- Hanco, Y. (2021). Evaluación de las propiedades térmicas en almidones de seis variedades de papas nativas del departamento de Puno. *Ñawparisun*, 65-72. doi:<https://doi.org/10.47190/nric.v3i3.8>
- Hermosa, G. (2013). *“Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (Tropaeolum tuberosum R&P) y oca (Oxalis tuberosa Mol)”*. Puno.
- Hernández-Lauzardo, A., Méndez-Montealvo, G., Velázquez Del Valle, M., Solorza-Feria, J., & Bello-Pérez, L. (2004). Isolation and partial characterization of Mexican Oxalis tuberosa starch. *Starch/Staerke*, 357-363.

- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 718-726.
- Hsu, C., Chen, W., Weng, Y., & Tseng, C. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, 85-92.
- Hu, X., Guo, B., Liu, C., Yan, X., Chen, J., Luo, S., . . . Wu, J. (2018). Modification of potato starch by using superheated steam. *Carbohydrate Polymers*, 198: 375-384. doi:doi:10.1016/j.carbpol.2018.06.110
- Huamani, E. (2018). *Extracción y caracterización del almidón de dos variedades de pituca (colocasia esculenta) de la región de ayacucho*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho. Recuperado el 15 de 03 de 2024, de [https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3331/1/TESIS%20IA278\\_Hua.pdf](https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3331/1/TESIS%20IA278_Hua.pdf)
- Hybrid, C. (16 de Marzo de 2024). *SCRIBD*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/512305842/VARIEDADES-DE-OCA>
- ICC, I. I. (15 de Marzo de 2018). *ICC. 162 International association for cereal science and technology*. Obtenido de ICC: <https://icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/162-standard-method>
- ISO 6721-10, I. O. (2015). *Plastics. Determination of dynamic mechanical properties. Part 10: Complex shear viscosity using a parallel-plate oscillatory rheometer*. Suiza. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/62159/3243bbb1e3cd4c80ac335c7ae3062718/ISO-6721-10-2015.pdf>
- ISO/WD 3219-2, I. O. (2021). *Rheology. Part 2: General principles of rotational and oscillatory rheometry*. Suiza. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/76033/2dd6d1d52eba4f1b9409d23b7f9327fb/ISO-3219-2-2021.pdf>
- Joye, I. (2019). Almidón. *Enciclopedia de química de los alimentos*. Elsevier, 256-264. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21586-2>
- Karwasra, B., Singh, B., & Kaur, M. (2017). Rheological and structural properties of starches from different Indian wheat cultivars and their relationships. *International Journal of Food Properties*, 20(1):1093-1106. doi:<https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1328439>
- Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R., & Guraya, H. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101(2):643-651.
- Kim, S., Wiesenborn, P., Orr, P., & Grant, L. (1995). Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*, 60(5):1060-1065.

- Leiva, C., & Obando, R. (2014). *Extracción de almidón a partir de variedades de papa cultivadas en nicaragua*. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua. Obtenido de <https://ribuni.uni.edu.ni/1472/1/40038.pdf>
- Lipa, Y., & Maquera, M. (2013). *Hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta para la obtención de jarabe de glucosa*. Puno, Perú.
- López, R. (2017). *Caracterización fisicoquímica de almidón procedente de camote (ipomoea batatas), arracacha (arracacia xanthorrhiza bancroft) y oca (oxalis tuberosa)*. Trujillo, Perú.
- Lucas-Aguirre, J., Velásquez-Herrera, J., & Quintero-Castaño, V. (2016). Evaluation of the thermal properties and composition starch extracted from 26 varieties of musa. *Vitae*, 5551-5556.
- Mamani, E. (2003). *Análisis de comercialización del chuño blanco del centro poblado de Chijichaya de la Provincia del Collao de Ilave periodo 2000*. Collao, Puno.
- Mamani, E. (2018). *Caracterización del manejo y conocimiento tradicionales asociados a la conservación in situ de tubérculos y granos andinos en santiago de okola-provincia Camacho, La Paz*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Marquez, M. (2022). *Efecto de la hidrólisis ácida sobre las propiedades de amidones obtenidos de dos variedades de papa amarga y tunta*. Lima, Perú.
- Martínez, O., Lapo-Calderón, B., Pérez-Rodríguez, J., Zambrano-Cabrera, C., & Maza-Valle, F. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista Colombiana de Química*, 44(2):16-21. doi:<https://www.redalyc.org/pdf/3090/309044127003.pdf>
- Martínez, P., Peña, F., Bello-Peréz, L., & Núñez, C. (2019b). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X. Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>
- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019a). Propiedades Fisicoquímicas, Funcionales y Estructurales De Almidones Nativos Y Acetilados Obtenidos a Partir De La Papa (Solanum tuberosum) var. "Única". *Revista Sociedad Química*, 338-351.
- Martínez, P., Vilcarromero, D., Pozo, D., Peña, F., Cervantes-Uc, M., Uribe-Calderon, J., & Velezmoro, C. (2021). Characterization of starches obtained from several native potato varieties grown in Cusco (Perú). *Journal of Food Science. Scopus*, 86, 907-914.
- Martins, P., Gutkoski, L., & Martins, V. (2018). Impact of acid hydrolysis and esterification process in rice and potato starch properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.170>
- Mendoza, G., Ricalde, R., & Hernández, P. (2017). *Estructura del almidón*. Obtenido de [https://www.produccion-animal.com.ar/tablas\\_composicion\\_alimentos/150-Estructura\\_del\\_Almidon.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/150-Estructura_del_Almidon.pdf)

- Merino, R., Carballo, J., Vargas, F., Ortiz, N., Vargaas, P., Rodríguez, E., . . . Vargas, D. (2004). Catálogo de variedades locales de papa y oca de la zona de candelaria. *Asociación de Productores de Tubérculos Andinos (APROTAC); Comité de Investigación Agrícola Local (CIAL)*, V, 113.
- Mezger, T. (2018). Characterizing Starch Pasting with a Modular Compact Rheometer. En A. Paar, *Applied rheology* (pág. 3). Austria.
- MIDAGRI, M. d. (2023). *Dinámica de producción agrícola en el departamento de Puno*.
- Mínguez, J. (2012). *Caracterización de la harina de la harina de Teff para su uso en panificación*. Valladolid, España.
- Mogrovejo, A. (2019). *Determinación de la influencia de dos métodos distintos en la obtención de almidón a partir de la oca (Oxalis tuberosa Molina) variedad amarilla*. Cuenca.
- Moreno, L. (2018). *Relación de las propiedades térmicas, enzimáticas, del color y pH con la termografía de infrarrojo en la oxidación de en un mínimamente procesado de lechuga*. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/182](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/182)
- Murillo, M. (2010). *Fritura para la obtención de chips de oca (Oxalis tuberosa, Mol) a diferentes temperaturas y tiempos utilizando dos empaques a dos condiciones de almacenamiento*. Lataunga, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/896/1/T-UTC-1212%281%29.pdf>
- Murillo, M., Alvis, A., & Arrazola, G. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata ( Ipomoea batatas ) \* Physicochemical and functional properties of almidon obtained from two varieties of sweet potatoes ( Ipomoea batatas ) Propiedades físico-quími. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 117-127.
- Nina, A. (2018). *Evaluación del comportamiento agronómico de tres ecotipos de oca (oxalis tuberosa) y revalorización de las practicas alimenticias ancestrales de la comunidad huatapampa del municipio de tito yupanqui*. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz.
- Nina, A., & Murillo, R. (2018). Evaluación del comportamiento agronómico de tres Ecotipos de oca (Oxalis tuberosa) y revalorización de las prácticas alimenticias ancestrales de la comunidad Huatapampa del municipio de Tito Yupanqui. *Scielo, Revistas Bolivianas*, 4. Obtenido de [http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-93822018000300009&lng=en&nrm=iso](http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-93822018000300009&lng=en&nrm=iso)
- Nizama, W. (2021). *Técnicas de extracción de almidón de frutas y residuos vegetales*. Sullana, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unf.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bc18ac3f-b3dc-4e5d-b311-3b94519ca93e/content>
- Palate, J. (2013). *Estudio del efecto de la temperatura y el tiempo en las características fisico-químicas y sensoriales de la oca (oxalis tuberosa) durante su maduración*. Ambato.
- Patrón, A. (2019). *Caracterización funcional y química de cuatro variedades de chuño comercializadas en España*. Valencia, España.

- Pazmiño, M., & Louedes, M. (2007). *Estudio y análisis de la oca (oxalis tuberosa) y propuesta gastronómica*.
- Peña, E. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de cinco variedades de papas nativas procedentes de llave (Puno)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Lima. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2655/Q02-P45-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, L. (2020). *Taller de alimentación y hábitos saludables PEPSAM\_UNNOBA. Carbohidratos*.
- Pérez-Pacheco, E., Moo-Huchin, V., Estrada-León, R., Ortiz-Fernández, A., May-Hernández, L., Ríos-Soberanis, C., & Betancur-Ancona, D. (2014). Isolation and characterization of starch obtained from *Brosimum alicastrum* Swartz Seeds. *Carbohydrate polymers*, 101:920-927.
- Pineda-Gómez, P., Coral, D., Arciniegas, M., Rorales-Rivera, A., & Rodríguez-García, M. (2006). *Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: Estudio por Calorimetría diferencial de barrido*.
- Przetaczek-Roz nowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101:536542. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092
- Quezada, L. (2019). Propiedades Térmicas Y Funcionales Del Almidón Nativo De Malanga (*Xanthosoma Sagittifolium*) Y Achira (*Canna Edulis*). *Revista cubana de Enfermería*, 55.
- Quintero, V., Lucas, J., & Alzate, E. (2012). *Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto*.
- Quiroga, C. (2008). *Los almidones resistentes y la salud*.
- Quispe, Y. (2018). *Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra*. Andahuaylas-Apurímac.
- Quizhpi, P. (2018). *Caracterización de almidón modificados por acetilación obtenido a partir de la oca (*Oxalis tuberosa*)*. Cuenca, Ecuador.
- Rached, L., Vizcarrondo, C., Rincón, A., & Padilla, F. (2006). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Scielo*.
- Rafael, D. (2022). *Comportamiento reológico y viscoelástico de almidones nativos extraídos de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa*)*. Chota, Cajamarca.
- Ramirez, R. (2023). *Propiedades físicas, químicas y tecnofuncionales de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) modificados por esterificación*. Andahuaylas, apurimac.
- Ramirez-Balboa, G., Balois-Morales, R., León-Fernández, A., Bautista-Rosales, P., Jiménez-Zurita, J., & Montalvo-González, E. (2023). Physicochemical and proximal characterization of starch and flour of jicama (*Pachyrhizus erosus* L.). *Revista Bio Ciencias*, 17. doi:<https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1427>

- Rao. (2014). *Rheology of fluid, semisolid and solid foods: principles and applications*. New York: US:Springer.
- Rembado, M., & Sceni, P. (2009). *La Química de los Alimentos*. Buenos Aires.
- Rettig, M., & Ah-hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible
- Reyes, M., & Montalvo, Y. (2021). *Evaluación de la potencia y el tiempo de ultrasonido para la extracción de almidón de oca (Oxalis tuberosa)*. Huánuco. Obtenido de <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/6616/TAI00190R47.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes, M., Gómez-Sánchez, I., & Espinoza, C. (2017). *Tabla peruana de composición de alimentos* (10ma ed.). Lima, Perú.
- Rincón-Londoño, N., Vega-Rojas, L., Contreras-Padilla, M., Costa-Osorio, A., & Rodríguez-García, M. (2016). Analysis of the pasting profile in corn starch: structural, morphological, and thermal transformations. *International Journal of Biological Macromolecules*, 28. doi:<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.05.070>
- Riveros, M. (2009). *Elaboración de chuño a partir de cuatro variedades de papa bajo diferentes tratamientos de aplicación de agua*. LaPaz, Bolivia. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5616/Ts-1278.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rodrigo, J. (2023). *Evaluación de las isothermas de adsorción de kaya obtenido de oca (Oxalis tuberosa)*. Huancavelica, Perú.
- Rodrigues, I., & Lemma, F. (2014). *Experimental Design and Process Optimization*. Obtenido de <https://www.crcpress.com/Experimental-Design-and-Process-Optimization/Rodrigues-lemma/p/book/9781482299557>
- Salgado-Ordosgoitia, R., Paternina-Contreras, A., Cohen-Manrique, C., & Rodríguez\_Manrique, J. (2019). Análisis de las curvas de gelatinización de almidones nativos de tres especies de Ñame: Criollo (dioscorea alata), espino (dioscorea rotundata) y diamante 22. *Información Tecnológica*, 93-102.
- Sandhu, K., Sharma, L., & Kaur, M. (2015). Effect of granule size on physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of native and 2-octenyl-1-ylsuccinylated potato starch prepared by dry heating under different pH conditions. *LWT- Food Science and Technology*, 224-230.
- Santivañez, C. (2019). *Análisis del sector productivo en el cultivo de oca (oxalis tuberosa mol) y el manejo comercial para el incremento de oferta en el mercado local bajo las condiciones de marketing - mix en el distrito de Comas - Concepción*. Universidad Nacional del Centro del Perú, El Mantaro, Jauja. Obtenido de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5439/T010\\_20105542\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5439/T010_20105542_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Schirmer, M., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch-Stärke*, 67(1-2):30-41.

