

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por

NANCY ACOSTA GUIZADO

**EFECTO DE LA MODIFICACIÓN FÍSICA POR
RECOCIDO DEL ALMIDÓN NATIVO DE MASHUA
(*Tropaeolum tuberosum*) VARIEDAD AMARILLA,
EN SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y
FUNCIONALES**

Asesora:

ING. GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2023



APROBACION DEL ASESOR

Quién suscribe:

Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez, por la presente:

CERTIFICA,

Que, el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial, NANCY ACOSTA GUIZADO ha culminado satisfactoriamente el informe final de trabajo de investigación intitulado: "(EFECTO DE LA MODIFICACIÓN FÍSICA POR RECOCIDO DEL ALMIDÓN NATIVO DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) VARIEDAD AMARILLA, EN SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES)". Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Talavera, 08 de mayo del 2023


Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez
Asesor de tesis


Br. Nancy Acosta Guizado
Tesista



FACULTAD DE INGENIERIA

**ACTA DE SUSTENTACION
DE TESIS**

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 07:00 horas del día 01 de marzo del año 2023, se reunieron los docentes: M.Sc. Thomas Ancco Vizcarra, Dr. Denis Hernán Gutiérrez Martínez, Ing. Juvenal Rivas Leguía, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "EFECTO DE LA MODIFICACIÓN FÍSICA POR RECOCIDO DEL ALMIDÓN NATIVO DE MASHUA (*TROPAEOLUM TUBERUSUM*) VARIEDAD AMARILLA, EN SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES", cuyo autor es el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **NANCY ACOSTA GUIZADO**, el asesor Ing. Gina Genoveva Toro Rodríguez, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ: APROBAR** por **UNANIMIDAD** al Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **NANCY ACOSTA GUIZADO**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
15	QUINCE	BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

M.Sc. Thomas Ancco Vizcarra
Presidente del Jurado Evaluador

Dr. Denis Hernán Gutiérrez Martínez
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Ing. Juvenal Rivas Leguía
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, NANCY ACOSTA GUIZADO, identificado (a) con DNI N°72001925 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Declaro bajo juramento que el informe final de tesis Titulado: "(EFECTO DE LA MODIFICACIÓN FÍSICA POR RECOCIDO DEL ALMIDÓN NATIVO DE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) VARIEDAD AMARILLA, EN SUS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y FUNCIONALES)".

Es auténtico y no vulnera los derechos de autor. Además, su contenido es de entera responsabilidad del autor (es) de la tesis, quedando la UNAJMA exenta de toda responsabilidad en caso de atentar contra la Ley de propiedad intelectual y derechos de autor.

Andahuaylas, 25 de setiembre de 2023.

.....
Tesista: Nancy Acosta Guizado
N° DNI:72001925
E-mail:nancyacostaguizado@gmail.com
N° Celular:951105543

.....
Asesora: Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez
N° DNI:32909658
E-mail:gtoro@unajma.edu.pe
N° Celular:943633572

NOMBRE DEL TRABAJO

**EFFECTO DE LA MODIFICACIÓN FÍSICA P
OR RECOCIDO DEL ALMIDÓN NATIVO DE
MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) VA**

AUTOR

Nancy Acosta Guizado

RECUENTO DE PALABRAS

21219 Words

RECUENTO DE CARACTERES

116903 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

103 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.8MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 9, 2023 8:00 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 9, 2023 8:02 PM GMT-5

● **7% de similitud general**

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

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



● 7% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	repositorio.unajma.edu.pe Internet	2%
2	secgen.unajma.edu.pe Internet	1%
3	hdl.handle.net Internet	<1%
4	repositorio.upao.edu.pe Internet	<1%
5	es.scribd.com Internet	<1%
6	dspace.unitru.edu.pe Internet	<1%
7	repositorio.une.edu.pe Internet	<1%
8	fr.scribd.com Internet	<1%
9	redi.unjbg.edu.pe Internet	<1%

10	docplayer.es	Internet	<1%
11	repositorio.unjbg.edu.pe	Internet	<1%
12	Cherakkathodi Sudheesh, Kappat Valiyapeediyekkal Sunooj, Johnsy Ge...	Crossref	<1%
13	Vivanco Nunez, Pierre Moises. "Fundamentos para una Concepcion de ...	Publication	<1%
14	repositorio.uns.edu.pe	Internet	<1%
15	repository.ut.edu.co	Internet	<1%
16	1library.co	Internet	<1%
17	apirepositorio.unh.edu.pe	Internet	<1%



Br. Nancy Acosta Guizado
Tesisista



Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez
Asesor de tesis



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

Unidad de Investigación de la Facultad Ingeniería
C012-2023

Andahuaylas, 12 de setiembre de 2023

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería, expide la:

Constancia

De porcentaje de similitud (07%) según el software Turnitin, al informe final de investigación: Efecto de la modificación física por recocido del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad amarilla, en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Presentado por la Bach. Nancy Acosta Guizado cuyo Asesor es la Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez.

Dra. María del Carmen Delgado Laine
Presidente de la Unidad de Investigación de la
Facultad de Ingeniería

MSc. Fidelia Tapia Tadeo
Miembro de la
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

M.Sc. Richard Carrión Abollaneda
Miembro de la
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

Dedicatoria

Agradecer a Dios por haberme dado la vida, su infinito amor, guiar mi camino y darme la oportunidad de cumplir mis metas.

A mis queridos padres Clemente y Juana por sus consejos y enseñanzas sabias, las cuales, fueron una motivación para yo seguir luchando. A mis hermanos (Amanda y Nicanor), por su comprensión y apoyo incondicional.

Epígrafe

Los resultados que consigues serán directamente proporcionales al esfuerzo que aplicas.

Denis Waitley

Agradecimiento

A la Universidad Nacional José María Arguedas y en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por brindarme la oportunidad de estudiar, así como a cada uno de los maestros por compartir sus conocimientos durante mi desarrollo profesional.

También expresar mi agradecimiento a mi estimada asesora Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez por su constante apoyo, por brindarme su confianza e invaluable colaboración en el logro de este trabajo de investigación.

A los miembros del jurado, Ing. Thomas Ancco Vizcarra, Ing. Denis Hernán Gutiérrez Martínez, Ing. Juvenal Rivas Leguía, ya que gracias a la rigurosidad de sus revisiones se logró terminar este trabajo de investigación.

A Ing. Félix, Ing. Ridher, Ing. Hersón, Ing. Kelly, Ing. Mirian, por la orientación en la parte experimental de esta investigación y a todos los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial que me guiaron para la culminación de esta investigación.

A Beatriz, Dina, Danitza, Susan por su amistad y motivación.

Índice

Dedicatoria	viii
Agradecimiento.....	x
Índice de tablas	xv
Índice de figuras	xvi
Índice de anexos	xvii
Abreviaturas y símbolos.....	xviii
Resumen	xix
Abstract	xx
Chumasqa	xxi
INTRODUCCIÓN.....	22
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	24
1.1. Situación problemática	24
1.2. Formulación del problema	24
1.2.1. Problema general.....	24
1.2.2. Problemas específicos	24
1.3. Hipótesis.....	25
1.3.1. Hipótesis General:.....	25
1.3.2. Hipótesis Específicos:	25
1.4. Objetivos de la investigación	25
1.4.1. Objetivo General	25
1.4.2. Objetivos específicos	26
1.5. Justificación de la investigación	26
CAPITULO II: ANTECEDENTES	27
2.1. Antecedentes internacionales	27
2.2. Antecedentes Nacionales	28
2.3. Antecedentes locales.....	29
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO	30
3.1. Bases teóricas	30

3.2. Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>).....	30
3.2.1. Generalidades.....	30
3.2.2. Taxonomía	30
3.2.3. Descripción botánica	30
3.2.4. Composición	31
3.2.5. Producción de mashua.....	32
3.2.6. Variedades de mashua	33
3.2.7. Almidón de mashua.....	33
3.2.8. Usos de mashua	34
3.3. Almidón	34
3.3.1. Propiedades fisicoquímicas del almidón.....	35
3.3.1.1. Gránulo del almidón	35
3.3.1.2. La amilosa	37
3.3.1.3. La amilopectina.....	38
3.3.2. Propiedades funcionales del almidón	39
3.3.2.1. Gelatinización	39
3.3.2.2. Claridad de pastas	41
3.3.2.3. Índice de absorción de agua	41
3.3.2.4. Poder de hinchamiento	42
3.3.2.5. Índice de solubilidad.....	42
3.4. Almidón modificado	42
3.4.1. Tipos de modificaciones de almidones	43
3.4.1.1. Modificaciones físicas	44
3.4.1.2. Modificaciones químicas	44
3.4.1.3. Modificación enzimática	44
3.5. Recocado (ANN).....	45
3.5.1. Aplicaciones del almidón modificado por recocado	46
3.6. Marco conceptual	46
3.6.1. Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	46
3.6.2. Almidón	46
3.6.3. Almidón nativo.....	46

3.6.4. Almidón modificado	47
3.6.5. Modificación física del almidón	47
3.6.6. Recocido (ANN)	47
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	48
4.1. Lugar de ejecución	48
4.2. Materiales, instrumentos, equipos y reactivos	48
4.2.1. Materiales de investigación	48
4.2.2. Instrumentos y equipos	49
4.2.3. Reactivos e insumos	49
4.3. Población y muestra	50
4.3.1. Población	50
4.3.2. Muestra	50
4.3.3. Unidad de análisis	50
4.4. Tipo de investigación	51
4.4.1. De acuerdo al fin que persigue	51
4.4.2. De acuerdo a la técnica de contrastación	51
4.4.3. De acuerdo al tiempo	51
4.5. Metodología experimental	51
4.5.1. Obtención del almidón nativo de mashua	51
4.5.2. Obtención del almidón modificado de mashua por recocido (ANN)	54
4.6. Métodos de análisis	56
4.6.1. Análisis de propiedades fisicoquímicas	56
4.6.1.1. Determinación del tamaño de gránulo	56
4.6.1.2. Determinación de la amilosa y amilopectina	56
4.6.2. Análisis de propiedades funcionales	56
4.6.2.1. Determinación de la temperatura de gelatinización:	56
4.6.2.2. Determinación de la claridad de pastas:	56
4.6.2.3. Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA), Índice de absorción de agua (IAA), Poder de hinchamiento:	56
4.7. Diseño experimental	56
4.7.1. Diseño de matriz experimental	56

4.7.2. Análisis estadístico.....	57
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	60
5.1. Propiedades fisicoquímicas del almidón modificado.....	60
5.1.1. Tamaño de gránulo de almidón modificado.....	60
5.1.2. Contenido de amilosa.....	63
5.1.3. Contenido de amilopectina.....	64
5.2. Propiedades funcionales del almidón modificado.....	65
5.2.1. Temperatura de gelatinización.....	65
5.2.2. Claridad de pasta.....	67
5.2.3. Índice de absorción de agua (IAA).....	69
5.2.4. Poder de hinchamiento.....	70
5.2.5. Índice de solubilidad.....	72
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXOS.....	89

Índice de tablas

Tabla 1. Composición químico proximal de mashua en fresco.....	32
Tabla 2. Contenido promedio de almidón en porcentaje en peso.....	35
Tabla 3. Contenido de amilosa y amilopectina de fuentes principales de almidón	39
Tabla 4. Temperatura de gelatinización de almidón de fuentes principales.....	41
Tabla 5. Lista de materiales de investigación.....	48
Tabla 6. Lista de equipos de investigación.....	49
Tabla 7. Lista de reactivos de la investigación	50
Tabla 8. Matriz de diseño experimental.....	57
Tabla 9. Análisis de varianza para el diseño factorial 2 ²	58
Tabla 10. Tamaño de gránulo del almidon modificado	60
Tabla 11. Contenido de amilosa del almidón modificado	63
Tabla 12. Contenido de amilopectina del almidón modificado.....	64
Tabla 13. Temperatura de gelatinización del almidón modificado	65
Tabla 14. Claridad de pasta del almidón modificado	67
Tabla 15. Índice de absorción de agua del almidón modificado	69
Tabla 16. Poder de hinchamiento del almidón modificado	70
Tabla 17. Índice de solubilidad del almidón modificado.....	72

Índice de figuras

Figura 1. Planta de la mashua	31
Figura 2. Tubérculo de mashua	33
Figura 3. Amilosa y amilopectina del gránulo de almidón.....	36
Figura 4. Zonas amorfas y cristalinas del gránulo de almidón	36
Figura 5. Segmento de la estructura de la amilosa	37
Figura 6. Segmento de la estructura de la amilopectina.....	38
Figura 7. Gelatinización del almidón	40
Figura 8. Tipos de modificación del almidón	45
Figura 9. Diagrama de bloque de la extracción de almidón de mashua	53
Figura 10. Diagrama de bloque para modificación del almidón por recocado.....	55
Figura 11. Gránulos de almidón nativo de mashua	62
Figura 12. Gránulos de almidones modificados por recocado	62

Índice de anexos

Anexo 1. Metodología para determinar de propiedades fisicoquímicas.....	89
Anexo 2. Metodología para determinar las propiedades funcionales	91
Anexo 3. Curva estándar de amilosa.	94
Anexo 4. Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo	94
Anexo 5. Propiedades fisicoquímicas modificadas del almidón de mashua	95
Anexo 6. Resultados de las propiedades funcionales del almidón modificado.	95
Anexo 7. Analisis de varianza y prueba LSD de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón modificado	97
Anexo 8. Gráfica de efectos principales.....	101
Anexo 9. Fotografía de mashua variedad amarilla	104
Anexo 10. Fotografías de la realización de la parte experimental.	104
Anexo 11. Matriz de consistencia.....	107

Abreviaturas y símbolos

ANN	: Recocido
bs	: Base seca
g	: Gramos
H	: Horas
H _a	: Hipótesis alterna
H _o	: Hipótesis nula
HMT	: Tratamiento calor humedad
IAA	: Índice de absorción de agua
ISA	: Índice de solubilidad de agua
kg	: Kilogramos
L	: Litros
min	: Minutos
m.s.n.m	: Metros sobre el nivel del mar.
mL	: Mililitro
NaOH	: Hidróxido de sodio
T°	: Temperatura
t	: Tiempo
N	: Normalidad
RPM	: Revoluciones por minuto
°C	: Grados Celsius
µm	: Micrómetro

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la modificación física por recocado en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad amarilla. Para lo cual, el recocado se realizó por incubación a temperaturas (50 y 55 °C) y concentraciones (25 y 30%) durante 8 horas. En ello se aplicó el diseño factorial 2² para determinar el efecto de los factores. Las propiedades fisicoquímicas estudiadas, tamaño de gránulo se determinaron por microscopio óptico, el contenido de amilosa y amilopectina por método espectrofotométrico, las propiedades funcionales se determinaron por gravimetría. Los resultados para las propiedades fisicoquímicas mostraron que solo el factor temperatura tuvo efecto significativo sobre el tamaño de gránulo obteniéndose valores (10.79 a 13.56 µm); sin embargo, no presentó efecto significativo de los factores en el contenido de amilosa (20.58 a 21.35 %) y amilopectina (78.65 a 79.42 %). Respecto a los resultados de las propiedades funcionales estudiadas también sólo el factor temperatura tuvo efecto significativo, siendo los valores para temperatura de gelatinización (61.40 a 63 °C), claridad de pasta (21.70 a 28.60 %), índice de absorción de agua (10.67 a 12.63 g gel/g muestra), poder de hinchamiento (10.85 a 13.06 g gel/g muestra) e índice de solubilidad (1.65 a 3.51 %). Finalmente se llegó a la conclusión de que los factores de estudio en el recocado del almidón de mashua no afectaron el contenido de amilosa, amilopectina y solo el factor temperatura de recocado afectó el tamaño de gránulo, asimismo aumentó la temperatura de gelatinización y el índice de solubilidad, disminuyendo la claridad de pasta, índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento.