- Shrestha, A., & Halley, P. (2014). Starch Modification to Develop Novel Starch-Biopolymer Blends. State of Art and Perspectives. *Starch Polymers. From Genetic Engineering to Green Applications*, 128-168.
- Silveira, A., Vilaró, F., Kvapil, M., Rodríguez, S., & Zaccari, F. (2020). Caracterización físico-química y potencial para fritura de materiales genéticos de papa (*solanum tuberosum*). *Scielo*. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2020000200143&script=sci\\_arttext&lng=es#:~:text=En%20papa%2C%20el%20mayor%20contenido,Gallego%2C%20Miguez%2C%20%26%20de%20la](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2020000200143&script=sci_arttext&lng=es#:~:text=En%20papa%2C%20el%20mayor%20contenido,Gallego%2C%20Miguez%2C%20%26%20de%20la)
- Sineace, S. N. (2020). *Características de la región Puno*. Obtenido de <https://repositorio.sineace.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12982/6226/Caracterizaci%C3%B3n%20Regional%20Puno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Singh, J., Colussi, R., McCarthy, O., & Kaur, L. (2016). Advances in Potato Chemistry and Technology: Potato Starch and Its Modification. *Elsevier*, 195-247.
- Singh, J., Kaur, L., & McCarthy, J. (2006). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal rheological properties of some chemically modified starches for applications. *ScienceDirect, Food Hydrocolloids*, 1-22. doi:10.4172/2376-0354.1000187
- Singh, N., Shevkani, K., Kaur, A., Thakur, S., Parmar, N., & Singh, A. (2014). Characteristics of starch obtained at different stages of purification during commercial wet milling of maize. *Starch Stärke*, 66,1-10.
- Solarte-Montúfar, J., Diaz-Murangal, A., Osorio-Mora, O., & Mejia-España, D. (2019). Propiedades reológicas y funcionales del almidón procedentes de tres variedades de papa criolla. *Scielo*.
- Suquilanda, M. B. (2009). *Producción Orgánica de Cultivos Andinos*.
- Surco, F. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (tropaeolum tuberosum), Oca (oxalis tuberosa), olluco (ollucus tuberosus) para su aplicación tecnológica*. Lima, Perú.
- Szymonska, J., Krok, F., Komorowska-Czepirska, E., & Rebilas, K. (2003). Modification of granular potato starch by multiple deep-freezing and thawing. *Carbohydrate Polymers. Elsevier*, 1-10.
- Talens, P. (2017). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB*. Valencia.
- Tan, I., & Halley, P. (2014). Structure-Property Relationships of Genetically Modified Starch. *Starch Polymers. From Genetic Engineering to Green Applications. Elsevier*, 54-100.
- Tao, H., Yan, J., Zhao, J., Tian, Y., Jin, Z., & Xu, X. (2015). Effect of Multiple Freezing/Thawing Cycles on the Structural and Functional Properties of Waxy Rice Starch. *PLoS ONE*, 10(5): 1-11. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127138>
- Tapia. (2000). *Cultivos Andinos Subexplotados y su Aporte a la Alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*.

- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos*. FAO Y ANPE. Lima.
- Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). *Starch-composition, Fine structure and architecture*.
- Titirico, J. (2017). *Obtención de harina de una kaya para la elaboración de pan*. Comanche. Bolivia.
- Torres, E., & Torrico, J. (2004). Caracterización de diez variedades de Oxalis Tuberosa Molina (oca) y alternativas de industrialización. *Investigación y Desarrollo*, 10.
- Trujillo, J. (2022). *Caracterización morfológica, color, propiedades funcional y térmica de dos variedades de pituca (Colocasia esculenta L. Schott) en Tingo María*. Universidad Nacional Agraria de La Selva, Lima. Obtenido de [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2119/TS\\_TCJL\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2119/TS_TCJL_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Umaña, E. (2013). *Conservación de alimentos por frío*.
- Valcárcel-Yamani, B., Rondán-Sanabria, G., & Finardi-Fiho. (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*, 453-464.
- Valdivieso, F., & Mollinedo, P. (2021). Formación de almidón retrogradado relacionado a niveles. *Scielo*. doi:<https://doi.org/10.53287/mjns8913yn27w>
- Vasquez, R. (2020). *Proceso de elaboración del chuño y la tunta*.
- Velásquez. (2019). *Obtención y aplicación de almidones modificados por esterificación (osa) a partir de almidones nativos provenientes de tubérculos andinos*. Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Recuperado el 26 de febrero de 2024, de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4250/velasquez-barreto-frank-fluker.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velásquez, J., Lucas, J., & Quintero, V. (2017). Physical-chemical characteristics determination of potato (Solanum phureja Juz. & Bukasov) starch. *Scielo*. doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52419>
- Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 2, 189-197. doi:10.17268/sci.agropecu.2018.02.03
- Velásquez-Barreto, F., Bello-Pérez, L., Núñez-Santiago, C., Yee-Medeira, H., & Velezmoro, C. (2021). Relationships among molecular, physicochemical and digestibility characteristics of Andean tuber starches. *International Journal of Biological Macromolecules. Elsevier*, 472-481. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.039>
- Villanueva, M., De Lamo, B. H., & Ronda, F. (2018). Microwave radiation and protein addition modulate hydration, pasting and gel rheological characteristics of rice and potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 201:374-381. doi:10.1016/j.carbpol.2018.08.052

- Villanueva, M., De Lamo, B., Harasym, J., & Ronda, F. (2018). Microwave radiation and protein addition modulate hydration, pasting and gel rheological characteristics of rice and potato starches. *Carbohydrate Polymers*. doi:10.1016/j.carbpol.2018.08.052
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e interés fisiológico. *Revista chilena de nutrición*, 45(3), 271-278. doi:https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271
- Vithu, P., Dash, S., Rayaguru, K., Panda, M., & Nedunchezhiyan, M. (2020). Optimization of starch isolation process for sweet potato and characterization of the prepared starch. *Food Meas.*, 1520-1532.
- Waki. (2021). Chuño, tunta, caya y uma caya (proceso de elaboracion). *Chuño, tunta, caya y uma caya (proceso de elaboracion)*. Bolivia. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=p5ARfruuOHA>
- Waki, K. (2021). chuño, tunta, caya, huma caya (proceso de elaboración). *chuño, tunta, caya, huma caya (proceso de elaboración)*. Bolivia.
- Waliszewski, K., Aparicio, M., Bello, L., & Monroy, J. (2003). Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydrate Polymers*, 52(3):237-242. Obtenido de 1cf0c369b4f239caf03d602549646c0b04398a61
- Wang, R., Wan, J., Liu, C., Xia, X., & Ding, Y. (2019). Pasting, thermal, and rheological properties of rice starch partially replaced by inulin with different degrees of polymerization. *Food Hydrocolloids*, .
- Yassaroh, A., & Woortman, K. (2019). A new way to improve physicochemical properties of potato starch. *Carbohydrate Polymer*, 204: 1-8. doi:https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.082
- Yu, S., Zhang, Y., Li, H., Wang, Y., Gong, C., Liu, X., . . . Kopparapu, N. (2015). Effect of freeze-thawing treatment on the microstructure and thermal properties of non-waxy corn starch granule. *Starch/Stärke*, 67:989-1001. doi:https://doi.org/10.1002/star.201500109
- Zarate-Polanco, L., Ramírez-Suárez, L., Otárola, N., Prieto, L., Garmica, A., & Cerón, M. (2014). Extracción y caracterización del almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo Phureja). *Revista latinoamericana de papa*, 1-24.
- Zhang, B., Han, J., & Lim, S. (2018). Characteristics of some physically modified starches using mild heating and freeze-thawing. *Food Hydrocolloids*, 77: 894-901. doi:10.1016/j.foodhyd.2017.11.035
- Zhang, B., Zhao, Y., Li, L., Xie, F., & Chen, L. (2014). Effects of amylose and phosphate monoester on aggregation structures of heat-moisture treated potato starches. *Carbohydrate Polymers*. *Carbohydrate Polymers*.
- Zhang, J., Zhu, X., Lu, F., Yang, Z., Tao, H., Xu, Y., & Wang, H. (2022a). Physical modification of waxy maize starch: Combining SDS and freezing/thawing treatments to modify starch structure and functionality. *Food Structure*. Elsevier. doi:https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100263

- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., & Wei, C. (2018a). Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids*, 80:168-176. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.006>
- Zhang, T., Zhao, R., Liu, W., Liu, Q., Zhang, L., & Hu, H. (2022). Dynamic changes of potato characteristics during traditional freeze-thaw dehydration processing. *Food Chemistry*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133069>
- Zhao, X., Hofvander, P., Andersson, M., & Andersson, R. (2023). Internal structure and thermal properties of potato starches varying widely in amylose content. *Food Hydrocolloids*. Elsevier.
- Zhou, X., & Lim, S. (2012). Pasting viscosity and in vitro digestibility of retrograded waxy and normal corn starch powders. *Carbohydrate Polymers*, 87: 235-239. doi:10.1016/j.carbpol.2011.07.045
- Zhu, F., & Cui, R. (2020). Comparison of physicochemical properties of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 601-607. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.028>

## ANEXOS

### Anexo 1: Panel fotografías de la investigación.

- Imágenes del proceso de extracción de almidones de oca, kaya y uma kaya





**Lavado del almidón**

**Sedimentación**

**Secado del almidón**



**Almidón seco**

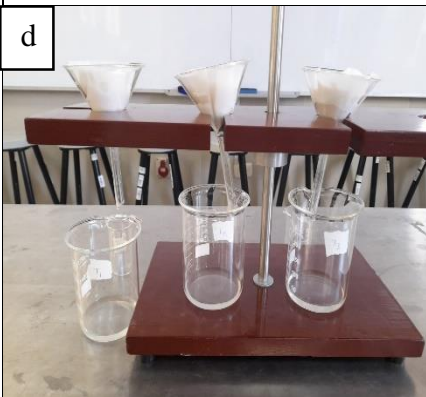


**Molido del almidón**



**Tamizado del almidón.**

• **Imágenes de la caracterización del almidón**



**d**



**e**

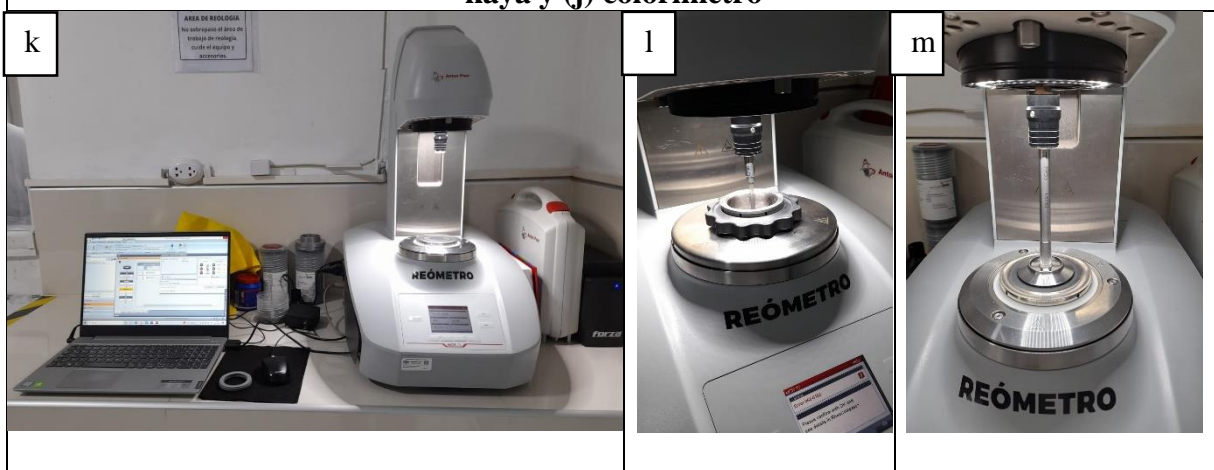


**f**

**Determinación de la acidez: (d) muestras, (e) equipo de titulación, (f) muestras luego del análisis**



**Determinación del índice de blancura: muestras de almidón (g) oca, (h) kaya, (i) uma kaya y (j) colorímetro**



**Determinación de propiedades reológicas: (k) reómetro, (l) comportamiento de pastas; medición con copa, (m) viscoelasticidad; pacas paralelas**

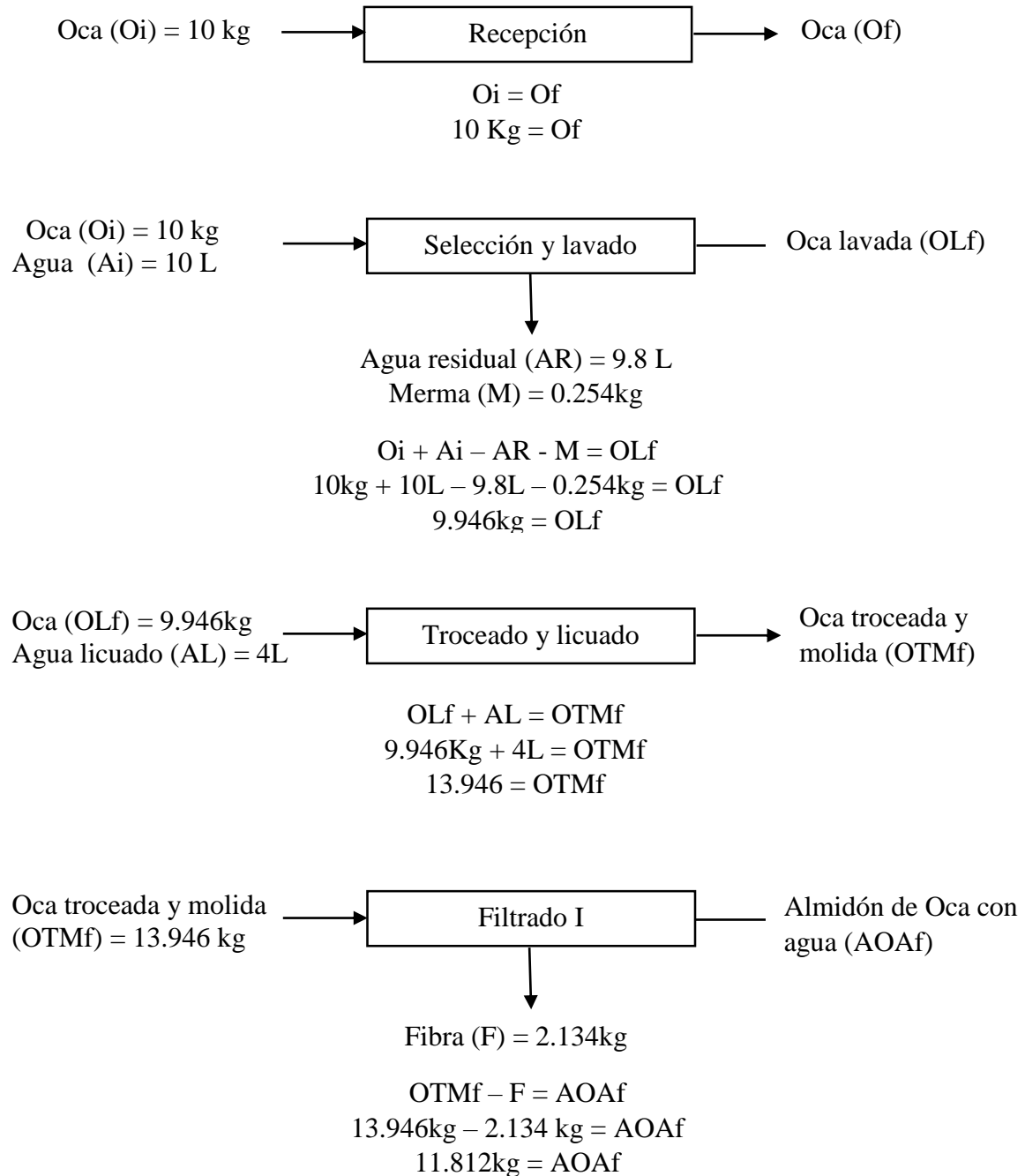
**Anexo 2: Cálculos realizados para la determinación del rendimiento.**

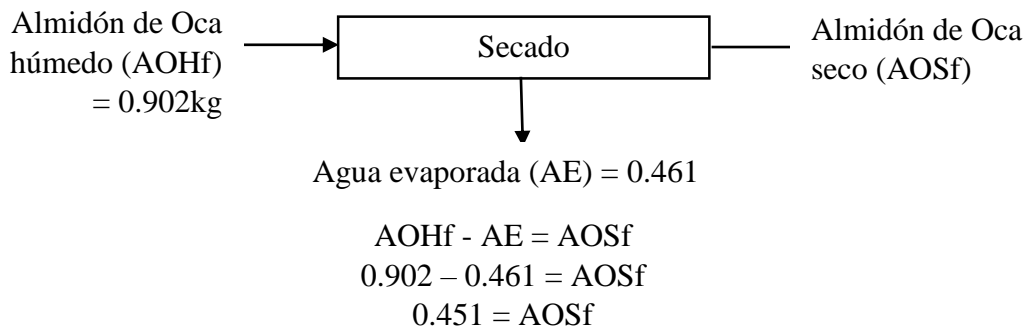
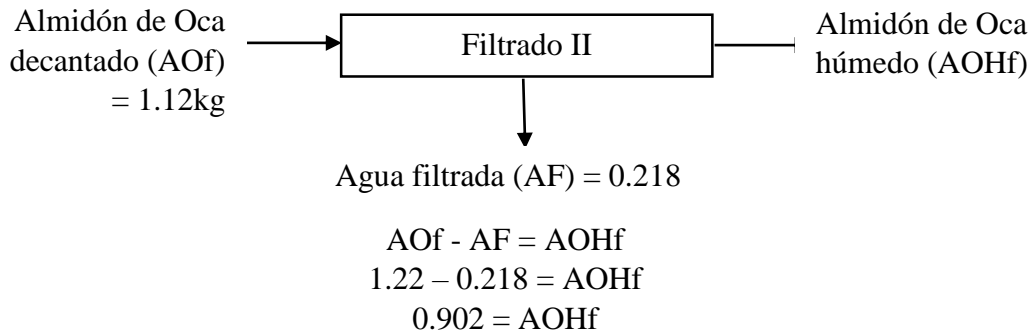
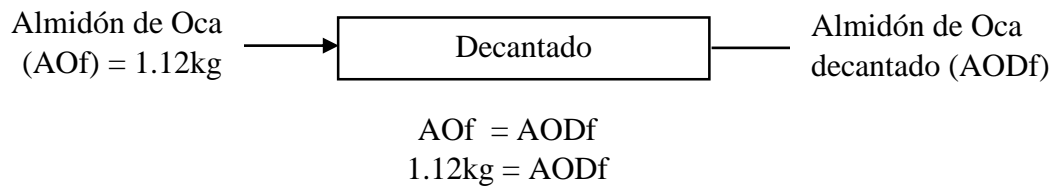
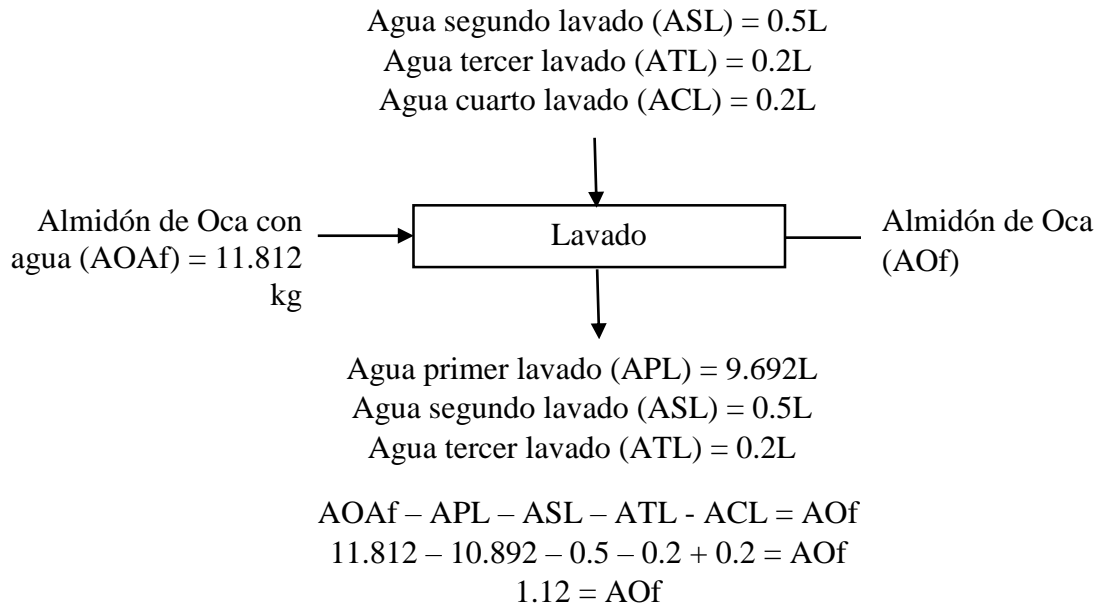
MUESTRA	REPLICAS	CANTIDAD DE MUESTRA (kg) (oca, kaya, uma kaya)	ALMIDÓN (kg)	RENDIMIENTO (%)
OCA	R1	10.00	0.415	4.15
	R2	10.00	0.436	4.36
	R3	10.00	0.394	3.94
	PROMEDIO	10.00	0.415	4.15
KAYA	R1	1.34	0.196	14.48
	R2	1.32	0.181	13.79
	R3	1.33	0.188	14.21
	PROMEDIO	1.33	0.188	14.16
UMA KAYA	R1	1.03	0.089	8.64
	R2	1.08	0.098	9.07
	R3	1.07	0.087	8.13
	PROMEDIO	1.06	0.091	8.62

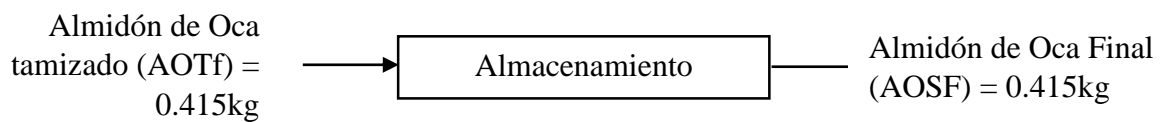
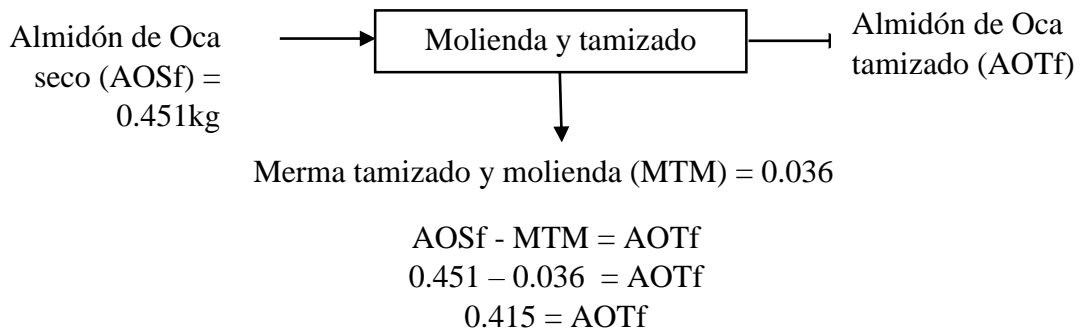
$$R\% = \frac{\text{peso de almidon kg}}{\text{peso de materia prima kg}} \times 100$$

**Anexo 3: Balance de materia del rendimiento del almidones.**

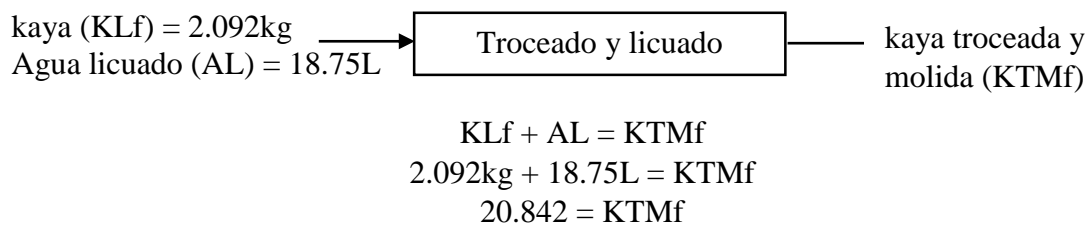
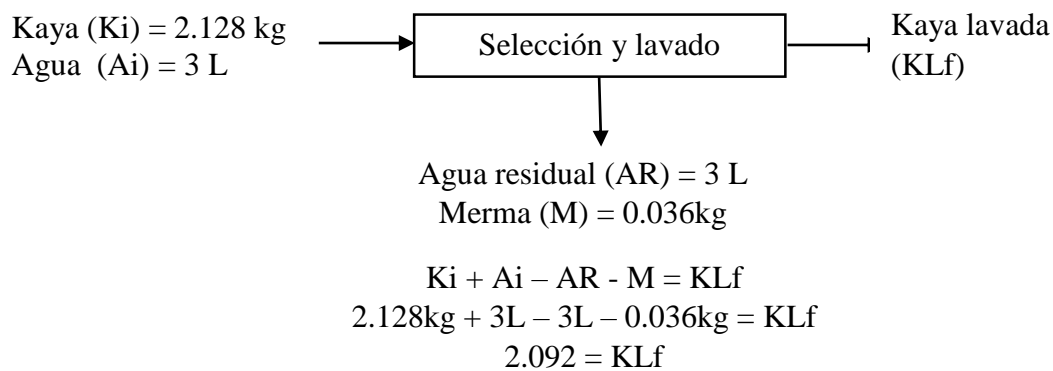
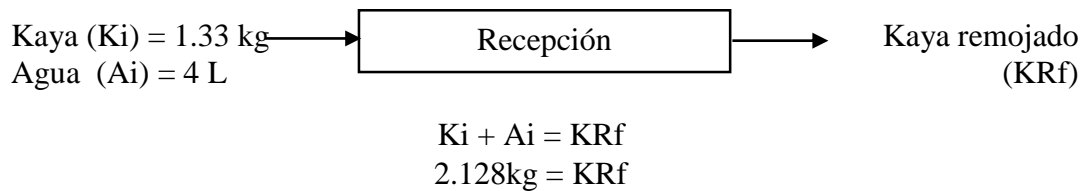
- **Almidón de oca**







• **Almidón de kaya**



kaya troceada y molida (KTMf) = 20.842 kg

→ Filtrado I → Almidón de kaya con agua (AKAf)

↓

Fibra (F) = 1.804kg

$$\begin{aligned}
 &KTMf - F = AKAf \\
 &20.842\text{kg} - 1.804\text{ kg} = AKAf \\
 &19.038\text{kg} = AKAf
 \end{aligned}$$

Agua segundo lavado (ASL) = 5L  
 Agua tercer lavado (ATL) = 0.2L  
 Agua cuarto lavado (ACL) = 0.2L

Almidón de kaya con agua (AKAf) = 19.038 kg

→ Lavado → Almidón de Oca (AO<sub>f</sub>)

↓

Agua primer lavado (APL) = 18.429L  
 Agua segundo lavado (ASL) = 5L  
 Agua tercer lavado (ATL) = 0.2L

$$\begin{aligned}
 &AKAf - APL - ASL - ATL - ACL = AKf \\
 &19.038 - 18.429 - 0.5 - 0.2 + 0.2 = AKf \\
 &0.809 = AKf
 \end{aligned}$$

Almidón de kaya (AK<sub>f</sub>) = 0.809kg

→ Decantado → Almidón de Oca decantado (AOD<sub>f</sub>)

$$\begin{aligned}
 &AKf = AKDf \\
 &0.809\text{kg} = AKDf
 \end{aligned}$$

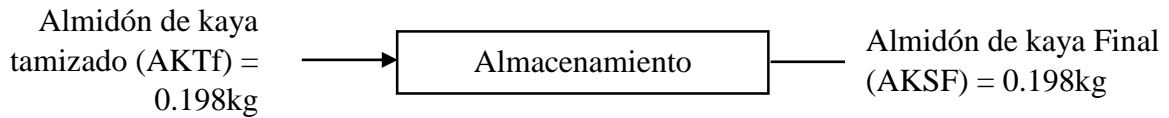
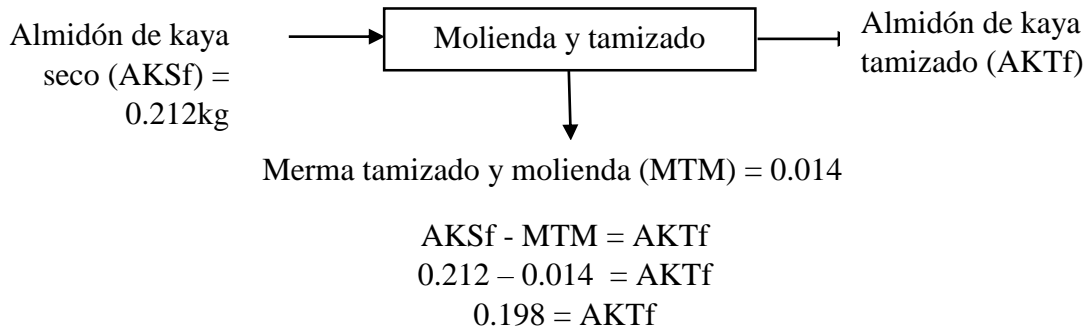
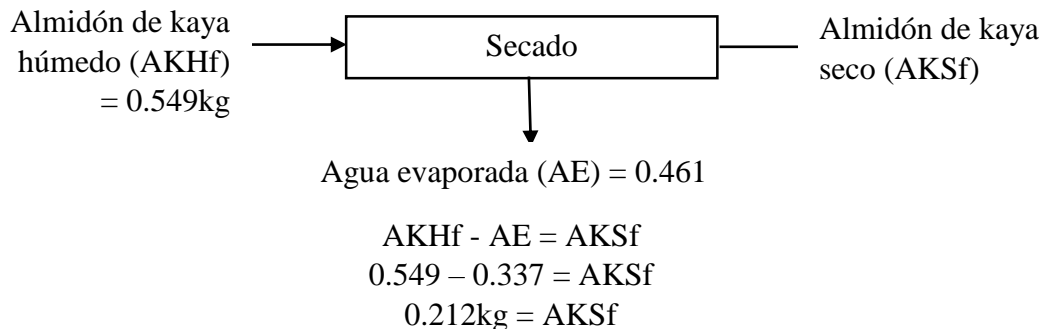
Almidón de kaya decantado (AK<sub>f</sub>) = 0.809kg