Palabras claves: Mashua, recocado, almidón, propiedades fisicoquímicas, propiedades funcionales.

Abstract

The objective of this research was to determine the effect of physical modification by annealing on the physicochemical and functional properties of the native starch of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) yellow variety. For which, the annealing was carried out by incubation at temperatures (50 and 55 °C) and concentrations (25 and 30%) for 8 hours. In this, the factorial design 2² was applied to determine the effect of the factors. The physicochemical properties studied, granule size were determined by optical microscope, amylose and amylopectin content by spectrophotometric method, functional properties were determined by gravimetry. The results for the physicochemical properties showed that only the temperature factor had a significant effect on the granule size, obtaining values (10.79 to 13.56 μm); however, it did not present a significant effect of the factors on the content of amylose (20.58 to 21.35%) and amylopectin (78.65 to 79.42%). Regarding the functional properties studied, only the temperature factor also had a significant effect, being the values for gelatinization temperature (61.40 to 63 °C), paste clarity (21.70 to 28.60 %), water absorption rate (10.67 to 12.63 g gel/ g sample), swelling power (10.85 to 13.06 g gel/g sample) and solubility index (1.65 to 3.51%). Finally, it was concluded that the study factors in the annealing of mashua starch did not affect the content of amylose, amylopectin, and only the annealing temperature factor affected the granule size and also increased the gelatinization temperature and the solubility index, decreasing paste clarity, water absorption index and swelling power.

Keywords: Mashua, annealing, starch, physicochemical properties, functional properties.

Chumasqa

Kay taripay qillqam aypayta munakurqa “Qillu maswapa (*Tropaeolun tuberosum*) akunkunta tanichiywan tikrachirqa, akunkunpi, maskaynin karqa propiedad físicoquímico, qinaspa propiedad funcional”. Akunku tanichisqa karqa (50, 55 °C) quñichiywan, qinaspa (25, 30%) akunku yakuyuqpi isqun pachapi. Rurasqa karqa Diseño factorial experimental 2². Propiedad físicoquímico: akunkupa chikan microscopio óptico nisqanwan qawasqa karqa, amilosa hinaspa amilopectina método espectrofotométrico nisqanwan, propiedad funcional método gravimétrico ruwasqa karqa. Qinallataqmi propiedad físicoquímica, akunku tiqrasqa karqa quñiyllawan, akunku chikaynin kasqa 10.79 qinaspa 13.56 (µm), manan tikrachirqachu amilosa amilopectina nisqanta, amilosa kasqa 20.58 qinaspa 21.35 (%), amilopectina kasqa 78.65 qinaspa 79.42%. Qinallataqmi propiedades funcionales nisqanpas quñichiyllawan tikrachirqa, quñiy luklluyayninmi kasqa 61.4 qinaspa 63 (°C), claridad de pasta kasqa 21.70 qinaspa 28.60 (%), yaku suquyninñataqmi 10.67 hinaspa 12.63 g gel/g muestra, punkiyaynin kasqa 10.85 qinaspa 13.06 g gel/g muestra, yakupi chulluynin kasqa 1.65 qinaspa 3.51 (%). Tukupanapaq, akunku tanichiyqa, akunku chikanta punkirachirqa qinañataq mana amilosa, amilopectina tikrachirqachu, qinaspa quñiy lluklluyaynininta qinaspa yaku chulluyninta yapaykurqa, qinallataq claridad de pasta, yaku suquyninpi, punkiyayninpi pisiykachirqa.

Chanin simikuna: maswa, tanichiy, akunku, propiedades físicoquímico, funcional.

INTRODUCCIÓN

Las principales regiones productoras de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en el Perú, son Cusco, Puno, Apurímac, Ayacucho, Junín, Huánuco, Huancavelica. En el departamento de Apurímac en el año 2021 la producción fue de 7,787 toneladas siendo el costo promedio 0.89 soles por kilogramo con rendimiento 8,614 kg/ha que depende del tipo de suelo y manejo agronómico. A la vez puede cultivarse con requerimiento mínimo de fertilizantes (MIDAGRI, 2021).

La mashua por su contenido de almidón es factible su uso. Sin embargo, el almidón en su forma nativa tiene una funcionalidad y aplicaciones deficientes para su utilización en la industria; por lo cual los almidones nativos requieren ser modificados. Entre los tipos de modificación tenemos el recocado que es un método de modificación económica y ecológica, que mejora las propiedades físicas y funcionales del almidón con posibilidades de aplicación en la industria y oportunidades de mercado, los almidones recocidos generalmente se utilizan en el sector alimentario, en pasta, pastelería, productos horneados, envases para alimentos (películas biodegradables, películas comestibles) y productos alimenticios congelados y enlatados (Martins et al., 2021).

En los últimos años la demanda de almidones modificados ha incrementado en paralelo al rápido desarrollo de la industria alimentaria, debido a que ofrecen variedad de beneficios (Abbas, 2010). Ante la demanda de almidones modificados, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la modificación física por recocado a diferentes temperaturas (50, 55 °C) y concentraciones (25 y 30%) en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua (*Tropaelum tuberosum*) variedad amarilla.

El contenido del informe está estructurado en cinco capítulos, de la siguiente manera:

CAPÍTULO I, contiene el problema de investigación, la formulación del problema, los problemas específicos, los objetivos de la investigación, sus objetivos específicos y su justificación.

CAPÍTULO II, se hace referencia los antecedentes de la investigación, se revisa investigaciones anteriores realizadas sobre modificación física por recocido en almidón nativo, propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones modificados.

CAPÍTULO III, contiene marco teórico, bases teóricas de la investigación, marco conceptual.

CAPÍTULO IV, describe la metodología de la investigación, lugar de ejecución, materiales, instrumentos y equipos, población y muestra de la investigación, el tipo de investigación, Método de análisis y diseño experimental.

CAPÍTULO V, se realiza la presentación, el análisis y la interpretación de los datos y se discuten los resultados. Por último, se presentan las correspondientes conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación problemática

En la provincia de Andahuaylas, región Apurímac la producción del tubérculo de la mashua generalmente es para autoconsumo y es de poca demanda en el mercado en comparación con otros tubérculos. La mashua es fuente de almidón, con potencial para ser utilizado en la industria alimentaria; sin embargo, el almidón nativo para ser comercializado en el mercado, requiere ser modificado, debido a que los almidones nativos producidos no son óptimos para un procesamiento posterior y tiene algunas deficiencias en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Ante las desventajas de los almidones nativos, la industria ha desarrollado procesos que permiten obtener almidones modificados para mejorar su desempeño y disminuir sus deficiencias, uno de los métodos es la modificación física por recocido, que utiliza agua y energía térmica para modificar el almidón (Wang et al., 2012). En la actualidad la industria demanda almidones modificados con diversidad de aplicaciones, por lo cual se requiere investigaciones y por ello el interés de conocer el efecto del recocido en el almidón nativo de mashua a diferentes temperaturas y concentraciones.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ✓ ¿Cuál es el efecto de la modificación física por recocido a diferentes temperaturas (50, 55 °C) y concentraciones (25 y 30%) en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) variedad amarilla?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es el efecto de la modificación física por recocido a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades fisicoquímicas (tamaño de gránulo, amilosa, amilopectina) del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*)?
- ✓ ¿Cuál es el efecto de la modificación física por recocido a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades funcionales (temperatura de gelatinización,

claridad de pasta, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento, índice de solubilidad) del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*)?

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General:

- ✓ La modificación física por recocido a diferentes temperaturas (50, 55 °C) y concentraciones (25 y 30%) afecta significativamente en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*).

1.3.2. Hipótesis Específicos:

- ✓ La modificación física por recocido a diferentes temperaturas y concentraciones afecta significativamente en las propiedades fisicoquímicas (tamaño de gránulo de almidón, amilosa, amilopectina) del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*).
- ✓ La modificación física por recocido a diferentes temperaturas y concentraciones afecta significativamente en las propiedades funcionales (Temperatura gelatinización, claridad de la pasta, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento índice de solubilidad de agua) del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

- ✓ Determinar el efecto de la modificación física por recocido a diferentes temperaturas (50, 55 °C) y concentraciones (25 y 30%) en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) variedad amarilla.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el efecto de la modificación física por recocido a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades fisicoquímicas (Tamaño de gránulo de almidón, amilosa, amilopectina) del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).
- ✓ Determinar el efecto de la modificación física por recocido a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades funcionales (Temperatura de gelatinización, claridad de pasta, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento, índice de solubilidad) del almidón nativo de mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

1.5. Justificación de la investigación

El almidón tiene diversidad de aplicaciones, de los cuales la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es fuente de almidón nativo, que al ser extraído y ser modificado se dará valor agregado a dicho producto.

La industria del almidón está en constante expansión y los procesos de modificación aumentan su versatilidad, adaptándolo a diferentes propósitos en las industrias alimentarias; por esta razón, se propuso determinar el efecto de la modificación física por recocido del almidón nativo de mashua a diferentes temperaturas (50,55 °C) y concentraciones (25, 30 %) sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales, con el fin de aportar información sobre las propiedades modificadas del almidón de mashua.

La modificación por recocido generara cambios, en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón proporcionando fiabilidad para resistir las exigencias del proceso alimentario, con diversidad de aplicaciones.

En el aspecto social el almidón modificado obtenido incrementará el costo del tubérculo y abrirá oportunidades de mercado para esta especie aumentando la producción de mashua beneficiando a los productores en las zonas rurales de los Andes.

CAPITULO II: ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes internacionales

B. Iromidayo et al.(2011), en su investigación “Propiedades de pasta, térmicas y funcionales del almidón recocado(ANN) y tratado con calor humedad (HMT) del frijol (*Canavalia gladiata*)”, reportaron que la modificación hidrotermal del almidón de frijol mediante recocado y tratamiento de calor humedad mejoró las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón sin destruir el gránulo del almidón. Los cambios en las temperaturas de empastado, las viscosidades máximas, el poder de hinchamiento y solubilidad y los parámetros de gelatinización de los almidones fueron causados por el reordenamiento en la estructura de las moléculas de amilopectina y amilosa después de las modificaciones.

Rojas et al. (2017), en su investigación “Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del almidón de frijol modificado hidrotérmicamente”, reportaron que las propiedades fisicoquímicas de los almidones modificados por recocado (ANN) de las variedades de frijol Negro y frijol Bayo como resultado incrementó la temperatura de gelatinización y no presentaron cambios en la capacidad de hinchamiento.

Wang et al. (2012), en su investigación “Recocado de almidón de guisante: nuevos conocimientos” Se recoció tres variedades de guisantes, en exceso de agua a 45 °C durante 24 y 72 h donde se determinaron los cambios en su estructura y funcionalidad. El recocado dio como resultado un hinchamiento levemente irreversible del gránulo de almidón, una disminución del poder de hinchamiento y la solubilidad del almidón así mismo presentó un aumento de las temperaturas de transición vítrea.

Zekun et al. (2022), en su estudio “Afecta el recocado los almidones de maíz normales y cerosos con la eliminación de las proteínas asociadas a los gránulos de almidón” reportaron que el recocado disminuyó significativamente la cristalinidad, la viscosidad de la pasta, el rango de temperatura de gelatinización, la pseudoplasticidad y la tixotropía de los almidones de maíz normales y cerosos. También afectó la digestibilidad de los almidones.

2.2. Antecedentes Nacionales

Espinoza (2017), en su investigación “Efecto del porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación en las características físicas y propiedades térmicas de almidón de papa (*Solanun tuberosum L.*) modificado (ANN) variedad yungay” evaluó el efecto del recocado a concentraciones (20, 30 y 40% p/p) incubadas a temperaturas (40, 50 y 60 °C) durante 8 horas. En conclusión, los tratamientos tuvieron efecto significativo en las propiedades térmicas (entalpía y porcentaje de gelatinización) y no en las características físicas (tamaño y forma del gránulo) de almidón de papa variedad Yungay. No se encontró efecto significativo del porcentaje de la suspensión (20, 30 y 40% p/p) sobre poder de hinchamiento y solubilidad.

Pérez (2018), en su investigación “Efecto de la concentración de suspensión y temperatura de tratamiento en las características físicas de geles de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) modificado por recocado”, realizó la modificación por recocado (ANN) a concentraciones (20, 30 y 40 % p/p) para luego ser incubadas a dos temperaturas (40 y 50 °C) durante 8 horas. En conclusión, la modificación de almidón por ANN (40%; 40 °C) presentó menores valores para tamaño de gránulo (9.64 μm) y poder de hinchamiento (7.33 g/g), mayor claridad (54.03%) y mayor estabilidad en refrigeración (6.98% sinéresis) y congelación (3.88% sinéresis).

Puelles (2019), en su investigación “Efecto de la concentración y temperatura del recocado en las propiedades mecánicas de películas elaboradas a partir de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) modificado”, caracterizó el almidón de oca nativo y modificado por recocado utilizando 2 temperaturas (42 y 50 °C) y dos concentraciones de suspensión (15 y 35%) durante 24 horas. El recocado tuvo efecto sobre las características físicas, funcionales y reológicas del almidón, generó reducción en la solubilidad y el poder de hinchamiento y aumento la firmeza de gel, la cristalinidad de los gránulos de almidón, el tiempo y la temperatura de formación de pasta, la viscosidad mínima y final aumentaron mientras que la viscosidad pico disminuyó.

Hermosa (2013), en su investigación “Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (*Tropaeolum tuberosum R&P*) y oca (*Oxalis tuberosa mol*)” “Determinaron los gránulos de almidón de oca los cuales fueron ovoidales y el tamaño

oscilo entre 23.61 y 38.50 μ (eje mayor) y 13.15 y 18.75 μ (eje menor) mientras que las de isaño fueron esféricas y su tamaño oscilo entre 5.60 y 26.32 μ (eje mayor) y 5.70 y 20.89 μ (eje menor). La viscosidad, solubilidad y poder de hinchamiento de los geles de almidón aumento a medida que incrementó la temperatura, el almidón de oca presento un punto máximo de viscosidad 70.40 centipoises (73.15 °C) y el de isaño a 14.02 centipoises (80.70 °C).

Surco (2004), en su investigación “Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (*Tropaeolum Tuberosum*), oca (*Oxalis Tuberosa*), olluco (*Ullucus Tuberosus*)” En cuanto a las características morfológicas, mediante el empleo de un microscopio Carl Zeiss, se encontró que los gránulos de almidón tenían la forma elíptica, triangular y globular con un tamaño promedio de 30, 15 y 10 micras para la oca, olluco y mashua respectivamente. Se encontró que la solubilidad de los gránulos de los almidones a 60 °C fue de 6.97% para la oca, 2.75% para el olluco y 2.27% para la mashua; mientras que el poder de hinchamiento varió entre 11.85, 8.36% y 4.51% para cada uno de ellos. La viscosidad determinada mediante un viscosímetro de Brookfield a 60 °C, fue de 504, 392 y 340 centipoise para la oca, olluco y mashua respectivamente.