→ Filtrado II → Almidón de Oca húmedo (AOH<sub>f</sub>)

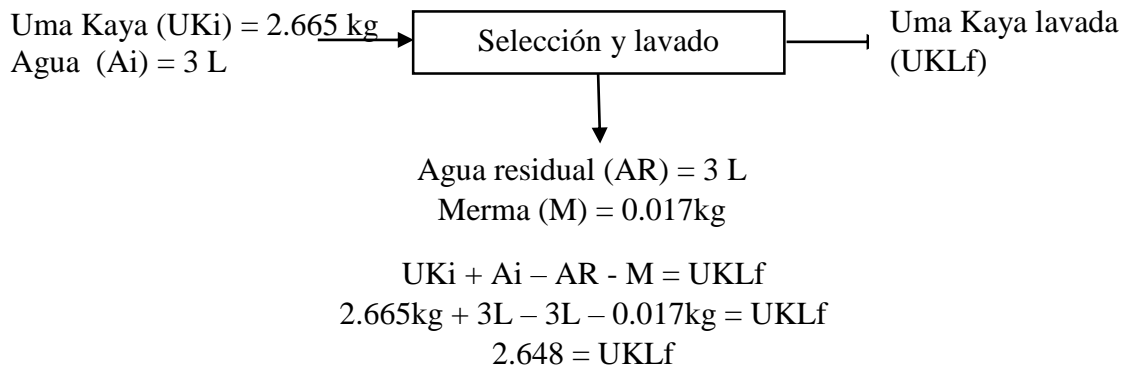
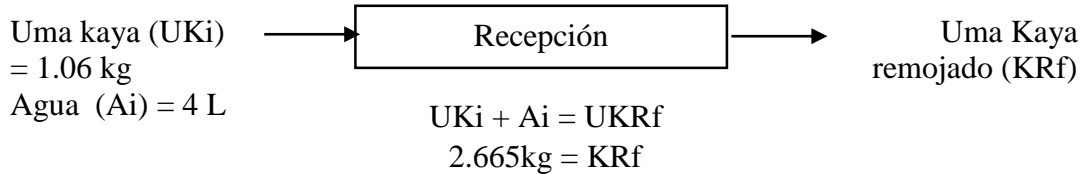
↓

Agua filtrada (AF) = 0.218

$$\begin{aligned}
 &AKDf - AF = AKHf \\
 &0.809 - 0.260 = AKHf \\
 &0.549 = AKHf
 \end{aligned}$$



• **Almidón de uma kaya**



uma kaya (UKLf) = 2.648kg  
 Agua licuado (AL) = 18.75L

Troceado y licuado

Uma kaya troceada y molida (UKTMf)

$$\begin{aligned} \text{UKLf} + \text{AL} &= \text{UKTMf} \\ 2.648\text{kg} + 18.75\text{L} &= \text{UKTMf} \\ 21.348 &= \text{UKTMf} \end{aligned}$$

uma kaya troceada y molida (UKTMf) = 21.348 kg

Filtrado I

Almidón de uma kaya con agua (AUKAf)

$$\text{Fibra (F)} = 1.804\text{kg}$$

$$\begin{aligned} \text{UKTMf} - \text{F} &= \text{UAKAf} \\ 21.348\text{kg} - 1.804\text{ kg} &= \text{UAKAf} \\ 19.038\text{kg} &= \text{UAKAf} \end{aligned}$$

Agua segundo lavado (ASL) = 5L  
 Agua tercer lavado (ATL) = 0.2L  
 Agua cuarto lavado (ACL) = 0.2L

Almidón de kaya con agua (AKAf) = 19.038 kg

Lavado

Almidón de Oca (AOf)

Agua primer lavado (APL) = 18.617L  
 Agua segundo lavado (ASL) = 5L  
 Agua tercer lavado (ATL) = 0.2L

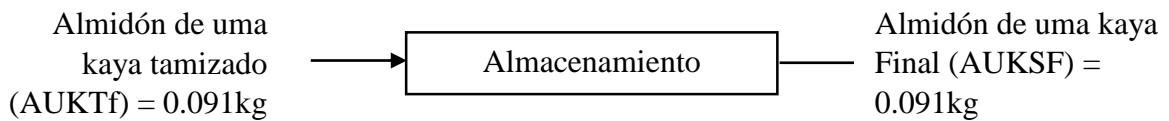
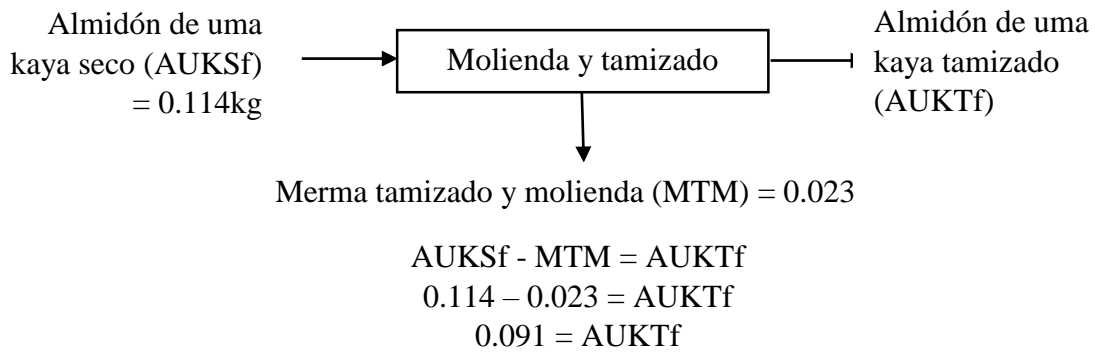
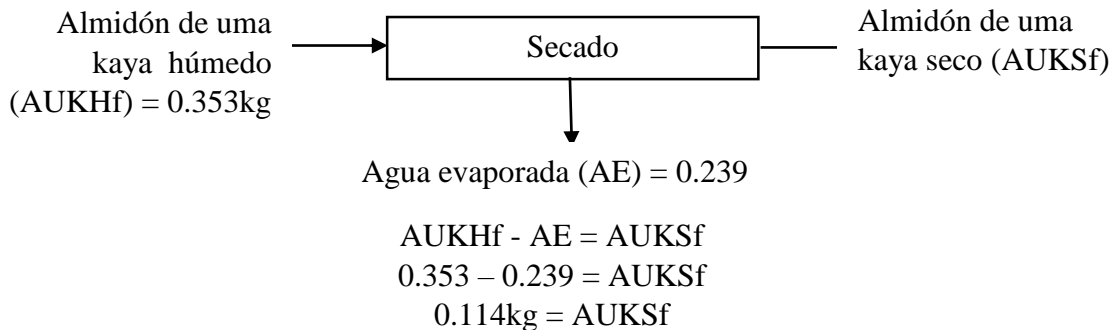
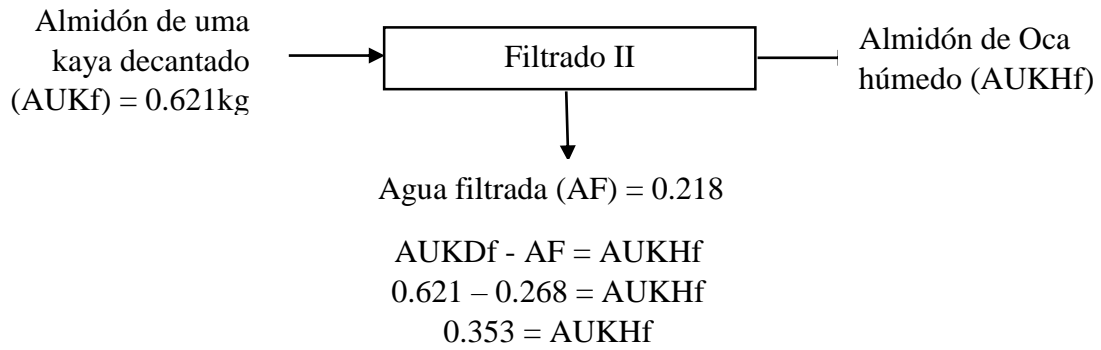
$$\begin{aligned} \text{AUKAf} - \text{APL} - \text{ASL} - \text{ATL} - \text{ACL} &= \text{AUKf} \\ 19.038 - 18.617 - 0.5 - 0.2 + 0.2 &= \text{AUKf} \\ 0.621 &= \text{AUKf} \end{aligned}$$

Almidón de uma kaya (AUKf) = 0.621kg

Decantado

Almidón de uma kaya decantado (AUKDf)

$$\begin{aligned} \text{AUKf} &= \text{AUKDf} \\ 0.0.621\text{g} &= \text{AUKDf} \end{aligned}$$



**Anexo 4: Análisis estadístico para el rendimiento de los porcentajes de almidones extraídos.**

**Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey para la comparación del rendimiento de los porcentajes de almidones extraídos a partir de oca, kaya y uma kaya.**

Muestras	Replicas	Almidón (%)
Almidón de oca	R1	4.15
	R2	4.36
	R3	3.94
Almidón de kaya	R1	14.48
	R2	13.79
	R3	14.21
Almidón de uma kaya	R1	8.64
	R2	9.07
	R3	8.13

**Método**

Hipótesis nula                      todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna                  no todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia             $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

**Información del factor**

**Factor      Niveles      Valores**  
 MUESTRAS              3 KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 25: Análisis de varianza para la comparación del rendimiento de almidones oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	150.824	75.4208	583.21	0.000
Error	6	0.776	0.1293		
Total	8	151.617			

**Resumen del modelo**

**S      R-cuadrado      R-cuadrado (ajustado)      R-cuadrado (pred)**  
 0.359611              99.49%              99.32%              98.85%

### Medias

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	3	14.159	0.348	(13.651; 14.667)
OCA	3	4.150	0.210	( 3.642; 4.658)
UMA KAYA	3	8.615	0.472	( 8.107; 9.123)

Desv.Est. agrupado = 0.359611

**Tabla 26: Prueba Tukey para el rendimiento de almidones Oca, Kaya y Uma Kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
KAYA	3	14.159	A
UMA KAYA	3	8.615	B
OCA	3	4.150	C

### Anexo 5: Análisis estadístico para el contenido de amilosa y amilopectina de los almidones.

**Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de amilosa y amilopectina en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

- **Contenido de amilosa en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Muestras	Replicas	Amilosa (%)
Almidón de oca	R1	26.81
	R2	26.40
	R3	26.13
Almidón de kaya	R1	24.93
	R2	25.00
	R3	24.03
Almidón de uma kaya	R1	26.28
	R2	26.99
	R3	25.04

### Método

Hipótesis nula	todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	no todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
MUESTRAS	3	KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 27: Análisis de varianza para el contenido de amilosa en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	5.436	2.7182	5.89	0.038
Error	6	2.768	0.4613		
Total	8	8.204			

**Resumen del modelo**

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.679191	66.26%	55.02%	24.09%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	3	24.653	0.541	(23.694; 25.613)
OCA	3	26.447	0.342	(25.487; 27.406)
UMA KAYA	3	26.103	0.987	(25.144; 27.063)

Desv.Est. agrupado = 0.679191

**Tabla 28: Prueba Tukey para el contenido de amilosa en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	26.4467	A
UMA KAYA	3	26.1033	A
KAYA	3	24.6533	B

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- **Contenido de amilopectina en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Muestras	Replicas	Amilopectina (%)
Almidón de oca	R1	73.19
	R2	73.60
	R3	73.87
Almidón de kaya	R1	75.07
	R2	75.00
	R3	75.97
Almidón de uma kaya	R1	73.72
	R2	73.01
	R3	74.96

**Método**

Hipótesis nula                      todas las medias son iguales

Hipótesis alterna no todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

**Información del factor**

**Factor Niveles Valores**  
 MUESTRAS 3 KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 29: Análisis de varianza para el contenido de amilopectina en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	5.436	2.7182	5.89	0.038
Error	6	2.768	0.4613		
Total	8	8.204			

**Resumen del modelo**

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.679191	66.26%	55.02%	24.09%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	3	75.347	0.541	(74.387; 76.306)
OCA	3	73.553	0.342	(72.594; 74.513)
UMA KAYA	3	73.897	0.987	(72.937; 74.856)

Desv.Est. agrupado = 0.679191

**Tabla 30: Prueba Tukey para el contenido de amilopectina en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
KAYA	3	75.3467	A
UMA KAYA	3	73.8967	A B
OCA	3	73.5533	B

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

**Anexo 6: Análisis estadístico para el contenido de ácido oxálico de los almidones.**

**Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey para el contenido de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Muestras	Replicas	Ácido oxálico (%)
Almidón de oca	R1	0.0018
	R2	0.0019
	R3	0.0018
Almidón de kaya	R1	0.0011
	R2	0.0011
	R3	0.0011
Almidón de uma kaya	R1	0.0010
	R2	0.0011
	R3	0.0009

**Método**

Hipótesis nula                    todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna                no todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia         $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

**Información del factor**

**Factor      Niveles    Valores**  
 MUESTRAS                3 KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 31: Análisis de varianza para el contenido de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	0.000001	0.000001	243.81	0.000
Error	6	0.000000	1. 0.000000		
Total	8	0.000001			

**Resumen del modelo**

**S      R-cuadrado    R-cuadrado (ajustado)    R-cuadrado (pred)**  
 0.0000507                98.7%                        98.38%                        97.27%

### Medias

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	3	0.001109	0.000015	(0.001037; 0.001180)
OCA	3	0.001826	0.000043	(0.001754; 0.001897)
UMA KAYA	3	0.000975	0.000075	(0.000904; 0.001047)

Desv.Est. agrupado = 0.0000507393

**Tabla 32: Prueba Tukey para el contenido de ácido oxálico en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	0.001826	A
KAYA	3	0.001109	B
UMA KAYA	3	0.000985	C

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

### Anexo 7: Análisis estadístico para el índice de blancura de los almidones.

#### Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey para el índice de blancura en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Índice de blancura
Almidón de oca	R1	89.85
	R2	91.17
	R3	92.76
Almidón de kaya	R1	85.10
	R2	87.92
	R3	82.87
Almidón de uma kaya	R1	89.11
	R2	89.66
	R3	91.13

### Método

Hipótesis nula	todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	no todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

### Información del factor

Factor	Niveles	Valores
MUESTRAS	3	KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 33: Análisis de varianza para el índice de blancura en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	59.01	29.506	9.20	0.015
Error	6	19.24	3.207		
Total	8	78.25			

**Resumen del modelo**

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
1.79082	75.41%	67.21%	44.67%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	3	85.30	2.53	( 82.77; 87.83)
OCA	3	91.259	1.455	(88.729; 93.789)
UMA KAYA	3	89.963	1.046	(87.433; 92.493)

Desv.Est. agrupado = 1.79082

**Tabla 34: Prueba Tukey para el índice de blancura en almidones oca, kaya y uma Kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	91.259	A
UMA KAYA	3	89.963	A
KAYA	3	85.30	B

**Anexo 8: Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación múltiple de Tukey para propiedades reológicas: comportamiento de pastas en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

- **Temperatura de gelatinización**

Muestras	Replicas	Temperatura de gelatinización (°C)
Almidón de oca	R1	66.44
	R2	68.10
Almidón de kaya	R1	71.18
	R2	71.52
Almidón de uma kaya	R1	74.04
	R2	73.28

**Método**

Hipótesis nula	todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	no todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

**Información del factor**

**Factor Niveles Valores**  
 MUESTRAS 3 KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 35: Análisis de varianza para temperatura de gelatinización (°C) en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	41.876	20.9382	36.43	0.008
Error	3	1.724	0.5748		
Total	5	43.601			

**Resumen del modelo**

**S** 0.758156    **R-cuadrado** 96.05%    **R-cuadrado (ajustado)** 93.41%    **R-cuadrado (pred)** 84.18%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	71.350	0.240	(69.644; 73.056)
OCA	2	67.270	1.174	(65.564; 68.976)
UMA KAYA	2	73.660	0.537	(71.954; 75.366)

Desv.Est. agrupado = 0.758156

**Tabla 36: Prueba Tukey para temperatura de gelatinización (°C) en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
UMA KAYA	3	73.660	A
KAYA	3	71.850	A
OCA	3	67.770	B

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- “Viscosidad máxima (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Viscosidad máxima (cP)
Almidón de oca	R1	1695.00
	R2	1784.00
Almidón de kaya	R1	1050.00
	R2	1036.00
Almidón de uma kaya	R1	816.90
	R2	882.80

**Método**

Hipótesis nula                    todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna                no todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia         $\alpha = 0.05$

**Información del factor**

**Factor Niveles Valores**  
MUESTRAS 3 KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 37: Análisis de varianza para “Viscosidad máxima (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	875931	437965	210.90	0.001
Error	3	6230	2077		
Total	5	882161			

**Resumen del modelo**

S 45.5701  
R-cuadrado 99.29%  
R-cuadrado (ajustado) 98.82%  
R-cuadrado (pred) 97.18%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	1013.00	9.90	(940.45; 1145.55)
OCA	2	1739.5	62.9	(1637.0; 1842.0)
UMA KAYA	2	849.8	46.6	( 747.3; 952.4)

Desv.Est. agrupado = 45.5701

**Tabla 38: Prueba Tukey para “Viscosidad máxima (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	1739.5	A
KAYA	3	1043.0	B
UMA KAYA	3	849.8	C

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- “Viscosidad a 95°C (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Viscosidad a 95°C (cP)
Almidón de oca	R1	1653.50
	R2	1801.00
Almidón de kaya	R1	956.10
	R2	937.60
Almidón de uma kaya	R1	580.30
	R2	642.50

**Método**

Hipótesis nula todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna no todas las medias son iguales  
Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

**Información del factor**

**Factor Niveles Valores**  
MUESTRAS 3 KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 39: Análisis de varianza para “Viscosidad a 95°C (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	1311115	655557	151.47	0.001
Error	3	12984	4328		
Total	5	1324098			

**Resumen del modelo**

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
65.7867	99.02%	98.37%	96.08%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	946.85	13.08	(798.81; 1094.89)
OCA	2	1727.3	104.3	(1579.2; 1875.3)
UMA KAYA	2	611.4	44.0	( 463.4; 759.4)

Desv.Est. agrupado = 65.7867

**Tabla 40: Prueba Tukey para “Viscosidad a 95°C (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	1727.3	A
KAYA	3	946.85	B
UMA KAYA	3	611.4	C

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- “Viscosidad a 95°C, 5 min (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Viscosidad a 95 °C, 5 min (cP)
Almidón de oca	R1	1373.20
	R2	1363.71
Almidón de kaya	R1	1010.37
	R2	1002.74
Almidón de uma kaya	R1	847.81
	R2	908.01

**Método**

Hipótesis nula	todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	no todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

**Información del factor**

Factor	Niveles	Valores
MUESTRAS	3	KAYA; OCA; UMA KAYA

Análisis de varianza

**Tabla 41: Análisis de varianza “Viscosidad a 95°C, 5 min (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	258772	129386	205.81	0.001
Error	3	1886	629		
Total	5	260658			

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
25.0730	99.28%	98.79%	97.11%

Medias

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	1006.55	5.40	( 950.13; 1062.98)
OCA	2	1368.46	6.71	(1312.04; 1424.88)
UMA KAYA	2	877.9	42.6	( 821.5; 934.3)

Desv.Est. agrupado = 25.0730

**Tabla 42: Prueba Tukey para “Viscosidad a 95°C, 5 min (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	1368.46	A
KAYA	3	1006.55	B
UMA KAYA	3	877.9	C

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- “Viscosidad a 45°C (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Viscosidad a 45°C (cP)
Almidón de oca	R1	1463.60
	R2	1364.20
Almidón de kaya	R1	1105.00
	R2	1099.00
Almidón de uma kaya	R1	1060.00
	R2	1151.00

Método

Hipótesis nula	todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	no todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

**Información del factor**

Factor	Niveles	Valores
MUESTRAS	3	KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 43: Análisis de varianza para “Viscosidad a 45°C (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	128270	64135	21.15	0.017
Error	3	9099	3033		
Total	5	137368			

**Resumen del modelo**

S	R-cuadrado	R-cuadrado (adjustado)	R-cuadrado (pred)
55.0717	93.38%	88.96%	73.51%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	1102.00	4.24	(978.07; 1225.93)
OCA	2	1413.9	70.3	(1290.0; 1537.8)
UMA KAYA	2	1105.5	64.3	( 981.6; 1229.4)

Desv.Est. agrupado = 55.0717

**Tabla 44: Prueba Tukey para “Viscosidad a 45°C, (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	1463.67	A
UMA KAYA	3	1102.00	B
KAYA	3	1102.00	B

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- “Viscosidad final (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Viscosidad final (cP)
Almidón de oca	R1	1560.00
	R2	1593.86
Almidón de kaya	R1	1106.00
	R2	1099.00
Almidón de uma kaya	R1	1062.00
	R2	1153.00

**Método**

Hipótesis nula	todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	no todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

**Información del factor**

**Factor Niveles Valores**  
 MUESTRAS 3 KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 45: Análisis de varianza para “Viscosidad final (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	296980	148490	94.02	0.002
Error	3	4738	1579		
Total	5	301718			

**Resumen del modelo**

**S** 39.7414    **R-cuadrado** 98.43%    **R-cuadrado (ajustado)** 97.38%    **R-cuadrado (pred)** 93.72%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	1102.50	4.95	(1013.07; 1191.93)
OCA	2	1576.9	23.9	( 1487.5; 1666.4)
UMA KAYA	2	1107.5	64.3	( 1018.1; 1196.9)

Desv.Est. agrupado = 39.7414

**Tabla 46: Prueba Tukey para “Viscosidad final (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	1576.9	A
UMA KAYA	3	1107.5	B
KAYA	3	1102.50	B

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- “Breakdown (descomposición) (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Breakdown (cP)
Almidón de oca	R1	321.80
	R2	420.29
Almidón de kaya	R1	9.63
	R2	3.26
Almidón de uma kaya	R1	0.56
	R2	0.00

**Método**

Hipótesis nula                    todas las medias son iguales  
 Hipótesis alterna                no todas las medias son iguales  
 Nivel de significancia         $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

**Información del factor**

Factor	Niveles	Valores
MUESTRAS	3	KAYA; OCA; UMA KAYA

**Tabla 47: Análisis de varianza para “Breakdown (descomposición) (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	180288	90144	55.53	0.004
Error	3	4870	1623		
Total	5	185159			

**Resumen del modelo**

S	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred)
40.2918	97.37%	95.62%	89.48%

**Medias**

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	6.45	4.50	( -84.22; 97.12)
OCA	2	371.0	69.6	( 280.4; 461.7)
UMA KAYA	2	0.281	0.397	(-90.389; 90.950)

Desv.Est. agrupado = 40.2918

**Tabla 48: Prueba Tukey para “Breakdown (descomposición) (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.**

MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	371.0	A
UMA KAYA	3	6.46	B
KAYA	3	0.281	B

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

- “Setback (retrogradación) (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.

Muestras	Replicas	Setback (cP)
Almidón de oca	R1	186.80
	R2	230.14
Almidón de kaya	R1	95.63
	R2	96.26
Almidón de uma kaya	R1	114.19
	R2	104.99

#### Método

Hipótesis nula                    todas las medias son iguales  
Hipótesis alterna                no todas las medias son iguales  
Nivel de significancia         $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis

#### Información del factor

**Factor      Niveles   Valores**  
MUESTRAS            3 KAYA; OCA; UMA KAYA

#### Análisis de varianza

**Tabla 49: Análisis de varianza para “Setback (retrogradación) (cP)” en almidones de oca, kaya y uma kaya.**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	P-Valor
MUESTRA	2	15083.9	7541.9	23.04	0.015
Error	3	981.8	327.3		
Total	5	16065.7			

#### Resumen del modelo

**S      R-cuadrado   R-cuadrado (ajustado)   R-cuadrado (pred)**  
18.0909            93.89%                    89.81%                    75.55%

#### Medias

MUESTRAS	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
KAYA	2	95.945	0.452	(55.235; 136.656)
OCA	2	208.5	30.6	( 167.8; 249.2)
UMA KAYA	2	109.59	6.50	( 68.88; 150.30)

Desv.Est. agrupado = 18.0909

**Tabla 50: Prueba Tukey para “Setback (retrogradación) (cP)” en almidones oca, kaya y uma kaya.**

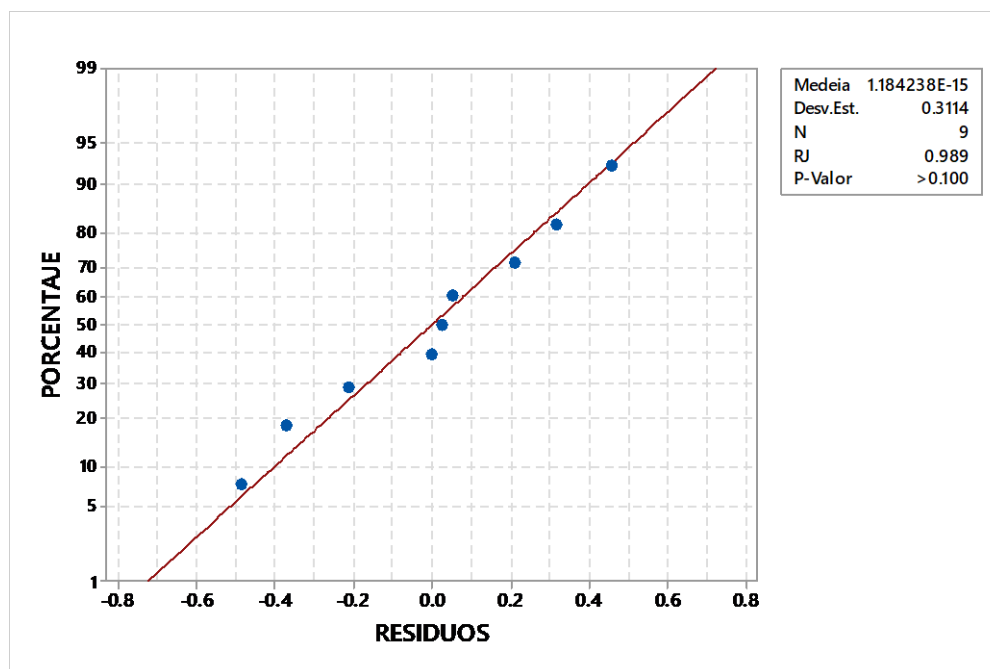
MUESTRAS	N	MEDIA	AGRUPACIÓN
OCA	3	208.5	A
UMA KAYA	3	109.59	B
KAYA	3	95.945	B

Las medias que no comparten letra son significativamente diferentes

## Anexo 9: Supuestos del diseño DCA

### Análisis de normalidad para el primer objetivo.

- Comparación del rendimiento de los porcentajes de almidones extraídos a partir de oca, kaya y una kaya.



**Figura 26: Gráfica de probabilidad de residuos normal**

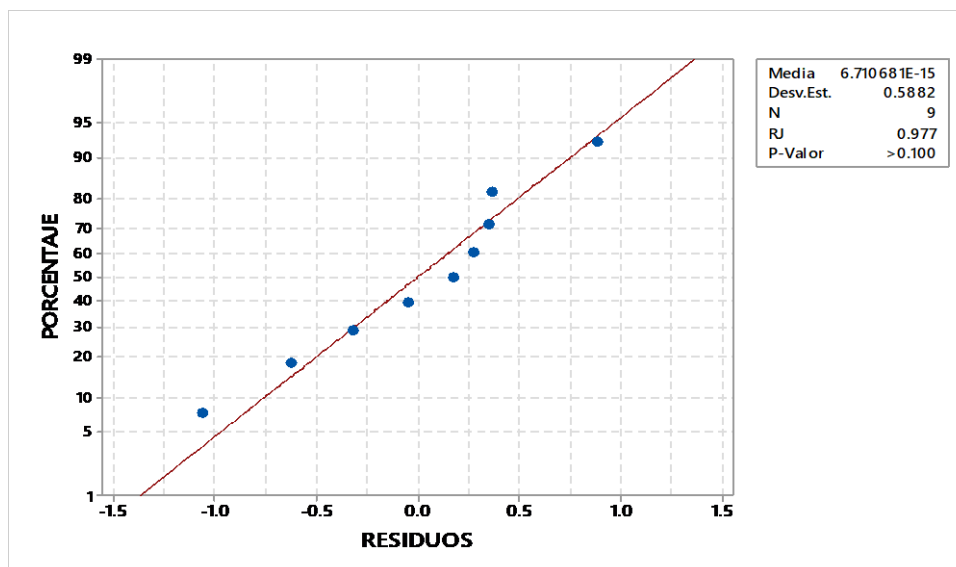
Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

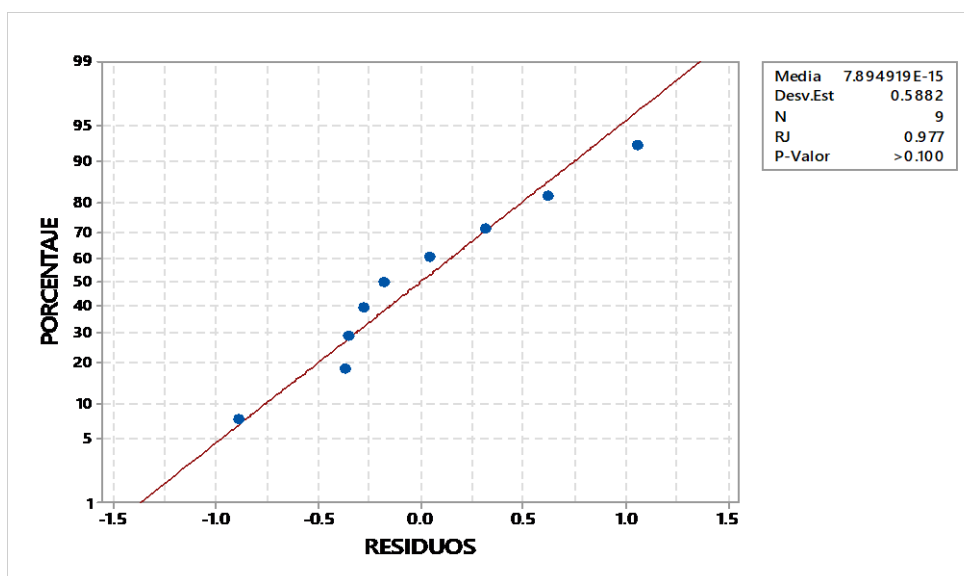
- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 26, los puntos están cercanos a la línea.