2.3. Antecedentes locales

Quispe (2018), en su investigación “Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) de las variedades amarilla y negra” determino y comparo el contenido de amilosa, amilopectina, temperatura de gelatinización, índice de absorción de agua, índice de solubilidad, poder de hinchamiento y propiedades de pasta de los almidones aislados de mashua de las variedades amarilla (VA) y negra (VN), Los resultados obtenidos se analizaron mediante el Diseño Estadístico Completamente al Azar (DCA), en conclusión el almidón de mashua variedad amarilla, presentaron contenido de amilosa de 23%, amilopectina de 76.42%. temperatura de gelatinización (63.40 °C), el índice de absorción de agua 27.73 g gel/g, poder de hinchamiento 30.29 % y solubilidad 8.44 %.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Bases teóricas

3.2. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

3.2.1. Generalidades

La mashua es una planta nativa andina que se encuentra en la franja altoandina entre los 3500 y 4500 m.s.n.m. Debido al importante grado de variedad de este cultivo, es muy probable que Perú y Bolivia sean los países de origen (INIA, 2009, p. 45). La mashua es una planta que se comporta como una especie rústica, se adapta a zonas muy frías y suelos pobres sin necesidad de fertilizantes, asimismo, es resistente a nematodos y varias plagas (CIP, 2017).

Los Nombres comunes del (*Tropaeolum tuberosum*) por regiones o lugares, se nombra mashwa en Perú y Ecuador; ñu e isaño en el sur del Perú y Bolivia; cubio en Colombia (Tapia y Fries, 2007, p. 51).

3.2.2. Taxonomía

La clasificación taxonómica de la mashua según Perú Ecologico (2007)

Reino: Plantae

Filo : Angiospermae

Clase: Dicotyledoneae

Orden: Brassicales

Familia: Tropaeolaceae

Género: Tropaeolum

Especie : *Tropaeolum tuberosum*

3.2.3. Descripción botánica

La mashua, es una planta herbácea anual que crece de 20 a 90 cm de altura, de porte erecto al principio, luego semipostrado, postrado y con tendencia a enroscarse (unas más que otras) con una masa compacta en el follaje. Las raíces son adventicias, los tallos aéreos son cilíndricos, ramificados y de tonalidad púrpura-clara, púrpura-violeta y púrpura-oscura. Las hojas son alternas simples pentalobadas, generalmente con

nervadura palmada y distribuidas a lo largo del tallo, con un pecíolo bastante alargado de color verde oscuro. Las flores son solitarias y crecen en pedúnculos bastante largos. La corola y el cáliz son de color rojo o naranja brillante y los cinco sépalos superiores se extienden en un largo espolón. El fruto es un esquizocarpo; los tubérculos crecen sobre estolones cortos, grandes tubérculos con superficies brillantes que son largos, cilíndrico-cónicos y tienen distribuciones uniformes de colores secundarios con ojos profundos. El periodo vegetativo varía de 180 a 280 días y el rendimiento en kg/ha oscila entre 18 000 a 48 000 kg (INIA, 2009, p. 46). En la Figura 1 se muestra la planta de la mashua.

Figura 1.

Planta de la mashua



Fuente: Alimento Sagrado (2017).

3.2.4.Composición

La tabla 1 muestra la composición químico proximal en fresco en 100 g de mashua.

Tabla 1.

Composición químico proximal de mashua en fresco.

COMPUESTO	CANTIDAD (100 g)
Energía(kcal)	50
Agua(g)	87,4
Proteína(g)	1,5
Grasa(g)	0,7
Carbohidratos(g)	9,8
Fibra cruda (g)	0,9
Ceniza(g)	0,6
Calcio(mg)	12
Fosforo(mg)	29
Hierro(mg)	1
Retinol(mg)	12
Tiamina(mg)	0.1
Rivoflavina	0.12
Niacina(mg)	0.67
Ácido ascórbico(mg)	75,50

Fuente: Reyes et al. (2009).

3.2.5. Producción de mashua

En Perú, las principales regiones productoras de mashua son Cusco, Puno, Apurímac, Ayacucho, Junín, Huánuco, Huancavelica que abarcan alrededor del 88% , en el periodo 2005 al 2015 osciló alrededor de las 30 mil toneladas anuales es decir, se ha tenido un incremento del 36% de la producción anual nacional respecto a lo que era antes del año 2015. En cuanto a la productividad, para el 2013 se estimaba rendimientos de 5.2 a 6.2 t/ha mientras que para el 2019 se estima en promedio 7.0 t/ha es decir se mejora importante 17% en la productividad por hectárea para este cultivo. Sin embargo, el precio promedio por kg de mashua para el 2019 sólo fue de 1.03 soles, precio similar en los últimos 5 años (MIDAGRI, 2020) y (Dilas-Jiménez y Scurra-Toro, 2020) . En el año 2021 se produjo 43,667 toneladas de mashua en el Perú,

lo que representa 15,445 millones de soles a la economía nacional y en el año 2022 de enero a setiembre se produjo 49,899 toneladas de mashua a nivel nacional (MIDAGRI, 2022).

3.2.6.Variedades de mashua

Se han reconocido más de 100 variedades de mashua, existiendo colecciones de germoplasma en Ecuador y Perú, las clasificaciones por su coloración más comunes son: Occe año (plomiso), Yana año (negro), Puca año(rojo), Yurac año(blanco), kello año o Sapallu año(amarillo), Checche año(gris) y Muru año(morado) (Doylet y Rodríguez, 2018, p. 13). En la Figura 2 se muestra el tubérculo de mashua variedad amarilla.

Figura 2.

Tubérculo de mashua.



Fuente: Alimento Sagrado (2017).

3.2.7.Almidón de mashua

Los almidones de mashua variedad amarilla tienen bajo contenido de amilosa, son de cocción rápida, alto poder de hinchamiento, alta solubilidad en agua y elevada viscosidad; pero una baja estabilidad a la cocción bajo agitación o acción mecánica (Quispe, 2018). La caracterización física, química y funcional de los almidones de los tubérculos andinos como la mashua sugiere que estos almidones podrían ser utilizados en sistemas alimenticios y otras aplicaciones industriales. El tamaño del gránulo del almidón podría influenciar en la digestión; en este sentido, la mashua, con sus pequeños

gránulos, pueden convertirla un almidón altamente digerible. La ausencia de proteínas en los almidones aislados sugiere que estos almidones pueden utilizarse para preparar alimentos con alto contenido en glucosa. Estos almidones muestran una alta claridad, pero alta sinéresis cuando se someten a un proceso de congelación-descongelación (Lim, 2016).

3.2.8. Usos de mashua

El tubérculo de mashua se consume sancochada debiendo ser soleadas dos a tres días antes para que los tubérculos sean dulces y agradables. Se utiliza en sopas, segundos postres y mermeladas. Los brotes tiernos y las flores se comen cocidos como verduras. En la medicina tradicional se usa para prevenir inflamaciones a la próstata. Para contrarrestar la sinusitis utiliza la mashua fresca cortada en rodajas, calentadas en una plancha y colocadas en la frente del paciente durante una semana o hasta que sienta alivio. El agua hervida fría sirve para desinflamar y calmar el ardor de la piel producida por la exposición al sol. Tradicionalmente las plantas de mashua son utilizadas como barreras de protección en los cultivos de papa contra plagas de gorgojos y polillas (INIA, 2007, p. 65).

3.3. Almidón

El almidón es un polisacárido compuesta por dos polímeros distintos de glucosa. La más simple es el polímero lineal amilosa; la amilopectina es la forma ramificada. Es blanco e insípido que es insoluble en agua fría, alcohol u otros solventes. La fórmula química básica del almidón es $(C_6H_{10}O_5)_n$. El almidón se produce en las hojas verdes de las plantas a partir del exceso de glucosa producido durante la fotosíntesis y sirve a la planta como suministro de alimento de reserva y se almacena en los cloroplastos en forma de gránulos (Britannica, 2023). El almidón se presenta como estructuras altamente organizadas, conocidas como gránulos de almidón, que tiene propiedades térmicas y funciones únicas que han permitido su amplio uso en productos alimenticios y aplicaciones industriales (Ratnayake y Jackson, 2008). En la industria, las fuentes principales de almidón provienen de diferentes especies de plantas como el maíz, trigo, arroz, papas y yuca (Sánchez-Ken, 2021). En la Tabla 2 se muestra el contenido de almidón en porcentaje en peso de algunas fuentes.

Tabla 2.

Contenido promedio de almidón en porcentaje en peso

Fuentes de almidon	Porcentaje en peso del almidón (%)
Trigo	60-70
Maiz	62-70
Guisantes arrugados	30-40
Arroz	70
Cebada	6-70
Papa	20-28
Papa genéticamente modificado	10-20

Fuente: Amixon (s.f.).

3.3.1. Propiedades fisicoquímicas del almidón

Las propiedades fisicoquímicas más importantes son las características del gránulo (tamaño, color y forma, naturaleza cristalina), el peso molecular y el contenido de amilosa, amilopectina y composición proximal.

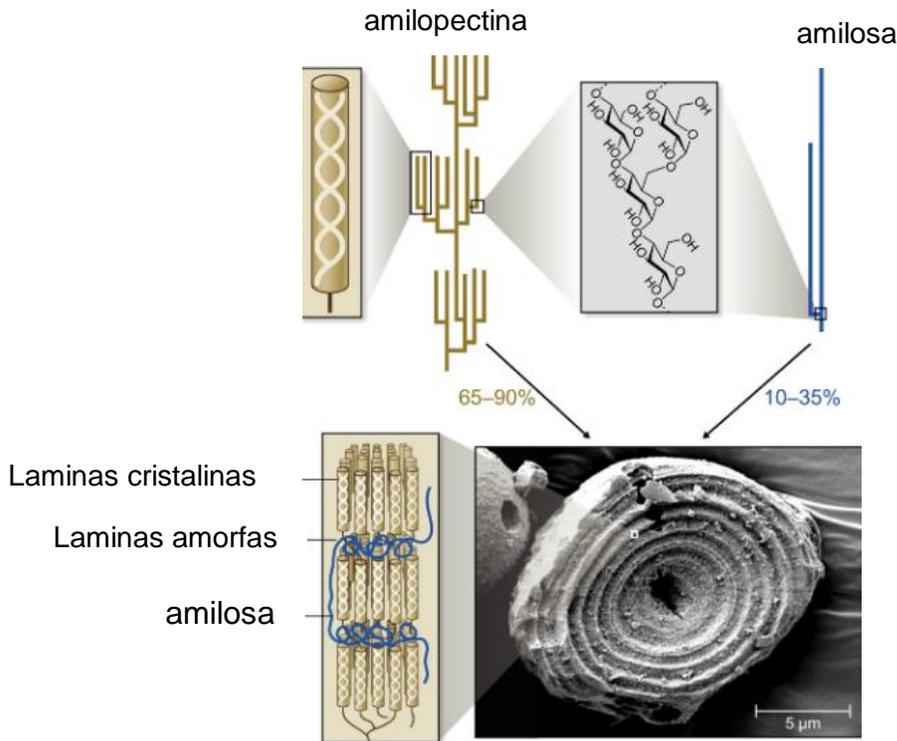
3.3.1.1. Gránulo del almidón

El gránulo de almidón es la forma principal de la naturaleza de almacenar energía durante largos períodos en las plantas verdes, se encuentran principalmente en semillas, raíces y tubérculos, pero también se encuentran en tallos, hojas, frutos. Se presentan en todas las formas y tamaños (esferas, elipsoides, polígonos, plaquetas, túbulos irregulares) y pueden ser de dimensiones largas. Las moléculas de amilosa, amilopectina, la estructura de los gránulos, cantidades de las moléculas de lípidos y proteínas presentes en los gránulos varían con la fuente botánica del almidón (Pérez et al., 2009). Los gránulos de almidón tienen un tamaño entre 2 y 100 micras, dependiendo del vegetal, aunque en un mismo vegetal aparece una cierta heterogeneidad de tamaño. Los gránulos de almidón de arroz están entre los más pequeños y los del almidón de papa, entre los más grandes (Calvo, 2023). Los gránulos de almidón están compuestos por la amilosa y amilopectina, la amilosa que constituye del 5 al 35% de la mayoría de los almidones naturales y tiene

una gran influencia sobre las propiedades del almidón en los alimentos mientras que la amilopectina constituye del 65 al 90% (Seung, 2020), Como se muestra en la Figura 3.

Figura 3.

Amilosa y amilopectina del gránulo de almidón

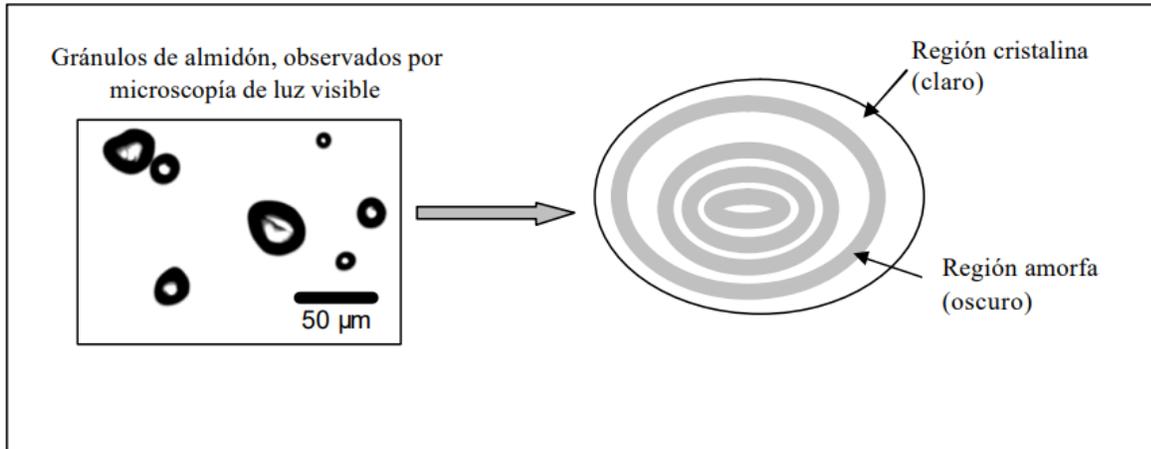


Fuente: Seung (2020).

Cornuéjols y Pérez (2010), afirman que a una escala más grande (microscópica), los gránulos de almidón están formados por la alternancia de depósitos amorfos y cristalinos, entre 100 y 800 nm de espesor. Estas estructuras se denominan anillos de crecimiento lo cual se puede visualizar en la Figura 4.

Figura 4.