## Análisis de normalidad para el segundo objetivo

- Contenido de amilosa y amilopectina en almidones de oca, kaya y uma kaya.



**Figura 27: Gráfica de probabilidad de residuos normal**



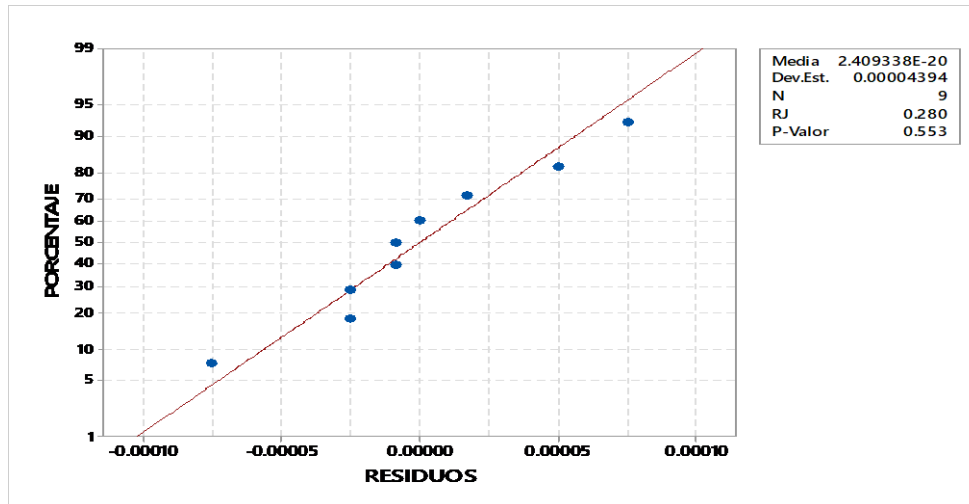
**Figura 28: Gráfica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 28.

- **Contenido de ácido oxálico en almidones de oca, kaya y uma kaya.**



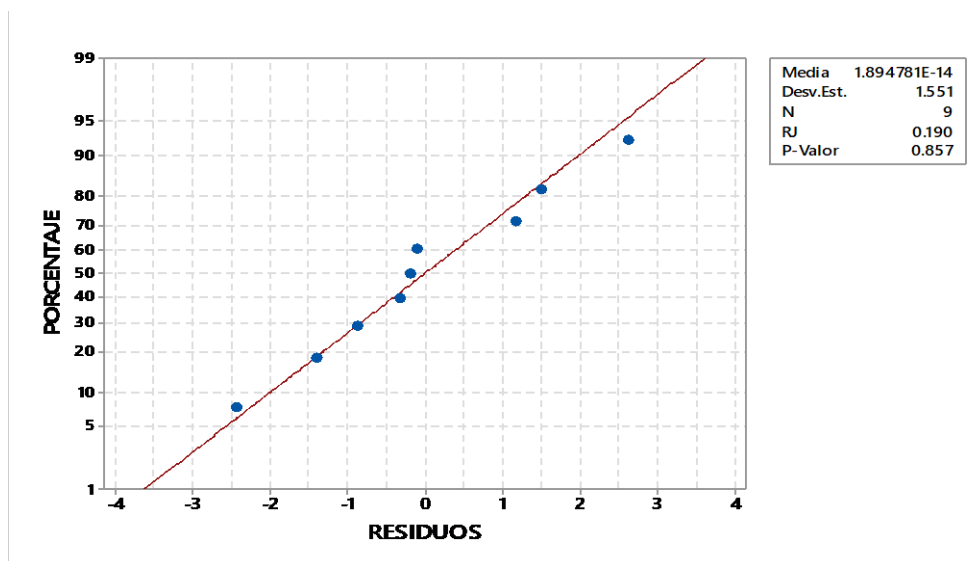
**Figura 29: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 29.

- **Índice de blancura (WI) en almidones de oca, kaya y uma kaya.**



**Figura 30: Grafica de probabilidad de residuos normal**

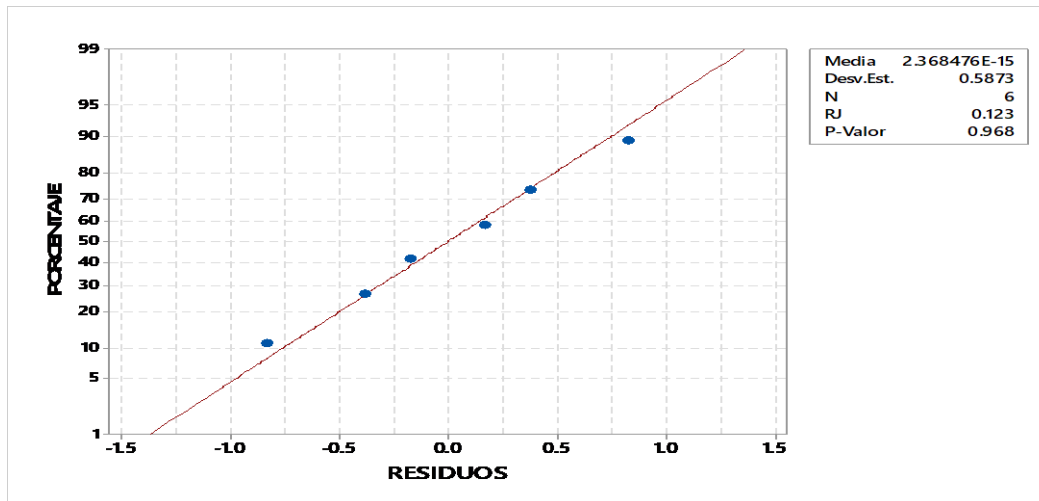
Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 30.

## Análisis de normalidad para el tercer objetivo

- **Temperatura de gelatinización (°C) en almidones de oca, kaya y uma kaya**



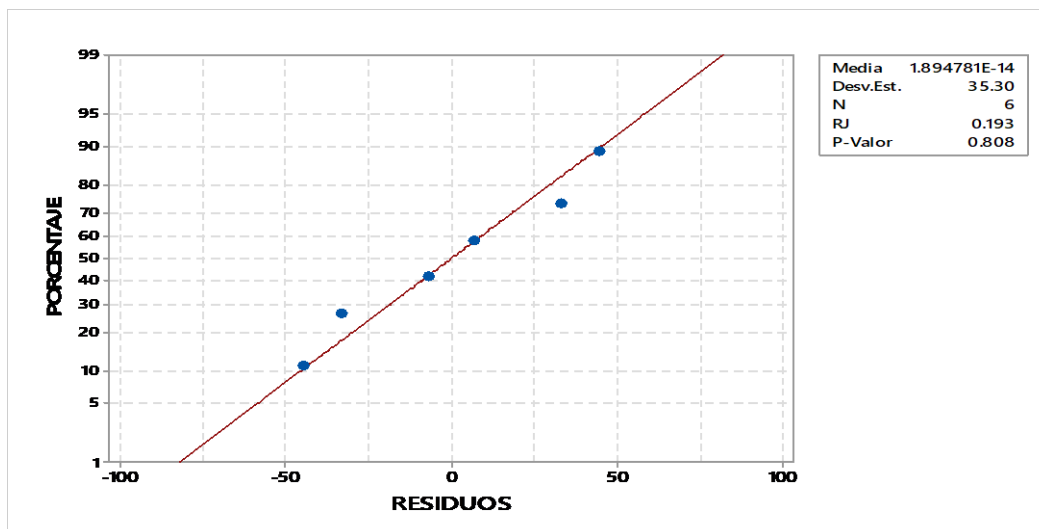
**Figura 31: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 31.

- **Viscosidad máxima (cP) en almidones de oca, kaya y uma kaya**



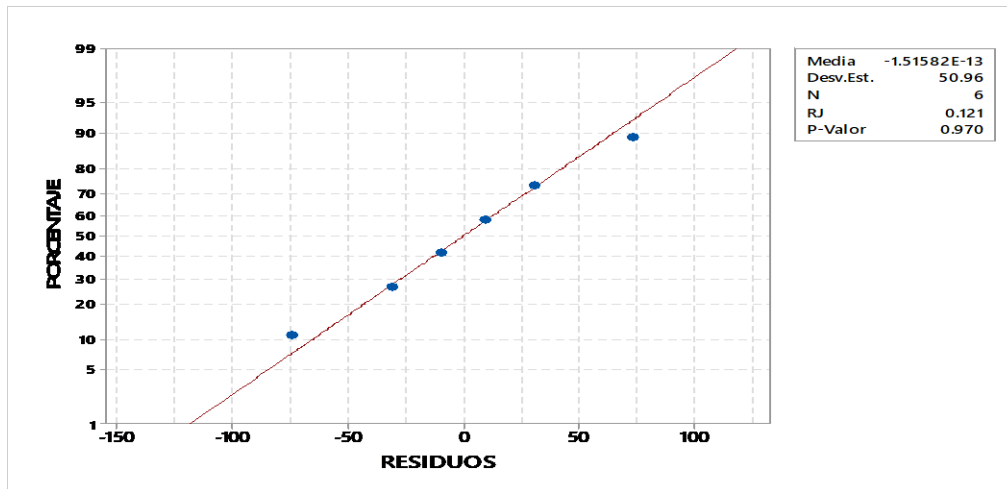
**Figura 32: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 32.

- Viscosidad a 95°C (cP) en almidones de oca, kaya y uma kaya



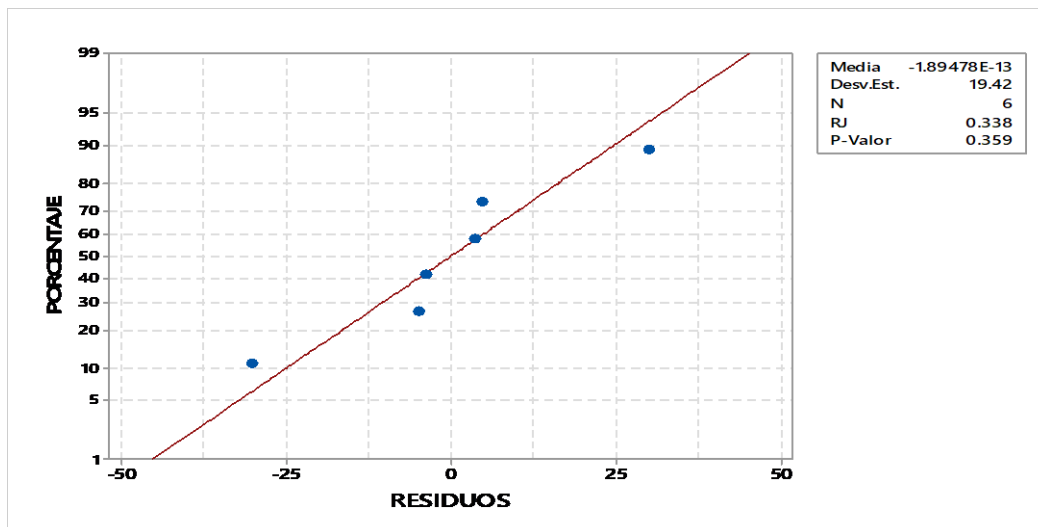
**Figura 33: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 33.

- Viscosidad a 95°C, 5 min (cP)



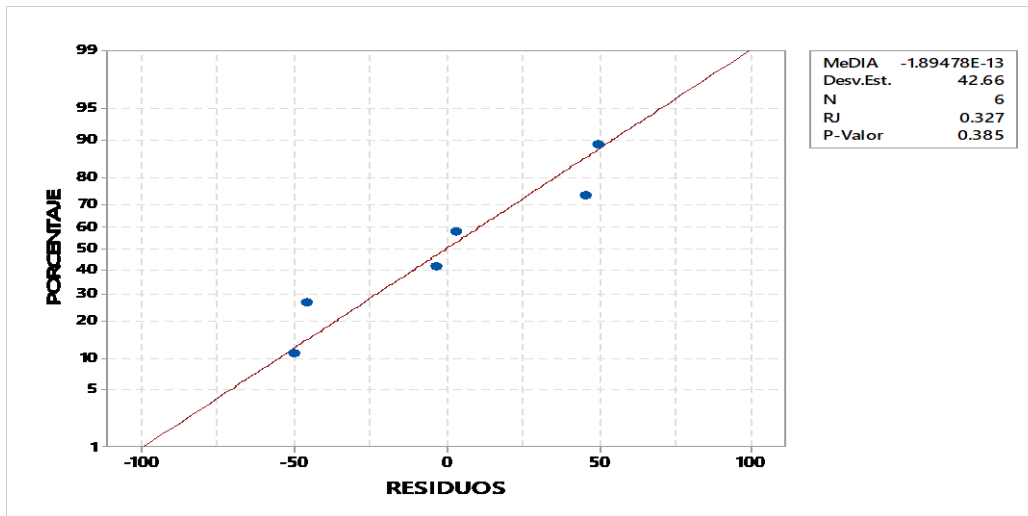
**Figura 34: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 34.

- **Viscosidad a 45°C (cP)**



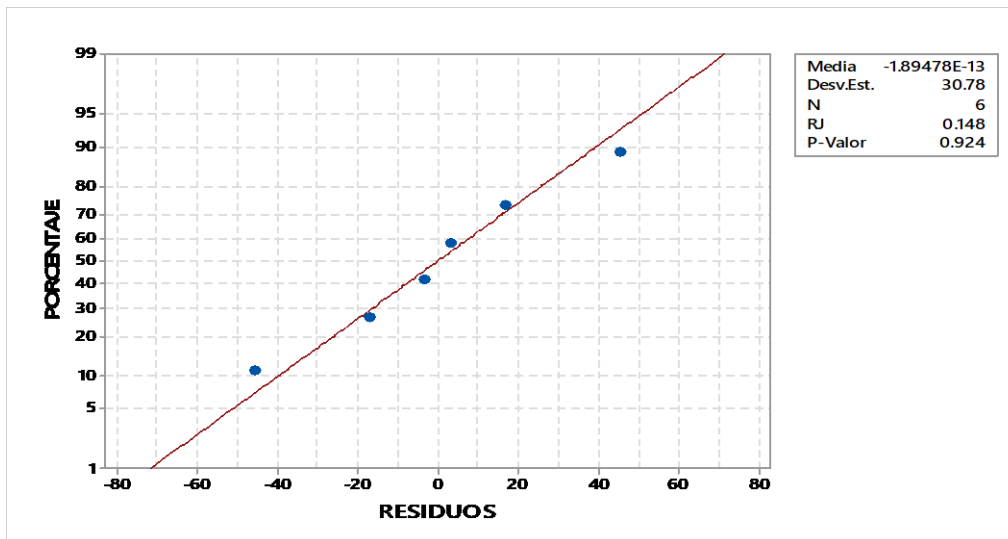
**Figura 35: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 35.

- **Viscosidad final (cP)**



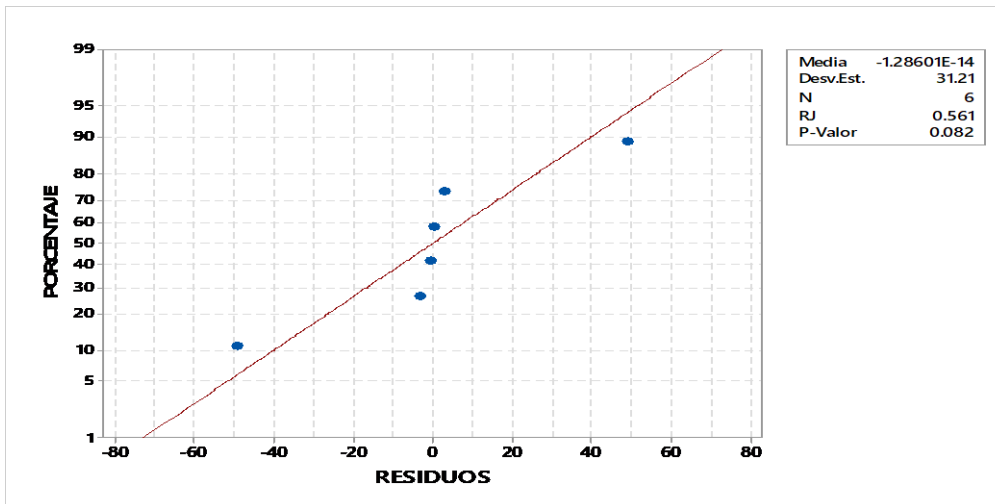
**Figura 36: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 36.

- Breakdown o descomposición (cP)



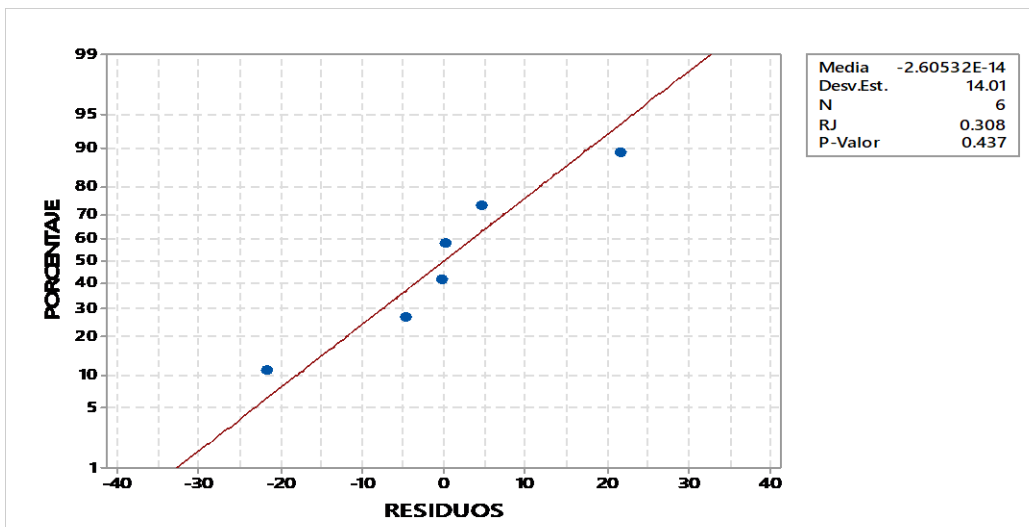
**Figura 37: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 37.

- Setback o retrogradación (cP)



**Figura 38: Grafica de probabilidad de residuos normal**

Ho: los residuos siguen una distribución normal con media cero

H1: los residuos no siguen una distribución normal con media cero

- F. Se concluye que los residuos siguen un patrón de comportamiento normal de acuerdo a lo observado en la Figura 38.

## Anexo 10: Resultados obtenidos del análisis del contenido de amilosa y amilopectina de las muestras de almidón



**PERÚ** Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



### CERTIFICADO DE ANALISIS

PROYECTO : Evaluación de las Características Físico Químicas y Tecnofuncionales en Almidones de Oca (Oxalis tuberosa), Kaya y Uma Kaya.  
 INTERESADOS : Maritza Regina Yana Calsin.  
 DIRECCION :  
 PROCEDENCIA : Juliaca.  
 PRODUCTO : Harina de Almidón de Oca.  
 TIPO DE ANALISIS : Amilosa y amilopectina.  
 N° DE ANALISIS : 03.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 06 de Diciembre del 2023.  
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 12 de Diciembre del 2023.

Determinaciones	T1			T2			T3		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
Amilosa %	26,81	26,40	26,13	24,93	25,00	24,03	26,28	26,99	25,04
Amilopectina %	73,19	73,60	73,87	75,07	75,00	75,97	73,72	73,01	74,96
Humedad %	--	--	--	--	--	--	--	--	--

T1= Almidón de oca, extraído del tubérculo fresco por el método húmedo.

T2= Almidón de Kaya, a la oca fresca se le aplico el tratamiento de congelado y secado al sol, se extrajo el almidón por método húmedo.

T3= Almidón de Uma kaya, a la oca fresca se le aplico el tratamiento de congelado, inmersión y secado, se extrajo el almidon por el método húmedo.

#### Normas ó Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:

Determinación de amilosa y amilopectina con Hidróxido de Sodio 1 N Lectura en Espectrofotómetro a 620 nm Técnica usada (ISO 1987).

H° 105 °C.g

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Almidón de Oca cuenta con los documentos referenciales, antes mencionados.

#### Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



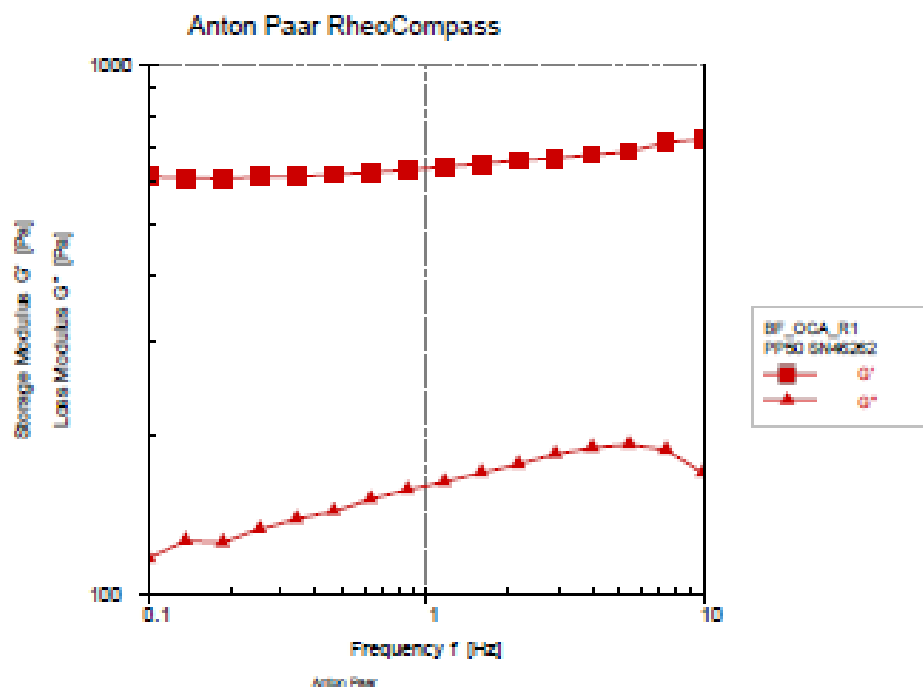
Ing. Jerge Canihua Rojas  
Responsable Laboratorio Analisis

Los resultados son aplicables a esta muestra.

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno  
 T: (051) 363 812  
 www.inia.gob.pe  
 www.minagri.gob.pe

## Anexo 11: Resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades viscoelásticas

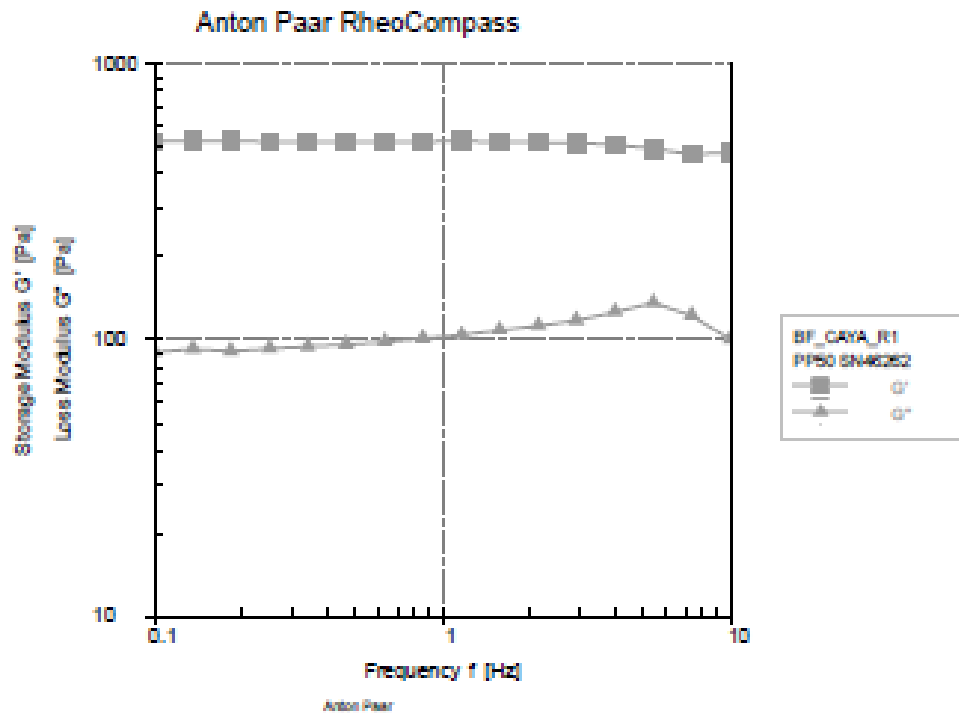
### BARRIDOS DE FRECUENCIA\_OCA\_CAYA\_UMACAYA



BF\_OCA\_R1, Frequency sweep, Interval 1

Point No. NR	Frequency $f$ [Hz]	Storage Modulus $G'$ [Pa]	Loss Modulus $G''$ [Pa]	Loss Factor $\tan(\delta)$ [1]	Shear Strain $\gamma$ [%]	Shear Stress $\tau$ [Pa]	Complex Viscosity $[\eta^*]$ [mPa·s]	Torque $M$ [mN·m]	Status Stat
1	10	722.97	170.32	0.236	1.01	7.471	11821	0.27469	WE-,WMa
2	7.36	711.68	188.08	0.264	0.575	4.2355	15926	0.15573	M-,WE-,W Ma
3	5.41	684.96	192.52	0.281	0.479	3.4069	20925	0.12526	M-,WE-,W Ma
4	3.98	675.67	189.81	0.281	0.436	3.0605	28057	0.11253	M-,WE-
5	2.93	665.79	184.6	0.277	0.421	2.911	37547	0.10703	M-
6	2.15	659.02	176.66	0.268	0.419	2.8609	50403	0.10519	M-
7	1.58	649.95	170.43	0.262	0.418	2.8113	67475	0.10336	M-
8	1.17	641.49	163.76	0.255	0.416	2.7572	90376	0.10138	M-,WE-
9	0.858	633.39	158.22	0.250	0.419	2.738	1.2114E+05	0.10067	M-,WE-
10	0.631	626.36	151.92	0.243	0.423	2.7287	1.6258E+05	0.10033	M-,WE-
11	0.464	620.02	144.11	0.232	0.428	2.7249	2.1827E+05	0.10019	M-,WE-
12	0.341	614.58	139.47	0.227	0.432	2.7223	2.9374E+05	0.10009	M-,WE-
13	0.251	613.65	133.45	0.217	0.433	2.7223	3.979E+05	0.10009	M-,WE-