Zonas amorfas y cristalinas del gránulo de almidón



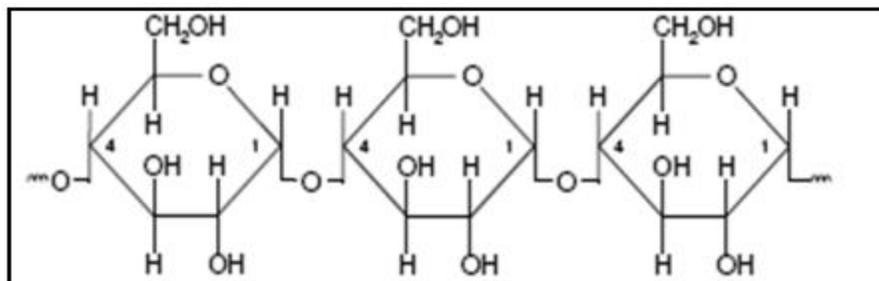
Fuente: Parada y Rozowski (2007)

3.3.1.2. La amilosa

Se compone de 200 a 1.000 unidades de alfa-D-glucosa y tiene un peso molecular entre 50.000 y 200.000 Dalton tal como se muestra en la Figura 5. La amilosa está rodeada en forma de hélice y contiene 6 o 7 unidades de glucosa en cada vuelta. Es soluble en agua caliente y forma allí fácilmente una variedad de geles (Baltes, 2007). La amilosa aparece en una proporción en torno al 20-25% del almidón total, aunque con excepciones como son el guisante, que presenta una proporción del 60% y en el otro lado los cereales céreos, que no presentan nada de amilosa (Fernandez, 2005). En la Tabla 3 se puede visualizar el contenido de amilosa de algunas fuentes de almidón.

Figura 5.

Segmento de la estructura de la amilosa.



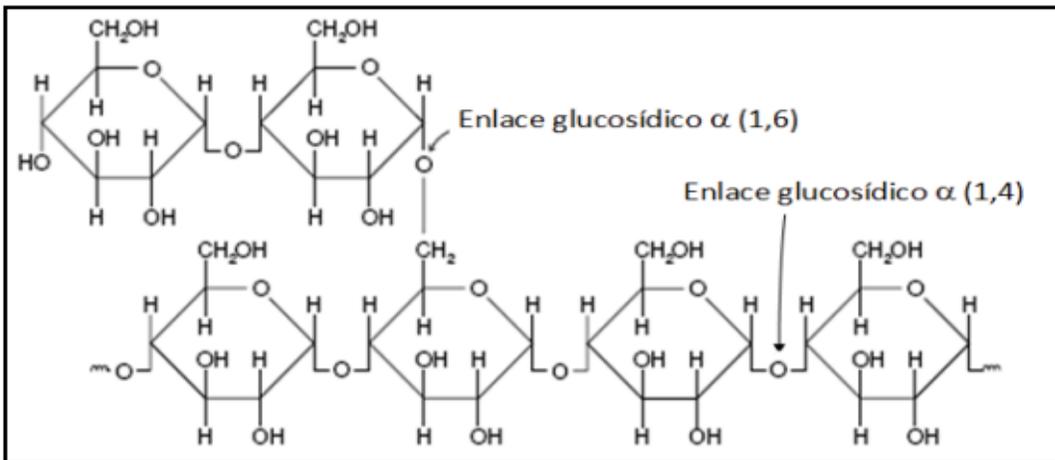
Fuente: Peñaranda et al. (2008).

3.3.1.3. La amilopectina

Se forma de manera similar a una amilosa a través de un enlace glucosídico alfa (1-4), también tiene una ramificación lateral a partir de un enlace glucosídico alfa (1-6) con un valor medio por cada vigesimoquinta molécula de glucosa tal como se muestra en la Figura 6. La amilopectina también es espiralada parcialmente, pero esto se debe a las ramificaciones cortas y libres. El peso molecular de la amilopectina está entre 200.000 y 1.000.000 Dalton, es notablemente mayor que el de la amilosa. Por encima de los 60 °C se hincha en el agua, pero no se disuelve. La amilopectina retrograda mucho más despacio que la amilosa (Baltes, 2007), se puede visualizar el contenido de amilopectina de algunos fuentes principales de almidón en la Tabla 3.

Figura 6.

Segmento de la estructura de la amilopectina



Fuente: Peñaranda et al. (2008).

Tabla 3.*Contenido de amilosa y amilopectina de fuentes principales de almidón*

Tipo de almidón	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Amilomaíz	48-77	23-52
Maíz	17-25	75-83
Maíz alto en amilosa	55-70	30-45
Papa	17-24	76-83
Arroz	15-35	65-85
Yuca	19-22	28-81
Trigo	20-25	75-80
Cereales cerosos	<1	>99
Camote	9-15	85-91

Fuente: Zakaria et al. (2017).

3.3.2. Propiedades funcionales del almidón

Las propiedades funcionales de los gránulos de almidón incluyen el poder de hinchamiento, capacidad de retención de agua, la solubilidad del almidón, la gelatinización, la retrogradación, la sinéresis, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película) y el comportamiento reológico, que generalmente están determinados por las múltiples características de la estructura del almidón.

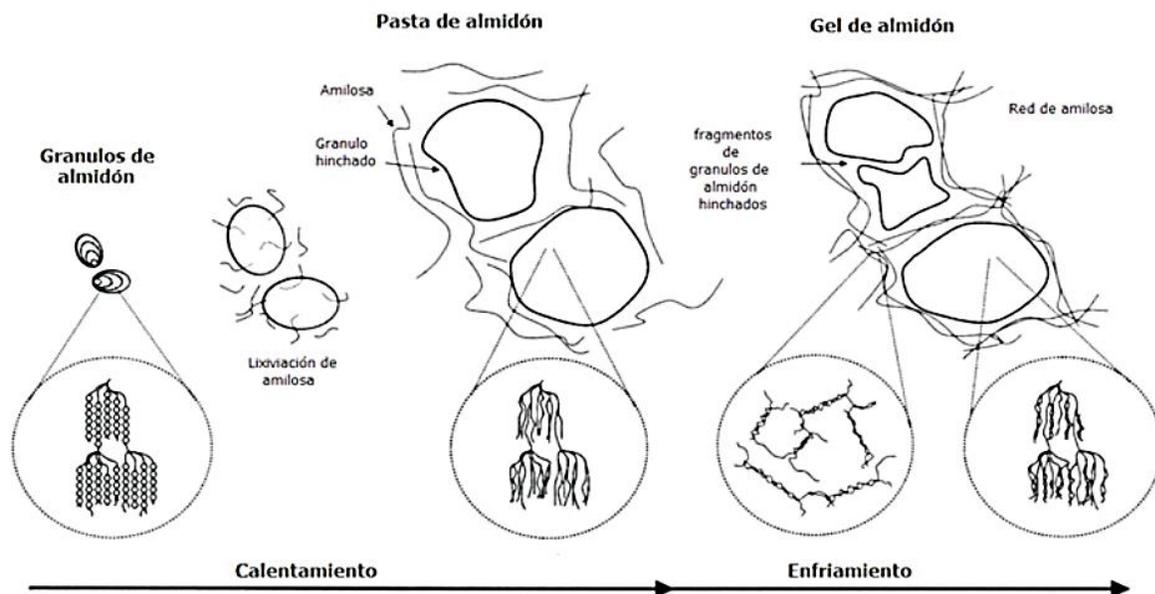
3.3.2.1. Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada ya que presenta una estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrogeno no son tan numerosos ni regidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen, fenómeno que puede observarse en el microscopio sin que se

presente un aumento importante en la viscosidad; una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, la cristalina inicia un proceso semejante, pero para esto se requiere más energía. Al llegar a ciertas temperaturas normalmente cercanas a 65°C_b , aunque dependen de cada tipo de almidón, el granulo alcanza su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos x como la propiedad de birrefringencia; si administra más calor, el granulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente donde la amilosa y la amilopectina, fuertemente hidratadas, se dispersan en el seno de la disolución. En este punto se pierden la estructura original y la birrefringencia del granulo; este va aunado a un aumento de la viscosidad. Aproximadamente del 30% de la amilosa se encuentra en solución. a todo es este proceso se le llama gelatinización, y es la transición de un estado ordenado a otro desordenado en el que se absorbe calor (Badui, 2006, p. 90). En la Figura 7 se muestra la gelatinización del almidón y en la Tabla 4 se visualiza la temperatura de gelatinización de algunas fuentes de almidón.

Figura 7.

Gelatinización del almidón



Fuente: Salcedo et al. (2020).

Tabla 4.

Temperatura de gelatinización de almidón de fuentes principales.

Fuente de almidón	Temperatura de gelatinización (°C)
Papa	56-60
Maiz	75-80
Trigo	80-85
Arroz	61-78
Maiz cereo	63-72

Fuente: (Amixon, s.f.).

3.3.2.2. Claridad de pastas

La claridad de pasta es la reflectancia de la luz de las pastas, relacionada con la homogeneidad óptica dentro de los gránulos hinchados. La claridad varía significativamente según la fuente de almidón y puede alterarse por modificación química de los gránulos (Craig et al., 1989). La transmitancia de luz en las pastas de almidón podría depender del origen botánico del almidón, grado de dispersión de los gránulos de los almidones, índice de refracción y las capacidades de agregación o asociación de las moléculas de almidón y según las condiciones de temperatura y tiempo (Achille et al., 2007).

3.3.2.3. Índice de absorción de agua

Se define como la habilidad que tiene el gránulo de almidón para retener agua propia y añadida, cuando se le somete a un esfuerzo mecánico y térmico (Pérez y Ponce 2013). La capacidad de absorción de agua son características específicas de cada almidón en particular y dependen de diversos factores como el tamaño de los gránulos, relación amilosa/ amilopectina, fuerzas intra e intermoleculares, entre otras. Las variaciones en la capacidad de absorción de agua podrían ser atribuidas a la existencia de proporciones diferentes de regiones cristalinas (amilopectina) y amorfas (amilosa) dentro de los gránulos de almidón, así los gránulos con muchas zonas amorfas, débilmente asociadas, absorben más agua y viceversa (Bou et al., 2006).

3.3.2.4. Poder de hinchamiento

El almidón tiene la capacidad de aumentar tanto su volumen como su peso, cuando se le dan los medios necesarios. El hinchamiento depende de las fuerzas que interactúan en el interior de la red del gránulo de almidón (composición química de la amilosa y la amilopectina, grado de disociación, tamaño del gránulo, etc (Bemiller y Whistler, 2009). La propiedad de hinchamiento del almidón está relacionada con su contenido en amilopectina, actuando la amilosa como agente diluyente y de hinchamiento (Bou et al., 2006).

3.3.2.5. Índice de solubilidad

Meaño et al. (2014), afirma que el grado de solubilidad, es una medida de la cantidad de amilosa que se libera del interior del gránulo como resultado de la absorción de agua así mismo Lescano (2010), menciona que el índice de solubilidad indica el grado de asociación existente entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina).

3.4. Almidón modificado

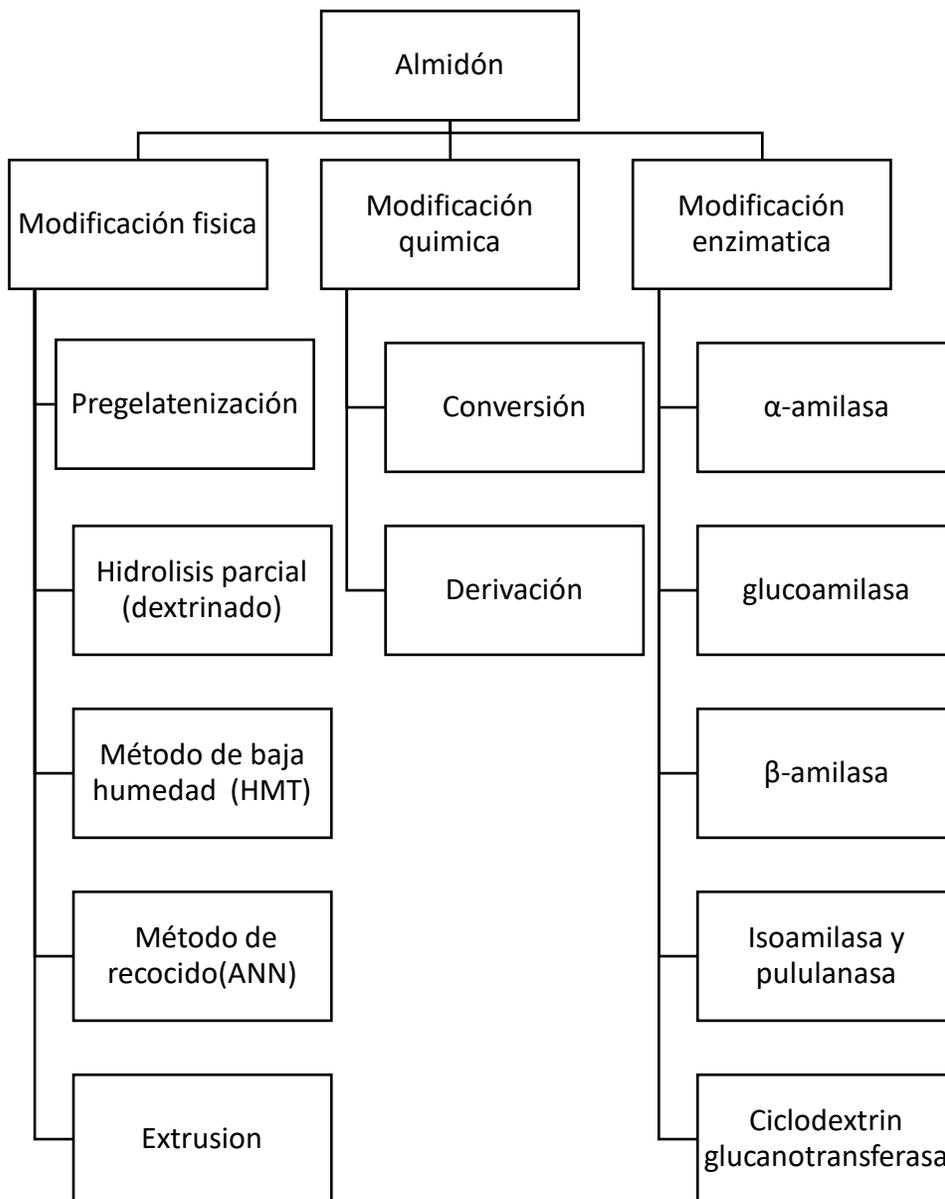
Son almidones obtenidos por tratamientos físicos, químicos, enzimáticos. Estas modificaciones pueden ejercer efectos positivos o negativos sobre la estructura y funcionalidad del almidón. Los almidones nativos obtenidos de varias plantas son diversos en su estructura y funciones. Para mejorar la calidad estructural y funcional de estos almidones y lograr mejores resultados en varias formulaciones, los investigadores sugieren alguna modificación en su estructura. Se han reportado varios estudios sobre la mejora de la calidad funcional del almidón mediante modificaciones físicas, químicas (Nawaz et al., 2020). Los almidones modificados tienen mejores propiedades funcionales que las naturales, por lo que se suelen utilizar en la industria. Estos productos pueden ser estabilizadores, emulsionantes, humectantes, en productos con diferentes niveles de pH, sólidos, líquidos y otras propiedades (Badui, 2006). Los almidones nativos tienen una aplicación limitada ya que son inestables con los cambios de temperatura, pH. Por lo cual, los almidones nativos a menudo se modifican para que tengan propiedades especiales como solubilidad, textura, adhesión y tolerancia al calor (saboonchi et al., 2021).

3.4.1. Tipos de modificaciones de almidones

Los métodos para modificar el almidón incluyen tratamientos químicos, físicos y enzimáticos y el uso de dos o más métodos (Sandhu y Singh, 2007). Como se muestra en la figura 8.

Figura 8.

Tipos de modificación del almidón



Fuente: Arenas y Pedraza (2017).

3.4.1.1. Modificaciones físicas

Consisten en tratar los gránulos de almidón bajo diversas combinaciones de temperatura, humedad, presión y radiación; dentro de estos métodos se incluyen la pre-gelatinización, hidrólisis parcial (dextrinado), método de baja humedad (HMT), método de recocado(ANN), extrusión, radiación y ultrasonido (López et al., 2010). Son métodos no convencionales para modificar el almidón suelen ser técnicas físicas, rápidas, baratas y respetuosas con el medio ambiente (Kong, 2019). La mejora de las técnicas, procesos y la innovación de nuevos métodos de modificación física del almidón presentan una tendencia actual. Además de promover propiedades físicas, morfológicas y reológicas que no se encuentran en los almidones nativos. Los principales cambios incluyen la viscosidad de la pasta, la temperatura de gelatinización, la estabilidad al cizallamiento, los cambios en el polimorfismo, la estabilidad de congelación y descongelación, el poder de hinchamiento e incrementar la solubilidad del almidón en agua fría (Schmiele et al., 2019).

3.4.1.2. Modificaciones químicas

El método más común para mejorar las propiedades del almidón nativo, es la modificación química que implica la reacción o tratar el almidón nativo con reactivos químicos para introducir nuevos grupos de sustituyentes, llevar a cabo una escisión molecular, promover la oxidación o el reordenamiento molecular. Las modificaciones químicas son por derivación y conversión (Bertolini, 2010).

3.4.1.3. Modificación enzimática

Es la reacción catalítica de una sola enzima o una mezcla de más de dos enzimas en el almidón nativo, generando nuevos almidones, con cambios químicos en la estructura del almidón. Estos desarrollos de la tecnología enzimática resaltan el potencial de crear diversos almidones estructurados para la industria alimentaria. Se han propuesto tratamientos enzimáticos para modificar la estructura del almidón y obtener productos derivados, incluida la hidrólisis del almidón para obtener maltodextrinas y jarabes (Park et al., 2017).

3.5. Recocido (ANN)

El recocido es una modificación física del almidón mediante tratamiento térmico en exceso de agua > de 40% y < del 80% con tiempo controlado. La temperatura de calentamiento será inferior a la temperatura de gelatinización y superior a la temperatura de transición vítrea, solo utiliza agua y energía térmica (Yao et al., 2018). Según Tester et al. (1998), la temperatura de calentamiento debe ser 15 °C por debajo de la temperatura de gelatinización de inicio, también en las investigaciones de Lee et al. (2022) la temperatura de recocido lo realizo 5 °C y 10 °C por debajo de la temperatura de gelatinización de inicio y el autor Shi (2008) lo realizo por debajo de 6 °C. Los almidones recocidos mantienen los gránulos intactos, pero con cambios sustanciales en las propiedades fisicoquímicas y funcionales como la cristalinidad, la gelatinización, el factor de hinchamiento, la solubilidad, la viscosidad y la velocidad de hidrólisis. Las propiedades del almidón modificado por recocido dependerán del tiempo de calentamiento, temperatura, humedad y fuente de almidón. En general, el recocido es una técnica simple para modificar la funcionalidad del almidón para desarrollar varios productos alimenticios de valor agregado (Yao et al., 2018). La importancia de los almidones modificados físicamente no puede ser sobreestimado, son seguros y no implican la adición de productos químicos o agentes biológicos (Omodunbi, 2018). El recocido como modificación física hidrotermal es una herramienta económica y poderosa modificando las propiedades fisicoquímicas y digestivas de los almidones. Los cambios fisicoquímicos se deben principalmente a alteraciones estructurales inducidas por el recocido. En las regiones amorfas, las cadenas de amilosa libres podrían reorientarse al igual que las cadenas de amilopectina y lípidos que conducen a áreas más estables térmicamente además de mejorar la perfección entre las regiones cristalinas. En las regiones amorfas reorganizadas, algunos espacios vacíos son creado que a su vez da como resultado una estructura porosa a través de todo el gránulo. Estos microcambios estructurales inducen alteraciones en las macropropiedades del almidón, como la reducción de la hinchazón, mayor temperatura de gelatinización, fácil hidrólisis. Todos estos cambios se consideran útiles en el desarrollo de nuevos complementos alimenticios y alimentos funcionales (Yao et al., 2018).

3.5.1. Aplicaciones del almidón modificado por recocido

Los procesos de modificación aumentan su versatilidad, adaptándolo a diferentes propósitos en las industrias alimentarias. Las mejoras en las características del almidón recocido asociadas con sus posibles aplicaciones son: la solubilidad reducida y dureza de gel aumentada del almidón para uso en fideos; reducción del poder de hinchamiento para aplicación en películas biodegradables; uso en productos alimenticios funcionales; reducción de la retrogradación y viscosidad para productos de panadería; también aumento de la estabilidad térmica permite la elaboración productos alimenticios congelados (Martins et al., 2021). Después del recocido, la estructura de gránulos de almidón se recristaliza y se refina para obtener un estado estable que a su vez reduce la retrogradación y aumenta la estabilidad térmica. Dicha estabilidad térmica mejorada y resistente al cizallamiento son útiles en la elaboración de alimentos congelados y enlatados, los cuales son generalmente alimentos cocinados que solo necesitan un calentamiento simple para su consumo (Yao et al., 2018).

3.6. Marco conceptual

3.6.1. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

La mashua es una planta herbácea anual de tallos cilíndricos semi postrados sus tubérculos tienen forma cónica alargada con ojos profundos y son comestibles (INIA, 2007).

3.6.2. Almidón

Es el carbohidrato de reserva de las plantas, se presenta en forma de gránulos, con regiones centrales que son alternativamente claras y oscuras, mientras que su estructura, forma y tamaño exactos dependen del tipo de planta que lo sintetiza (Bello, 2000).

3.6.3. Almidón nativo

El almidón nativo es aquel que se encuentra en su forma natural y que no ha sufrido ningún tipo de modificación (Sánchez-Rivera, et al., 2005).

3.6.4. Almidón modificado

El almidón modificado se produce cuando la estructura morfológica o fisicoquímica del almidón nativo se altera (Delwen , 2006).

3.6.5. Modificación física del almidón

Son modificaciones de la propiedad del almidón impartidas por tratamientos físicos (BeMiller, 2018).

3.6.6. Recocado (ANN)

Es el tratamiento térmico del almidón en exceso de agua durante un período prolongado a una temperatura por encima de la temperatura de transición vítrea, pero por debajo de la temperatura de gelatinización (Da Rosa y Guerra, 2011).

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló en los laboratorios de: Investigación Agroindustrial, Biología, Propiedades Físicas y Procesos Agroindustriales de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA) ubicado en el barrio de Santa Rosa Av. 28 de Julio del Distrito de Talavera, altitud 2830 m.s.n.m. latitud, 13°39'13" sur; longitud 73°25'40" o este; superficie 148.12 km², de la Provincia de Andahuaylas de Región de Apurímac.

4.2. Materiales, instrumentos, equipos y reactivos

4.2.1. Materiales de investigación

En la Tabla 5 se muestran la lista de materiales que se utilizaron durante el trabajo de investigación.

Tabla 5.

Lista de materiales de investigación.

	Materiales	Marca
04	Frascos de vidrio	Fortuna
12	Fiolas de 250 ml	
1	Pipeta automática	VITLAB
1	Probeta de 50 ml	Kyntel
1	Probeta de 250 ml	Kyntel
12	Placas Petri	Fortuna
12	Vagueta	
12	Vasos de precipitado 100 ml	Fortuna
20	Tubos de ensayo con tapa rosca	
04	Bandejas de aluminio	
04	Baldes	
04	Cuchillos de acero	Facusa

04	Espátula de acero inoxidable mango de madera	s/m
03	Gradilla para tubos de ensayo	s/m
04	Tela tamiz	
01	Papel toalla	
01	Papel tissu	
01	Papel aluminio	
04	Recipiente de plástico	
01	Rotulador	

4.2.2. Instrumentos y equipos

En la Tabla 6 se muestran la lista de instrumentos y equipos que se utilizaron durante el trabajo de investigación.

Tabla 6.

Lista de equipos de investigación.

Cantidad	Equipo	Marca
01	Agitador magnético	Schott
01	Balanza digital cap. 100 g	RADWAG
01	Centrifuga de 40000 rpm	SIGMA
01	Lector multimodal de microplacas	SYNERGY BIOTIK
01	Espectrofotómetro	GENESIS
01	Estufa de secado	Memmert
01	Microscopio óptico	Leico
01	Baño María	
01	Termómetro digital	

4.2.3. Reactivos e insumos

En la Tabla 7 se muestran reactivos e insumos que se utilizó para el trabajo de investigación.

Tabla 7.

Lista de reactivos de la investigación.

Cantidad	Unidad de medida	Reactivos
3	L	Agua Destilada
20	mg	Amilosa
30	mL	etanol
4	g	Hidróxido de sodio
5.7	mL	Ácido acético
2	g	Yoduro de potasio
20	g	Bisulfito de sodio

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Son los tubérculos de mashua variedad amarilla, que fueron adquiridas de la localidad de Ccantupata, distrito de Santa María de Chicmo, provincia de Andahuaylas, región de Apurímac. La comunidad de Ccantupata tiene ubicación entre los hitos siguientes: Latitud sur 13° 41' 59" y Longitud Oeste 73° 34' 38.6" y con una altitud de 3318 m.s. n. m.

4.3.2. Muestra

La muestra se obtuvo a través del muestreo no probabilístico por conveniencia, el cual consistió en tomar 20 kg de mashua variedad amarilla con las siguientes características: sin magulladura, maduros y tamaños homogéneos, de los cuales se extrajo el almidón nativo para ser modificada.

4.3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis está referida al almidón modificado por recocado para cada tratamiento, que fue de 100 g, de los cuales se determinaron las propiedades fisicoquímicas y funcionales.

4.4. Tipo de investigación

4.4.1. De acuerdo al fin que persigue

Aplicada: Es una investigación aplicada debido a que busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo (Lozada, 2014).

4.4.2. De acuerdo a la técnica de contrastación

Experimental: Debido a que una o más variables independientes fueron manipuladas para determinar su efecto sobre una variable dependiente, es decir se utilizó pruebas controladas para entender los procesos causales (Maldonado, 2016).

4.4.3. De acuerdo al tiempo

Prospectivo: Debido a que la información se va registrando en la medida que va ocurriendo el fenómeno o los hechos programados para observar (Müggenburg y Pérez , 2007).

4.5. Metodología experimental

4.5.1. Obtención del almidón nativo de mashua

La extracción del almidón se realizó según el método descrito por Grados y Gutierrez (2010) y se puede visualizar en el diagrama de bloques en la Figura 9.

a) Recepción de materia prima

La materia prima mashua variedad amarilla se recepciono, y se luego se realizó el pesado.

b) Selección

Se seleccionó la mashua de buen tamaño, sin daños físicos ni biológicos.

c) Lavado

Se efectuó por inmersión con agua fría y con frotamiento de la mashua para eliminar la tierra adherida al tubérculo.

d) Troceado

Se cortó la mashua en pequeños cubos de 1x1cm.

e) Triturado

El triturado se llevó a cabo en una licuadora, la relación de agua fue 1:1 (m/v) y se añadió solución de bisulfito a 0.075 %.

f) Filtrado

Esta operación se realizó con una tela tamiz, para separar la fibra del almidón.

g) Sedimentado 1

El sedimentado del almidón se realizó en tinas por un tiempo de 4 horas para separar el almidón. En este proceso se eliminó el sobrenadante y el agua para concentrar el almidón en la tina.

h) Sedimentado 2

Se añadió agua a una relación de 1:2 (m/v) y se agito para homogenizarlo agua y almidón y volver a reposar la mezcla por un tiempo de 4 horas, después se descartó el agua más el sobrenadante.

i) Sedimentado 3

Se añadió agua a una relación de 1:2 (m/v) y se agito para homogenizar agua almidón y reposar por un tiempo de 4 horas y separar el agua.

j) Secado y molienda

El almidón obtenido se secó en estufa a 35 °C por 24 horas, luego se realizó la molienda para dispersión de los grumos del almidón obtenido después del secado.

k) Tamizado

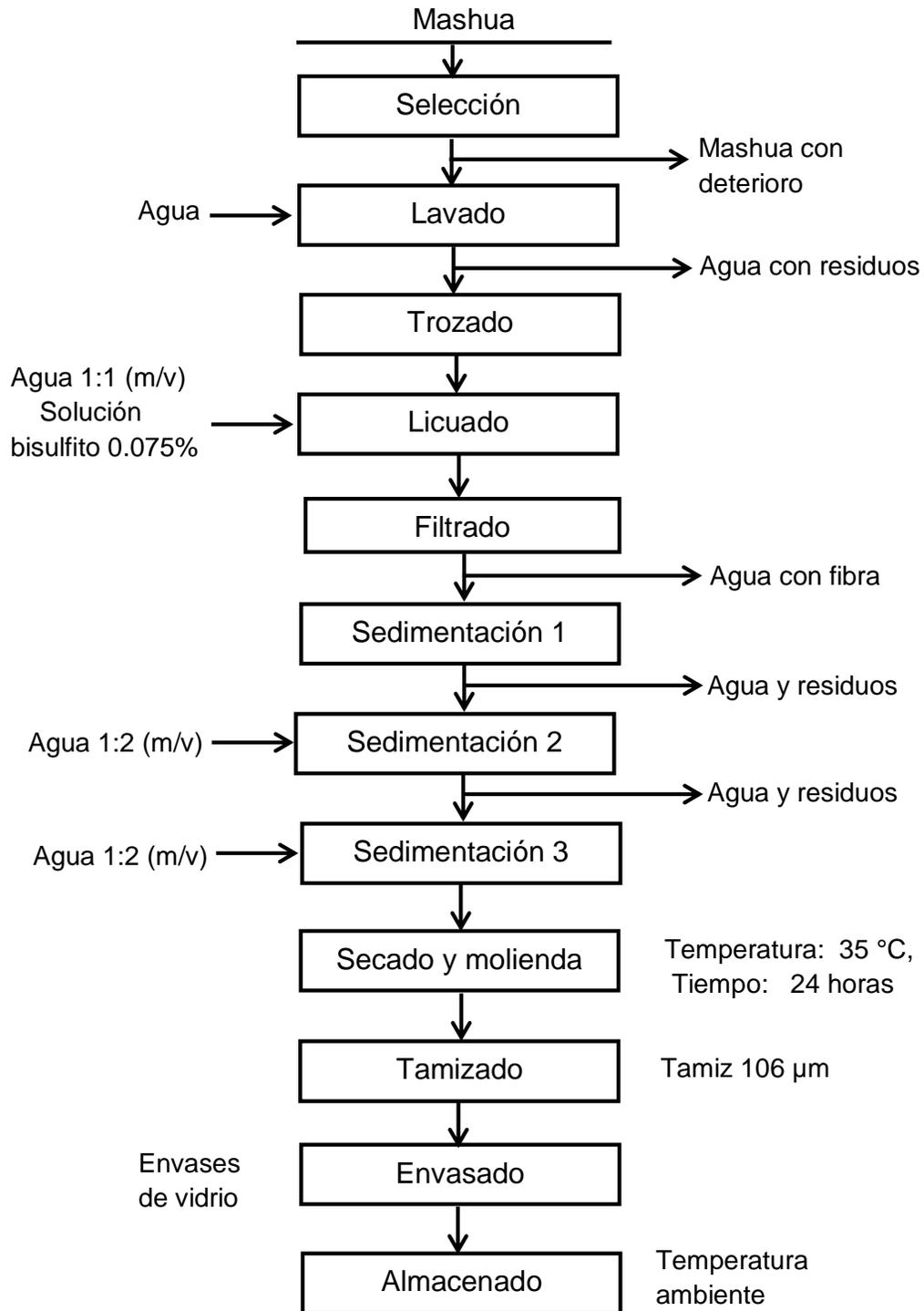
Se tamizo con un tamiz de abertura de malla 106 μm .

l) Envasado y almacenado

El almidón obtenido de mashua se almaceno a temperatura ambiente en frascos de vidrio de 1 Kg.