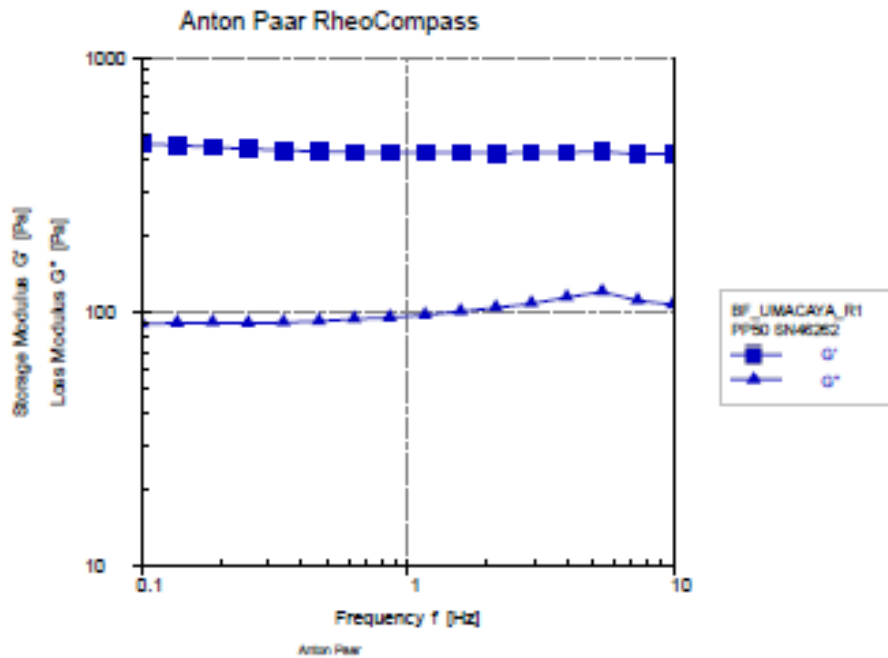
Anton Paar - EP Ingeniería de Industrias Alimentarias - UPEU - Juliaca - 2024



BF\_CAYA\_R1, Frequency sweep, Interval 1

Point No. Nº	Frequency f [Hz]	Storage Mo G' [Pa]	Loss Modul G'' [Pa]	Loss Factor tan(δ) [1]	Shear Strain γ [%]	Shear Stress τ [Pa]	Complex Vi [mPa·s]	Torque M [mN·m]	Status Stat
1	10	480.12	100.43	0.209	2.79	13.671	7806.7	0.50267	WE_WMa
2	7.36	473.65	123.16	0.260	1.18	5.7546	10588	0.21158	WE_WMa
3	5.41	496.29	137.08	0.276	0.734	3.7797	15142	0.13897	M_ WE_WMa
4	3.98	511.94	126.73	0.248	0.686	3.6168	21084	0.13298	M-
5	2.93	520.35	118.29	0.227	0.689	3.675	28999	0.13512	M-
6	2.15	523.38	112.97	0.216	0.689	3.689	39555	0.13563	M-
7	1.58	524.91	108.67	0.207	0.686	3.6774	53830	0.13521	M-
8	1.17	526.53	104.26	0.198	0.685	3.679	73270	0.13527	M-
9	0.858	525.49	101.1	0.192	0.686	3.6702	99299	0.13495	M-
10	0.631	524.73	98.301	0.187	0.686	3.6602	1.3466E+05	0.13458	M-
11	0.464	525.62	96.159	0.183	0.685	3.658	1.8322E+05	0.1345	M-
12	0.341	524.6	94.645	0.180	0.685	3.6534	2.4847E+05	0.13433	M-
13	0.251	524.89	93.052	0.177	0.686	3.6545	3.3776E+05	0.13437	M-
14	0.185	527.83	91.089	0.173	0.684	3.6657	4.6134E+05	0.13478	M-

Anton Paar - EP Ingeniería de Industrias Alimentarias - UPeU - Juliaca - 2024



BF\_UMACAYA\_R1, Frequency sweep, Interval 1

Point No. NR	Frequency f [Hz]	Storage Mo G' [Pa]	Loss Modul G'' [Pa]	Loss Factor tan(δ) [1]	Shear Strain γ [%]	Shear Stress τ [Pa]	Complex Vi [mPas]	Torque M [mNm]	Status Stat
1	10	420.21	107.3	0.255	2.11	9.1477	6902.4	0.33634	WE-,WMa
2	7.36	417.1	111.25	0.267	1.53	6.5865	9339.4	0.24217	WE-,WMa
3	5.41	428.76	120.44	0.281	1.03	4.5719	13098	0.1681	M-
4	3.98	424.17	114.39	0.270	1.03	4.5154	17563	0.16602	M-
5	2.93	423.3	108.23	0.256	1.03	4.4927	23744	0.16518	M-
6	2.15	422.84	104.26	0.247	1.03	4.474	32172	0.1645	M-
7	1.58	423.69	100.75	0.238	1.03	4.4682	43733	0.16429	M-
8	1.17	424.42	97.658	0.230	1.03	4.4737	59450	0.16449	M-
9	0.858	425	95.387	0.224	1.03	4.4707	80825	0.16438	M-
10	0.631	425.61	94.11	0.221	1.03	4.4766	1.0995E+05	0.16459	M-
11	0.464	428.74	92.307	0.215	1.03	4.4981	1.5038E+05	0.16539	M-
12	0.341	432.92	91.273	0.211	1.03	4.539	2.0622E+05	0.16689	M-
13	0.251	438.69	90.554	0.206	1.02	4.5853	2.8382E+05	0.16859	M-
14	0.185	445.17	91.176	0.205	1.02	4.6551	3.9139E+05	0.17116	M-

## Anexo 12: Resultados obtenidos de la evaluación de propiedades térmicas



### INFORME DE ENSAYO N° PK – 312

#### 1. Datos del solicitante

Cliente:	Maritza Regina Yana Calsin
Teléfono de contacto:	931364990
Descripción de la muestra:	Tres (03) muestras de almidón.
Condiciones toma de muestra:	Tomada por el cliente
Fecha de toma de la muestra:	Tomada por el cliente
Lugar de recepción:	En las instalaciones de la empresa PANKARANA

#### 2. Datos de la muestra

Las muestras enviadas corresponden a muestras en polvo de almidón identificadas como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Muestra enviada por el cliente.

☎ 01-3036373 - 937804760

✉ ventas@pankarana.com

🌐 www.pankarana.com

### 3. Método empleado

El método empleado está basado en la referencia enviada por el cliente. Se ha usado un analizador térmico simultáneo Perkin Elmer ST 6000 calibrado previamente. Las muestras fueron preparadas con agua destilada en relación de 4:1 y en reposo por 60 minutos. Las muestras fueron calentadas desde temperatura ambiente hasta 100°C con una rampa de calentamiento de 5°C. Los resultados fueron calculados con el software TRIOS de TA instruments. Así, las temperaturas iniciales (Onset), picos máximos, temperaturas de finalización (Endset) y entalpías de gelatinización fueron calculadas.

### 4. Resultados

Los resultados de los ensayos realizados se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Resultados característicos de la evaluación térmica por DSC.

Muestra	Temp. Inicial (°C)	Temp. Máxima (°C)	Temp. Final (°C)	$\Delta H_{gelatinización}$ (J/g)
T <sub>1</sub>	46.92	55.09	58.81	119.66
T <sub>2</sub>	49.55	57.30	65.80	187.62
T <sub>3</sub>	50.32	59.86	70.06	135.80

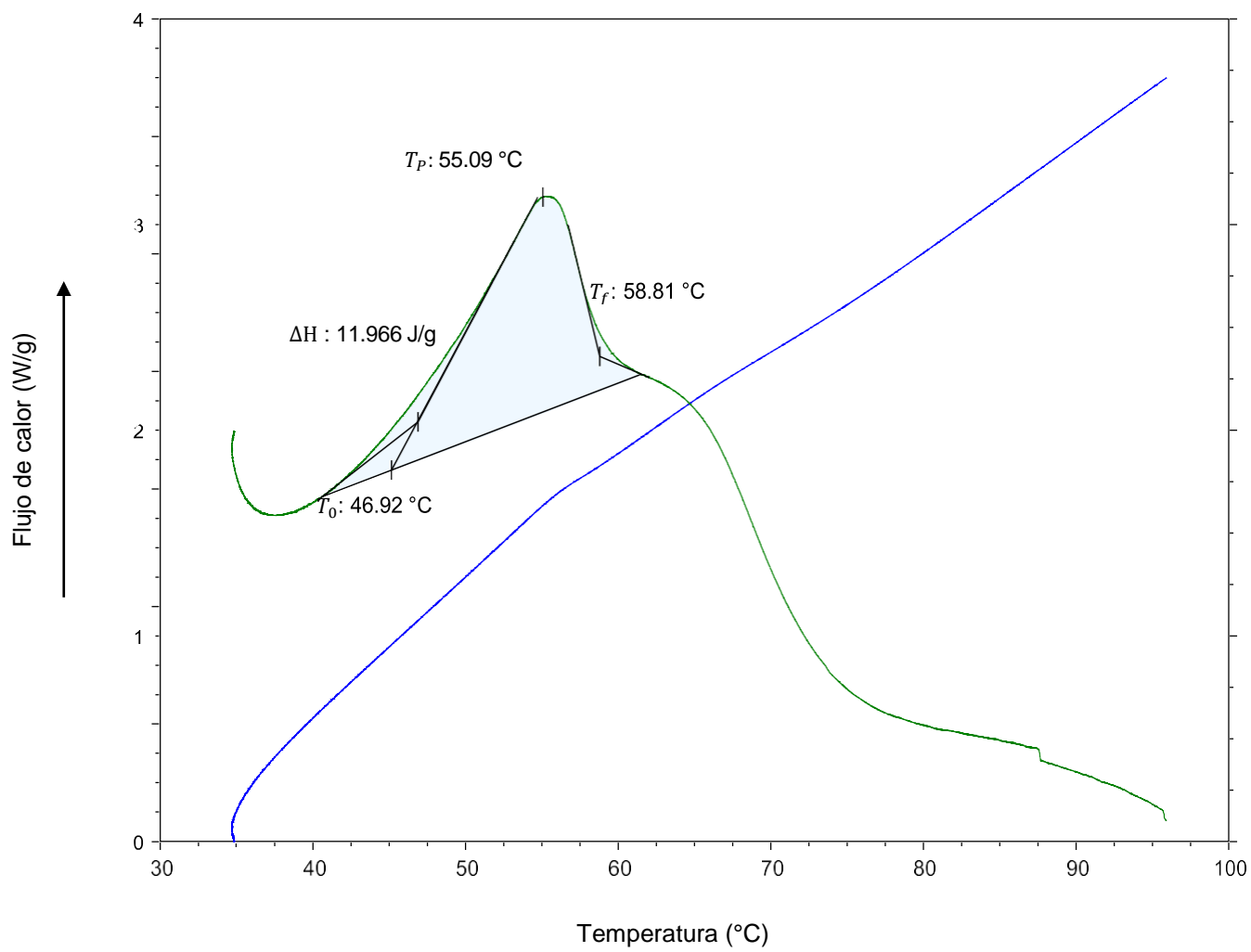
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) cuya(s) fecha, descripción y/o el tipo 2 del presente documento.

11 de diciembre de 2023

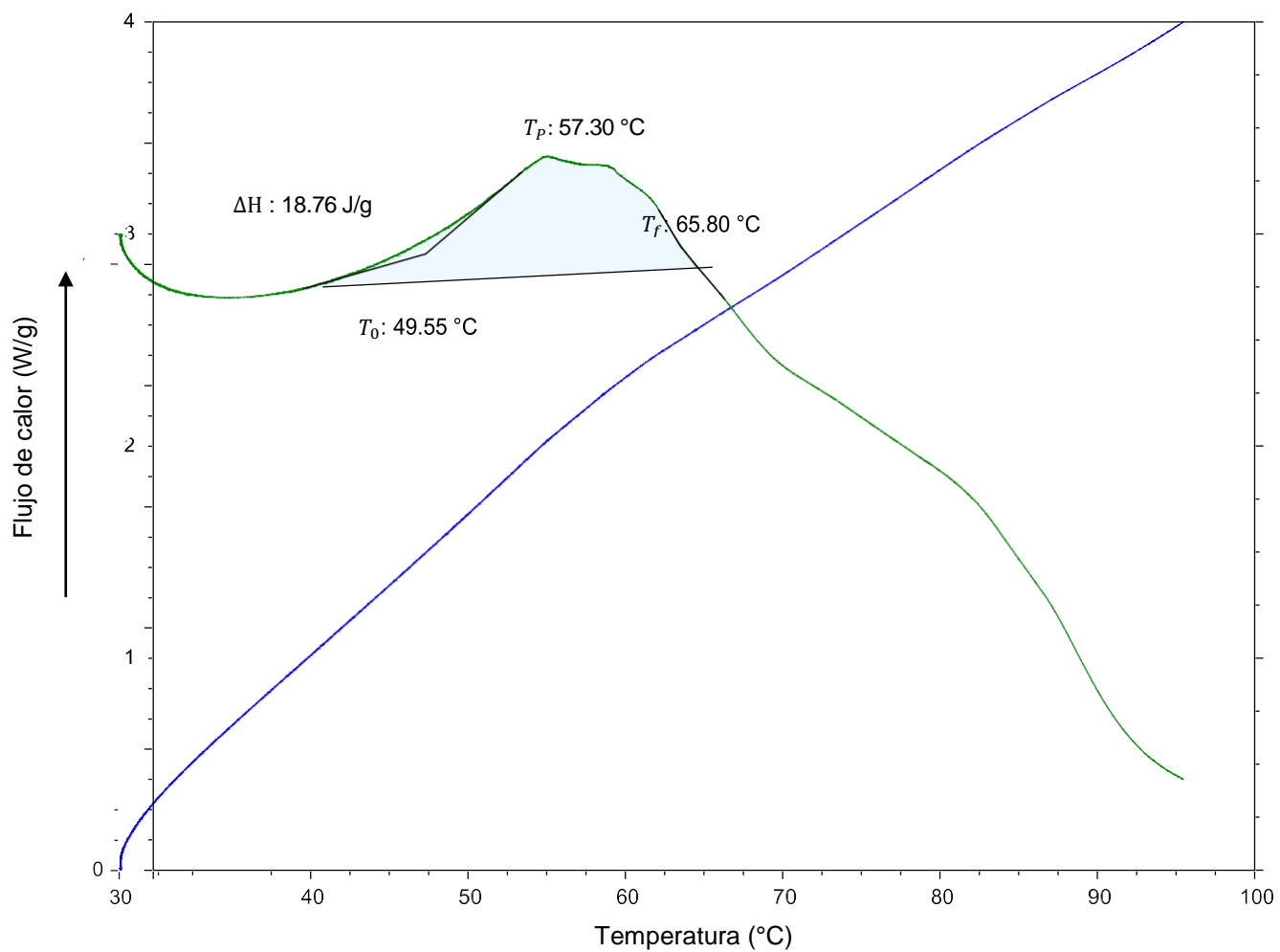


EWALDY TITO QUILLA  
Ingeniero y Gerente General  
Director de Investigación y Desarrollo  
PANKARANA S.A.C.

# MUESTRA T1



### MUESTRA T2



### MUESTRA T3