Figura 9.

Diagrama de bloques de la extracción de almidón de mashua



Fuente: Grados y Gutierrez (2010).

4.5.2. Obtención del almidón modificado de mashua por recocido (ANN).

La modificación se realizó según el método descrito por Jacobs y Delcour (1998) lo cual se puede visualizar en el diagrama de bloques en la Figura 10.

a) Materia prima

La materia prima que se utilizó fue el almidón nativo de mashua variedad amarilla.

b) Preparación de suspensión

Se prepararon las concentraciones de 25 % y 30 % p/p en envases de vidrio, los porcentajes equivalen a la relación 1:3 almidón agua y 1:2 almidón agua.

c) Incubación

Las concentraciones de almidón agua se colocaron en los frascos de vidrio y fueron sellados e incubados por un tiempo de 8 horas en estufa a temperaturas de 50 °C y 55 °C por debajo de la temperatura de gelatinización del almidón nativo de mashua. Para la selección de la temperatura de incubación se tomó en cuenta la temperatura de gelatinización del almidón nativo mashua variedad amarilla (63.40 °C) reportado por (Quispe, 2018) y se tomó referencia 40 °C para la temperatura de transición vítrea del almidón (Thiewes y Steeneken, 1997).

d) Centrifugado

Después del incubado las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm durante 15 min.

e) Lavado

Luego del centrifugado se lavó las muestras con agua destilada para eliminar los residuos.

f) Secado

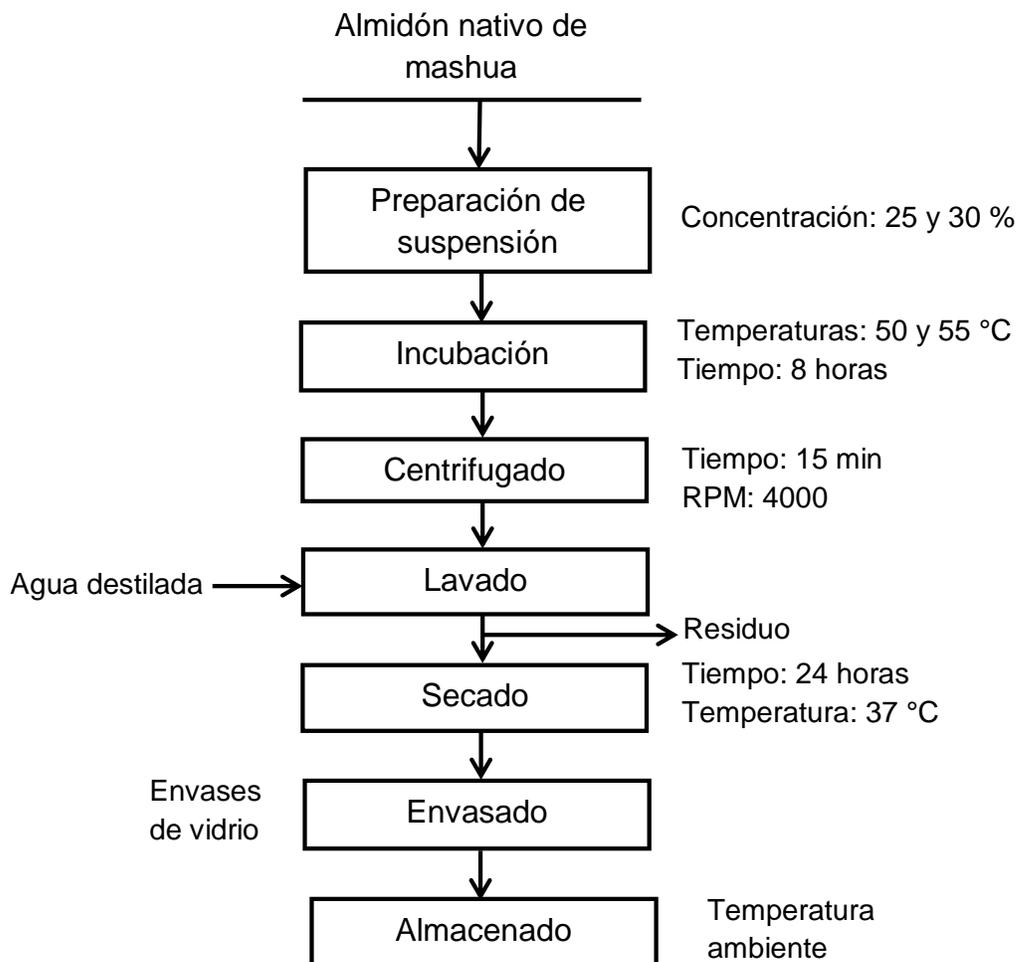
Los almidones recocidos se secaron a 37 °C durante 24 horas.

g) Envasado y almacenado

Los almidones modificados se envasaron y almacenaron en frascos de vidrio a temperatura ambiente, para posterior análisis de las propiedades fisicoquímicas y funcionales modificadas.

Figura 10.

Diagrama de bloques para modificación del almidón por recocido.



Fuente: Puelles (2019).

4.6. Métodos de análisis

Los métodos de análisis fueron llevados conforme lo establecen los siguientes autores.

4.6.1. Análisis de propiedades fisicoquímicas

4.6.1.1. Determinación del tamaño de gránulo

Se utilizó la metodología de Kaur et al. (2007) del Anexo 1.

4.6.1.2. Determinación de la amilosa y amilopectina

Se utilizó el método de Galicia et al. (2012) espectrofotométricamente con el porcentaje de absorbancia del Anexo 1.

4.6.2. Análisis de propiedades funcionales

4.6.2.1. Determinación de la temperatura de gelatinización:

Se utilizó la técnica de Grace (1977) del Anexo 2.

4.6.2.2. Determinación de la claridad de pastas:

Se utilizó la técnica Craing et al. (1989), espectrofotométricamente con el porcentaje de transmitancia del Anexo 2.

4.6.2.3. Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA), Índice de absorción de agua (IAA), Poder de hinchamiento:

Esta característica se determinó usando el método de Gani et al. (2014) del Anexo 2.

4.7. Diseño experimental

4.7.1. Diseño de matriz experimental

Para la presente investigación se utilizó el diseño factorial 2^2 , 2 factores con 2 niveles con 3 repeticiones cada uno, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.*Matriz de diseño experimental.*

Tratamiento		Variables independientes		Variables dependientes							
		Temperatura (°C)	Concentración (%)	Propiedades Físicoquímicas			Propiedades Funcionales				
				Gránulo de almidón	Amilosa	Amilopectina	Temperatura de gelatinización	Claridad de pasta	Índice de absorción de agua	Poder de hinchamiento	Índice de solubilidad
T1	R ₁	50	25	GA ₁	A ₁	AP ₁	TG ₁	CP ₁	IAA ₁	PH ₁	ISA ₁
	R ₂	50	25	GA ₁	A ₁	AP ₁	TG ₁	CP ₁	IAA ₁	PH ₁	ISA ₁
	R ₃	50	25	GA ₁	A ₁	AP ₁	TG ₁	CP ₁	IAA ₁	PH ₁	ISA ₁
T2	R ₁	50	30	GA ₂	A ₂	AP ₂	TG ₂	CP ₂	IAA ₂	PH ₂	ISA ₂
	R ₂	50	30	GA ₂	A ₂	AP ₂	TG ₂	CP ₂	IAA ₂	PH ₂	ISA ₂
	R ₃	50	30	GA ₂	A ₂	AP ₂	TG ₂	CP ₂	IAA ₂	PH ₂	ISA ₂
T3	R ₁	55	25	GA ₃	A ₃	AP ₃	TG ₃	CP ₃	IAA ₃	PH ₃	ISA ₃
	R ₂	55	25	GA ₃	A ₃	AP ₃	TG ₃	CP ₃	IAA ₃	PH ₃	ISA ₃
	R ₃	55	25	GA ₃	A ₃	AP ₃	TG ₃	CP ₃	IAA ₃	PH ₃	ISA ₃
T4	R ₁	55	30	GA ₄	A ₄	AP ₄	TG ₄	CP ₄	IAA ₄	PH ₄	ISA ₄
	R ₂	55	30	GA ₄	A ₄	AP ₄	TG ₄	CP ₄	IAA ₄	PH ₄	ISA ₄
	R ₃	55	30	GA ₄	A ₄	AP ₄	TG ₄	CP ₄	IAA ₄	PH ₄	ISA ₄

Donde:

T: Tratamiento

R: Repetición

4.7.2. Análisis estadístico**a) ANOVA para el diseño factorial**

El objetivo del análisis factorial fue estudiar el efecto de varios factores (temperatura y concentración) sobre una o varias respuestas. En la Tabla 9 se muestra análisis de varianza para el diseño factorial 2².

Tabla 9.*Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño factorial 2².*

FV	SC	GL	CM	F₀	Valor p
A	SC_A	1	CM_A	CM_A/CM_E	$P(F > F_0)$
B	SC_B	1	CM_B	CM_B/CM_E	$P(F > F_0)$
AB	SC_{AB}	1	CM_{AB}	CM_{AB}/CM_E	$P(F > F_0)$
Error	SC_E	$4(n - 1)$	CM_E		
Total	SC_T	$n2^2 - 1$			

Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2008).

b) Análisis del diseño factorial

El modelo estadístico para el diseño 2² corresponde al diseño individual de cada factor en la ecuación 01 según (Gutiérrez & de la Vara , 2008).

El modelo del diseño está dado por la siguiente ecuación

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta_{ij}) + \varepsilon_{ijk} \dots \dots \dots Ec (01)$$

Con: $i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, n.$

$i = 1, 2, A$ (temperatura de recocido)

$j = 1, 2, B$ (concentración)

Dónde:

Y_{ij} : Es la variable de respuesta de la i-ésima factorial (propiedades fisicoquímicas y funcionales) al que se le aplicará el i-ésimo nivel del factor de temperatura, j-ésimo nivel del factor concentración de suspensión.

μ : Media general.

α_i : Efecto del factor A con su nivel i.

β_j : Efecto del factor B con su nivel j.

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción de ambos tratamientos en los niveles ij.

ε_{ijk} : Error aleatorio, que se supone que sigue una distribución normal con media cero varianza constante $\sigma^2(N(0, \sigma^2))$ y son independientes entre si.

n : Número de repeticiones en cada tratamiento.

A continuación, las siguientes hipótesis son para dos fuentes de variabilidad lo que son los tratamientos y el error aleatorio.

Planteamiento de hipótesis estadística para los efectos de temperatura, concentración e interacción de los factores:

a) Temperatura de recocido:

Hipótesis nula, H_0 = La temperatura no tiene efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.

Hipótesis alterna, H_A = La temperatura tiene efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.

b) Concentración:

Hipótesis nula, H_0 = La concentración no tiene efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.

Hipótesis alterna, H_A = La concentración tiene efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.

c) Interacción de la temperatura y concentración:

Hipótesis nula, H_0 = La temperatura y la concentración no tienen efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.

Hipótesis alterna, H_A = La temperatura y la concentración tienen efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Propiedades fisicoquímicas del almidón modificado

5.1.1. Tamaño de gránulo de almidón modificado

En la Tabla 10 se reporta los resultados del tamaño de gránulo del almidón modificado.

Tabla 10.

Tamaño de gránulo del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Concentración (%)	Tamaño de gránulo (µm)
1	50	25	10.79 ± 1.04 ^a
2	55	25	12.93 ± 1.47 ^b
3	50	30	10.82 ± 0.88 ^a
4	55	30	13.56 ± 0.63 ^b

Según el análisis de varianza (Anexo 7.1), solo la temperatura tuvo efecto estadísticamente significativo sobre el tamaño de gránulo con un 95.0% de nivel de confianza debido a que el valor-P es menor que 0.05, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, mientras que la concentración, la interacción de (temperatura y concentración) no tuvieron efecto estadísticamente significativo sobre el tamaño de gránulo debido a que el valor-P es mayor que 0.05. La gráfica de efectos principales del Anexo 8.1, indican el efecto de cada factor, donde el recocado a temperatura de 55 °C presento mayor tamaño de gránulo en comparación a la temperatura de recocado de 50 °C que presentaron menor valor y las concentraciones de 25 y 30% no tuvieron efecto significativo.

Así mismo la Tabla 10, muestra los resultados del tamaño de gránulo del almidón modificado, donde el recocado a 50 °C presentaron valores de 10.79 ± 1.04 y 10.82 ± 0.88 µm y el recocado a 55 °C presentaron valores de 12.93 ± 1.47 y 13.56 ± 0.63 µm ,donde al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.2) la diferencia de los resultados son estadísticamente significativos y comparando con los almidones modificados siendo el almidón nativo con menor tamaño de gránulo que fue de 10.75 ± 0.56 µm (Anexo 4).

Los resultados evidenciaron incremento del tamaño de gránulo de mashua respecto al almidón nativo. De acuerdo con Wang et al. (2012), el aumento del tamaño de gránulo es debido al hinchamiento irreversible ya que el recocado actúa principalmente en las regiones amorfas de los gránulos de almidón, lo que lleva a la lixiviación de la amilosa, lo cual puede reducir las fuerzas de largo alcance dentro del gránulo, debilitando la estructura general del gránulo y Zekun et al. (2022) sostienen que las moléculas de agua que acceden promueven la reorganización de la estructura del gránulo. Los resultados son similares a las investigaciones de Wang et al. (2012) quienes reportaron que los almidones recocidos de guisantes en exceso de agua a 45 °C, incrementaron de tamaño de gránulo de 23.7 a 24.5 μm , también Pérez (2018) dio a conocer que el almidón recocado de yuca a concentración 30% y temperatura de tratamiento 50 °C, aumentaron de tamaño de gránulo de 6.93 a 11.47 μm , de igual manera en el almidón ANN de camote (Aijun et al., 2020). Sin embargo, en la investigación de Espinoza (2017), el almidón recocado de papa variedad Yungay, a tres concentraciones (20, 30 y 40 % p/p), incubadas a (40, 50 y 60 °C), no tuvieron efecto significativo en el tamaño de gránulo.

En la Figura 11 se muestra los gránulos de almidón nativo de mashua y en la Figura 12 se muestra los almidones modificados por recocado a temperaturas de 50 y 55 °C, donde el recocado a 50 °C presentó la estructura de los gránulos sin ruptura, mientras que los almidones recocidos de mashua a 55 °C presentaron la ruptura de la estructura del gránulo de los almidones y de acuerdo los autores Li et al. (2018), afirman que la estructura general de los gránulos de almidón no se destruye con el recocado. Por tanto, por la información anterior se puede afirmar que los gránulos de los almidones modificados de mashua a 55 °C no se considera almidón recocado y solo el recocado a 50 °C fue adecuado para el almidón de mashua. Los resultados obtenidos del tamaño de gránulo del almidón modificado presentaron valores de 10.79 ± 1.04 a 13.56 ± 0.63 (μm) los cuales están en el rango mencionado por el autor Chen (2003) quien sostiene que los gránulos de almidón de tamaño pequeño (<20 μm) son adecuados para la fabricación de fideos asimismo Salas (2008) da a conocer que el tamaño y la naturaleza del gránulo de almidón afectan su procesabilidad como termoplástico, también Pizarro et al. (2006), señala que los almidones de gránulo pequeño tienen aplicación para la obtención de etanol, bioplásticos y edulcorantes.

Figura 11.

Gránulos de almidón nativo de mashua.

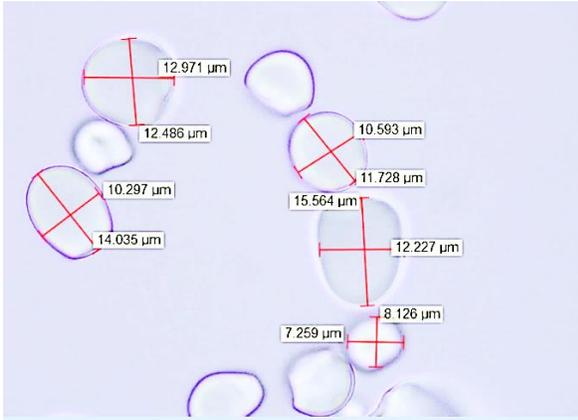
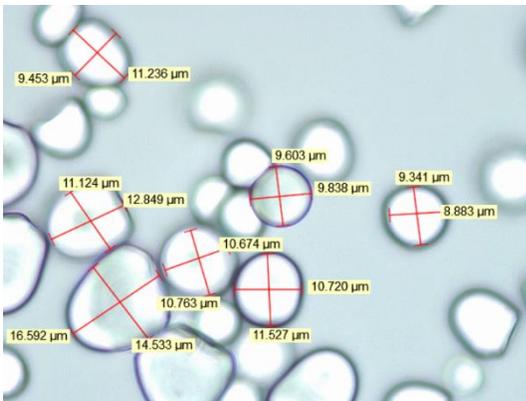
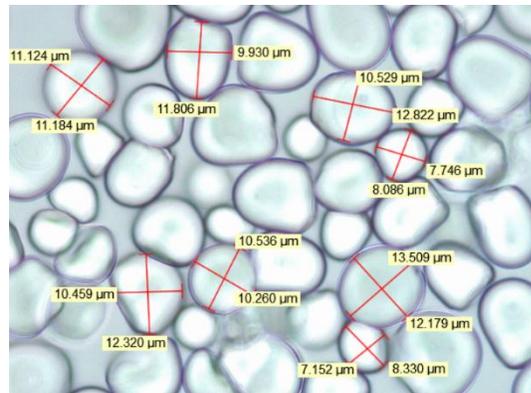


Figura 12.

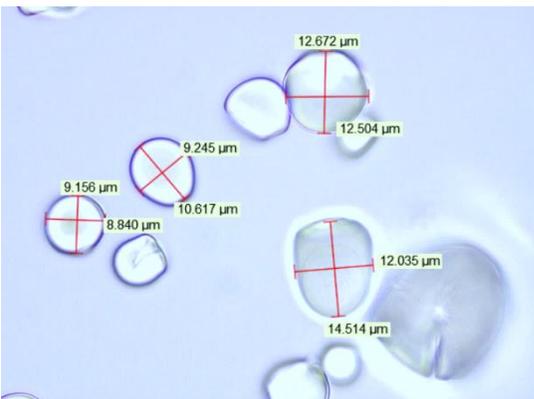
Gránulos de almidones modificados por recocido



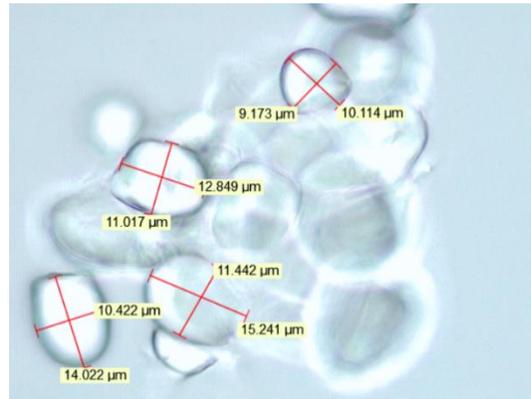
a)



b)



c)



d)

Nota. a) Almidón modificado 50 °C y 25%. b) Almidón modificado 50 °C y 30%.
c) Almidón modificado 55 °C y 25%. d) Almidón modificado 55 °C y 30%.

5.1.2. Contenido de amilosa

En la Tabla 11 se reporta los resultados del contenido de amilosa del almidón modificado de mashua.

Tabla 11.

Contenido de amilosa del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Concentración (%)	Amilosa (%)
1	50	25	20.58 ± 0.82 ^a
2	55	25	21.30 ± 0.85 ^a
3	50	30	21.35 ± 0.64 ^a
4	55	30	21.20 ± 0.32 ^a

Según el análisis de varianza (Anexo 7.3), la temperatura, la concentración y la interacción de los factores en el recocado no tienen efecto estadísticamente significativo sobre el contenido de amilosa con un 95.0% de nivel de confianza debido a que el valor-P es mayor que 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alterna.

Así mismo la Tabla 11, muestra los resultados del contenido de amilosa del almidón modificado, donde el recocado a temperaturas (50, 55 °C) y concentraciones (25, 30 %) presentaron contenido de amilosa entre los valores de 20.58 ± 0.82 a 21.35 ± 0.64% y al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.4) las diferencias de los resultados no son estadísticamente significativos. También el almidón nativo presentó valores similares que fue de 21.20 ± 0.48 % (Anexo 4).

Los factores de estudio no tuvieron efecto en el contenido de amilosa del almidón de mashua, de acuerdo a los autores BeMiller y Huber (2015), afirman que en general los tratamientos físicos como el recocado no dan como resultado ninguna modificación química del almidón, los resultados coincide con la investigación de Wang et al. (2014), quienes reportaron que el recocado de los almidones de maíz normal, maíz ceroso y maíz con alta amilosa a 45 °C durante 24 h y 72 h, no tuvieron efecto significativo en el contenido de amilosa. Sin embargo Baozhong et al. (2020) menciona que el recocado de la amilosa de arroz con agua 1:3 p/v e incubados a 55 °C durante 36 h, tuvieron efecto

significativo en el contenido de amilosa, por otro lado en la investigación de Wang et al. (2012) el contenido aparente de amilosa de tres variedades de guisante disminuyeron ligeramente por la lixiviación de amilosa después del tratamiento de recocado a 45 °C y 24 h, en guisante variedad Maki disminuyo de 36.1 a 33.9%, en guisante PRL95 de 35.3 a 33.2% y en la variedad PRL417 de 34.7 a 32.7%. Contrastando con la información anterior se puede afirmar que la lixiviación de amilosa en el gránulo del almidón de mashua no fueron significativas y que el efecto de los factores sobre el contenido de amilosa es variable depende de la fuente de almidón y otros factores como la temperatura, el tiempo del recocado. Los autores Hidalgo y Micho (2016), mencionan que la amilosa afecta las características funcionales y fisicoquímicas del almidón, como la gelatinización, la retrogradación y las características de hincharse; cuando se enfría, la amilosa presenta una fuerte tendencia a la retrogradación, donde cristaliza en geles de almidón, aumentando así la viscosidad de la solución. Los resultados obtenidos del contenido de amilosa del almidón modificado de mashua están en los rangos mencionados por los autores Salgado-Ordosgoitia et al. (2019), quienes afirman que los almidones que tienen un contenido de amilosa del 20% y del 25%, se conocen como almidones formadoras de geles.

5.1.3. Contenido de amilopectina

En la Tabla 12 se reporta los resultados del contenido de amilopectina del almidón de mashua modificado por recocado.

Tabla 12.

Contenido de amilopectina del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Concentración (%)	Amilopectina (%)
1	50	25	79.42 ± 0.82 ^a
2	55	25	78.61 ± 0.33 ^a
3	50	30	78.65 ± 0.64 ^a
4	55	30	78.92 ± 0.72 ^a

Según el análisis de varianza (Anexo 7.5), los factores la temperatura, la concentración y la interacción de los factores en el recocado no tienen efecto estadísticamente

significativo sobre el contenido de amilopectina, debido a que el valor-P es mayor que 0.05 por tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

Así mismo en la Tabla 12, muestra los resultados del contenido de amilopectina del almidón modificado, donde el recocado a temperaturas (50, 55 °C) y concentraciones (25, 30 %) presentaron contenido de amilopectina entre los valores 78.61 ± 0.33 a $79.42 \pm 0.82\%$ y al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.6) las diferencias de los resultados no son estadísticamente significativos, también el almidón nativo presento valores similares que fue de $78.80 \pm 0.48\%$ (Anexo 4).

Los factores de estudio no tuvieron efecto sobre el contenido de amilopectina. Los resultados reportados son similares a los autores Baozhong et al. (2020) quienes dan a conocer que la amilopectina de arroz recocado a concentración de suspensión de (1:3 p/v) e incubados a 55 °C, no tuvieron efecto significativo en el contenido de amilopectina. Sin embargo, en la investigación de Hongsheng et al. (2009), reportaron la variación mínima de amilopectina es debido a que afecta principalmente la longitud helicoidal de las amilopectinas más cortas. Los almidones de mashua muestran alto contenido de amilopectina y según Granados et al. (2014) un alto porcentaje de amilopectina, es un gel que no retrograda y forma una pasta estable.

5.2. Propiedades funcionales del almidón modificado

5.2.1. Temperatura de gelatinización

En la Tabla 13 se reporta los resultados de la temperatura de gelatinización

Tabla 13.

Temperatura de gelatinización del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Concentración (%)	Temperatura de gelatinización(°C)
1	50	25	62.77 ± 0.23^b
2	55	25	61.53 ± 0.06^a
3	50	30	63.00 ± 0.20^b
4	55	30	61.40 ± 0.20^a

Según el análisis de varianza (Anexo 7.7), solo la temperatura de recocido tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la temperatura de gelatinización con un 95.0% de nivel de confianza debido a que el valor-P es menor que 0.05, por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, mientras que la concentración, la interacción de (temperatura y concentración) no tienen efecto estadísticamente significativo sobre la temperatura de gelatinización debido a que el valor-P es mayor que 0.05. La gráfica de efectos principales del Anexo 8.2, indican que el recocido a temperatura de 50 °C presento mayor temperatura de gelatinización en comparación a la temperatura de recocido de 55 °C que presentaron menor valor y las concentraciones de 25 y 30% no tuvieron efecto significativo.

Así mismo la Tabla 13, muestra los resultados de la temperatura de gelatinización del almidón modificado, donde el recocido a 50 °C presentaron valores de 62.77 ± 0.23 y 63.00 ± 0.20 °C , el recocido a 55 °C presentaron valores de 61.40 ± 0.20 y 61.53 ± 0.06 °C y al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.8) la diferencia de los resultados son estadísticamente significativos, comparando con los almidones modificados el almidón nativo presentó menor temperatura de gelatinización que fue de 58.60 ± 0.10 °C (Anexo 4)

La temperatura de gelatinización de los almidones modificados incrementó respecto al almidón nativo y de acuerdo Shujun et al. (2017), afirman que esto es debido a que los componentes, amilosa y amilopectina del gránulo de almidón, se desfragmentan y dispersan solubilizándose en la fase acuosa y según Montes et al.(2008) también es por el mayor ordenamiento de las cadenas de almidón en las regiones amorfas. Contrastando con la informacion anterior se puede afirmar que la temperatura de recocido a 50 °C presentó mayor desfragmentacion de la amilosa y amilopectina, generando el aumento de la temperatura de gelatinizacion. Los resultados son similares a las investigaciones de (Wang, et al., 2014), quien reporto que los almidones recocidos a 45 °C incrementaron la temperatura de gelatinizacion del maíz ceroso de 71.6 a 72 °C y maíz normal de 70.7 a 71.8 °C, Espinoza (2017), reporto que el almidón recocido de papa Yungay a temperatura de 50 °C y concentración 30 % durante 8 horas, incrementó la temperatura de gelatinización de 60.61 a 62.52 °C, similares resultados también se reportaron en el almidón ANN de Arracacha (Rocha et. al., 2011). Según Chakraborty et

al. (2022) señalan que las propiedades de gelatinización del almidón modificado se pueden aplicar para mejorar los productos alimenticios, como los alimentos listos para comer como sopas y salsas, los que se calientan o congelan fácilmente, o los productos alimenticios con una vida útil más larga ya que proporcionan altas temperaturas de gelatinización y mejor solubilidad del almidón. De acuerdo a los resultados los almidones modificados de mashua presentaron temperatura de gelatinización de 61.40 ± 0.20 a 63 ± 0.20 ($^{\circ}\text{C}$) los cuales están en el rango mencionado por los autores Hernández-Medina et al. (2008), quienes reportaron que la temperatura de gelatinización de 61,3 y 65,2%, pueden considerarse para ser usados en productos que no requieran temperaturas elevadas, tales como caramelos tipo chiclosos o natillas, pudines.

5.2.2. Claridad de pasta

En la Tabla 14 se reporta los resultados de claridad de pasta del almidón de mashua modificado por recocado.

Tabla 14.

Claridad de pasta del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración (%)	Claridad de pasta (%)
1	50	25	28.60 ± 1.35^b
2	55	25	24.50 ± 2.96^a
3	50	30	28.30 ± 1.14^b
4	55	30	21.70 ± 2.46^a

Según el análisis de varianza (Anexo 7.9), solo la temperatura de recocado tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la claridad de pasta con un 95.0% de nivel de confianza debido a que el valor-P es menor que 0.05 por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, mientras que la concentración y la interacción de los factores en el recocado no tienen efecto significativo sobre la claridad de pasta, debido a que el valor-P es mayor que 0.05. La gráfica de efectos principales del Anexo 8.3, indican que el recocado a temperatura de 50°C presento mayor claridad de pasta en comparación al recocado a temperatura de 55°C que presento menor valor y las concentraciones de 25 y 30% no tuvieron efecto significativo.

Así mismo la Tabla 14, muestra los resultados de la claridad de pasta del almidón modificado, donde el recocado a 50 °C presentaron valores de 28.60 ± 1.35 y 28.30 ± 1.14 %; el recocado a 55 °C presentaron valores de 21.70 ± 2.46 y 24.50 ± 2.96 % y al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.10) la diferencia de los resultados son estadísticamente significativas y comparando el almidón modificado, el almidón nativo presentó mayor claridad de pasta que fue de 63.63 ± 1.16 % (Anexo 4).

La claridad de pasta de los almidones modificados disminuyeron respecto al almidón nativo. Los autores Perera y Hoover (1999) sostienen que la disminución es debido a que las cadenas de amilosa y amilopectina lixiviadas conducen al desarrollo de zonas funcionales que dispersan la luz y según Nwaogazie et al. (2022) afirma que el proceso de recocado desencadena la reticulación térmica de las cadenas de amilosa dentro de la estructura del almidón, lo que fortalece las cadenas de almidón y conduce a una capacidad reducida del almidón para hincharse, una menor cantidad de amilosa lixiviada afectando la claridad de la pasta. Contrastando con la información anterior se puede afirmar que la temperatura de recocado de 50 °C en el almidón de mashua generó mayor desarrollo de zonas funcionales que dispersan la luz por la lixiviación de la amilosa como resultado obteniendo almidones con baja claridad de pasta. Los resultados son similares a las investigaciones de Pérez (2018), quien reportó que el recocado del almidón de yuca, disminuyeron la claridad de pasta de 55.57 a 38.27%. Sin embargo, Ariyantoro et al. (2018), dio a conocer que el almidón recocado de maíz a 55 °C por 24 h, incrementó la claridad de pasta de 65,4 a 67,4%. Los autores Ayucitra (2012) y Torruco-Uco y Betancur-Ancona (2007) afirman que la claridad es un factor que hay que tener en cuenta a la hora de elegir el uso del almidón en los productos alimentarios, ya que pueden dar brillo u opacidad al producto final. De acuerdo con Sánchez y Aristizábal (2007), las pastas de almidón se clasifican en opacas y transparentes, se considera opacas cuando la transmitancia es menor al 40% y se considera claras o transparentes cuando su transmitancia es mayor al 40%. La claridad de pasta de los almidones recocidos de mashua presentaron valores de 21.70 ± 2.46 a 28.6 ± 2.46 %, de acuerdo a la literatura se puede afirmar que son geles opacos y sus posibles aplicaciones según Hernández-Medina et al. (2008), menciona que los almidones con baja transmitancia pueden

utilizarse en alimentos poco transparentes como la mayonesa, los productos cárnicos, las bebidas concentradas tipo néctar o los productos panificados.

5.2.3. Índice de absorción de agua (IAA)

En la Tabla 15 se reporta los resultados de índice de absorción de agua del almidón de mashua modificado por recocado.

Tabla 15.

Índice de absorción de agua del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Concentración (%)	Índice de absorción de agua(g gel/g muestra)
1	50	25	11.03 ± 0.77 ^a
2	55	25	11.98 ± 0.90 ^b
3	50	30	10.67 ± 0.65 ^a
4	55	30	12.63 ± 0.43 ^b

Según el análisis de varianza (Anexo 7.11), solo la temperatura de recocado tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el índice de absorción de agua con un 95.0% de nivel de confianza debido a que el valor-P es menor que 0.05 por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, mientras que la concentración y la interacción de los factores no tienen efecto significativo sobre el índice de absorción de agua, debido a que el valor-P es mayor que 0.05. La gráfica de efectos principales del Anexo 8.4, indica que el recocado a temperatura de 55 °C presento mayor índice de absorción de agua en comparación al recocado a temperatura de 50 °C que presento menor valor y las concentraciones de 25 y 30% no tuvieron efecto significativo en el índice de absorción.

Así mismo la Tabla 15, muestra los resultados del índice de absorción de agua del almidón modificado, donde el recocado a 50 °C presentaron valores de 10.67 ± 0.65 y 11.03 ± 0.77 g gel/g muestra; el recocado a 55 °C presentaron valores de 11.98 ± 0.90 y 12.63 ± 0.43 g gel/g muestra y al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.12) la diferencia de los resultados son estadísticamente significativas,

comparando con el almidón modificado, el almidón nativo presentó mayor índice de absorción de agua de 13.21 ± 2.57 g gel/g muestra (Anexo 4).

El índice de absorción de agua del almidón modificado se redujo respecto al almidón nativo. De acuerdo con Alqah et al. (2021) la disminución es debido a que el recocado limita la accesibilidad de los sitios de hidratación por la reducción del número de grupos hidroxilo disponibles a través de enlaces de hidrógeno entre las cadenas de almidón y las interacciones entre las cadenas amilosa-amilosa y las cadenas amilosa-amilopectina se fortalecieron después del recocado, por lo cual inhibe la formación de puentes de hidrógeno entre el almidón y el agua, reduciendo el grado de hidratación en la región amorfa (Xiang et al. 2022). Contrastando con la información anterior se puede afirmar que los almidones recocidos de mashua a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ generó menor número de grupos hidroxilo como resultado disminuyeron el índice de absorción de agua. Los resultados son similares a la investigación de Ariyantoro et al. (2018), quienes reportaron que el recocado del almidón de maíz a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, disminuyeron el índice de absorción de agua de 0.89 a 0.86 g/g. Los tratamientos hidrotermales (ANN) generalmente causan la disminución del índice de absorción de agua. Cuanta menos agua absorban las moléculas de almidón, mayor será la dureza del gel de almidón debido al daño estructural y las interacciones entrecruzadas entre las cadenas de almidón (especialmente la fracción de amilosa más fuerte), lo que hace que el gel sea más rígido (Subroto et al., 2022).

5.2.4. Poder de hinchamiento

En la Tabla 16 se reporta los resultados del poder de hinchamiento.

Tabla 16.

Poder de hinchamiento del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración (%)	Poder de hinchamiento (g gel/g muestra)
1	50	25	11.23 ± 0.88^a
2	55	25	12.42 ± 0.98^b
3	50	30	10.85 ± 0.66^a
4	55	30	13.06 ± 0.44^b

Según el análisis de varianza (Anexo 7.13), solo la temperatura de recocido tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el poder de hinchamiento con un 95.0% de nivel de confianza debido a que el valor-P es menor que 0.05 por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, mientras que la concentración y la interacción de los factores en el recocido no tienen efecto significativo sobre el poder de hinchamiento, debido a que el valor-P es mayor que 0.05. La gráfica de efectos principales del Anexo 8.5, indica que el recocido a temperatura de 55 °C presentó mayor poder de hinchamiento en comparación al recocido a temperatura de 50 °C que presentó menor valor y las concentraciones de 25 y 30% no tuvieron efecto significativo sobre el poder de hinchamiento.

Así mismo la Tabla 16, muestra los resultados del poder de hinchamiento del almidón modificado, donde el recocido a 50 °C presentaron valores de 11.23 ± 0.88 y 10.85 ± 0.66 g gel/g muestra; el recocido a 55 °C presentaron valores de 12.42 ± 0.98 y 13.06 ± 0.44 g gel/g muestra y al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.14) la diferencia de los resultados de las temperaturas de recocido a 50 y 55 °C son estadísticamente significativas y comparando con el almidón modificado, el almidón nativo presentó mayor poder de hinchamiento que fue de 13.47 ± 1.81 g gel/g muestra (Anexo 4).

El poder de hinchamiento de los almidones modificados disminuyeron respecto al almidón nativo. De acuerdo el autor Adebawale et al. (2005), esta disminución fueron causados por la transformación de la amilosa amorfa en una forma helicoidal, el aumento de las interacciones entre las cadenas de amilosa y la alteración de la interacción entre los cristalitas y la matriz amorfa durante el recocido y Ariyantoro et al. (2018), menciona que los factores que influyen en el poder de hinchamiento, son la estructura de la amilopectina, los complejos de lípidos de V-amilosa, contenido de amilosa, mejora de la perfección cristalina, incremento en la organización molecular y el nivel de interacción entre amilosa-amilosa y/o cadenas de amilosa-amilopectina. Los resultados son similares a las investigaciones de Puelles (2019), quien reportó que el recocido del almidón de oca a la temperatura de 50 °C durante 24 h, disminuyeron el poder de hinchamiento de 25,02 a 15.77 (g gel/g muestra) así mismo Espinoza (2017), dio a

conocer que el recocido a 50 °C disminuyeron el poder de hinchamiento de 14.93 a 10 (g gel/g muestra) y Wang et al. (2014) también mostro que el recocido a 45 °C del almidón de maíz alto en amilosa de 72 h de tratamiento disminuyó de 5,0 a 4,1 (g gel/g muestra). Según Montano (2013), siendo una de las características más importantes de los almidones es su capacidad de hincharse cuando están sometidos a algún proceso, ya que esta capacidad es lo que le da las propiedades de pasta a los productos donde es añadido. (Hernández-Medina et al., 2008) además encontrándose que un bajo poder de hinchamiento 25,53 y 16,98 g gel/g muestra, desarrollan geles más firmes que el gel con poder hinchamiento alto.

5.2.5. Índice de solubilidad

En la Tabla 17 se reporta los resultados del índice de solubilidad del almidón modificado de mashua.

Tabla 17.

Índice de solubilidad del almidón modificado.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Concentración (%)	Índice de solubilidad (%)
1	50	25	1.77 ± 0.92 ^a
2	55	25	3.51 ± 0.51 ^b
3	50	30	1.65 ± 0.82 ^a
4	55	30	3.30 ± 0.67 ^b

Según el análisis de varianza (Anexo 7.15), solo la temperatura de recocido tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el índice de solubilidad con un 95.0% de nivel de confianza debido a que el valor-P es menor que 0.05 por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, mientras que las concentraciones y la interacción de los factores no tienen efecto significativo sobre el índice de solubilidad, debido a que el valor-P es mayor que 0.05. En la gráfica de efectos principales Anexo 8.6, indica que el recocido a temperatura de 55 °C presento mayor el índice de solubilidad en comparación al recocido a temperatura de 50 °C que presento menor valor y las concentraciones de 25 y 30% no tuvieron efecto significativo en el índice de solubilidad.

Así mismo la Tabla 17, muestra los resultados del índice de solubilidad del almidón modificado, donde el recocido a 50 °C presentaron valores de 1.77 ± 0.92 y 1.65 ± 0.82 %; el recocido a 55 °C presentaron valores de 3.51 ± 0.51 y 3.30 ± 0.67 % y al realizar la prueba de comparación múltiple de medias LSD (Anexo 7.16) la diferencia de los resultados son estadísticamente significativas y comparando con el almidón modificado, el almidón nativo presento menor índice de solubilidad que fue de 1.79 ± 1.10 % (Anexo 4).

El índice de solubilidad de los almidones modificados incrementó respecto al almidón nativo. De acuerdo con Xiang et al.(2022) el aumento de la solubilidad puede deberse a la absorción gradual y la expansión de los gránulos de almidón con el aumento de la temperatura que conducen a la acelerada disolución de la amilosa asimismo Ogundiran y Afolabi (2018) indican que la solubilidad del almidón aumenta en el rango de temperatura, siendo el almidón nativo el que tiene los valores más altos. Los resultados del indice de solubilidad de los almidones modificados coincide con la informacion por los autores mencionados a mayor temperatura presento mayor valor de indice de solubilidad. Similar resultado reportaron Iromidayo et al. (2011), que los almidones recocidos de frijol a 50 °C durante 48 h, incrementaron el indice de solubilidad de todos los almidones a medida que aumentaba la temperatura. Sin embargo en las investigaciones de Espinoza (2017), la solubilidad del almidón de papa variedad Yungay modificado (ANN) disminuyeron de 12.5 a 7.68 % asi mismo Ariyantoro et al. (2018), reporto que el recocido del almidón de maíz disminuyo la solubilidad de 11.2 a 9.7 % y similar resultado se reporto en el almidon de Oca (Puelles, 2019). Según Veyna-Torres et al. (2016), sostienen que la reducción de la solubilidad del almidón es debido al aumento en la organización molecular y también sucede debido al mayor contenido de lípidos que impiden las interacciones con las moléculas de agua.

CONCLUSIONES

- ✓ La modificación por recocido sobre las propiedades fisicoquímicas, tuvo efecto significativo solo por el factor temperatura (50, 55 °C); en el tamaño de gránulo, sin embargo, en el contenido de amilosa y amilopectina del almidón de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), no tuvieron efecto significativo.
- ✓ Las modificaciones por recocido sobre las propiedades funcionales estudiadas tuvieron efecto significativo solo por el factor temperatura (50, 55 °C); en la temperatura de gelatinización y en el índice de solubilidad se evidenciaron un incremento leve, en la claridad de pasta, el índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento presentaron disminución, mientras que las concentraciones de 25 y 30% no tuvieron efecto significativo en las propiedades funcionales.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar el recocido con más niveles de temperatura y concentración de suspensión para conocer el efecto del recocido en el almidón nativo de mashua tomando en cuenta su temperatura de transición vítrea.
- ✓ Realizar investigaciones en modificación por recocido con otros factores como el tiempo para conocer los cambios en sus propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.
- ✓ Realizar estudios previos del rendimiento del almidón nativo para realizar la modificación por recocido para conocer la viabilidad de su producción.
- ✓ Realizar investigaciones con otras variedades de tubérculos con alto porcentaje de almidón para conocer sus propiedades fisicoquímicas y funcionales modificadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, K. A. (2010). Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science*, 2(2), 90-100.
- Adebowale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Olayinka, O. O., & Lawal, O. S. (2005). Effect of heat moisture treatment and annealing on physicochemical properties of red sorghum starch. *African Journal of Biotechnology*, 4(9), 928-933.
- Achille, T. F., Georges, A. N., & Alphonse, K. (2007). Contribution to light transmittance modelling in starch media. *African Journal of Biotechnology*, 6(5), 569-575. Obtenido de <https://academicjournals.org/journal/AJB/article-full-text-pdf/E60A4056343>
- Aijun, H., Wang, X., Li, L., & Tingting, X. (2020). Effects of annealing time on structure and properties of sweet potato starch. *Cereal Chemistry*(97). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/339267254_Effects_of_annealing_time_on_structure_and_properties_of_sweet_potato_starch
- Akpa, J. G., & Dagde, K. K. (2012). Modification of Cassava Starch for Industrial Uses. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(6), 913-919.
- Alcázar-Alay, S. C., & Almeida, M. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 215-236.
- Alimento Sagrado. (23 de setiembre de 2017). Obtenido de Mashua: Un milagro bajo la tierra: <https://alimentosagrado.wordpress.com/2017/09/23/mashua-un-milagro-bajo-la-tierra/>
- Algar, A. F., Umali, A. B., & Tayobong, R. R. (2019). Physicochemical and functional properties of starch from philippine edible canna (*canna indica* L.) rhizomes. *Journal Of Microbiology, Biotechnology And Food Sciences*, 34-37.
- Alqah, H., Alamri, M. S., Mohamed, A. A., Hussain, S., Qasem, A. A., Ibraheem, M. A., & Yehia, H. M. (2021). Effect of annealing and α -amylase extract on the rheological properties, syneresis, and water holding capacity of different starches. *Food Science and Technology*, 42, 1-10.
- Amixon. (s.f.). Obtenido de Excursus: Cómo preparar almidón y un poco de su historia: <https://www.amixon.com/es/blog/como-preparar-almidon>

- Anderson, R. C. (1969). Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- Apriyanto, A., Compart, J., & Fettke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and in planta modifications. *Plant Science*, 318.
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A. M., & Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 241-245. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200016
- Arenas, C. A., & Pedraza, D. J. (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*. Tesis de pregrado. Fundación Universidad De América, Bogota´.
- Ariyantoro, A. R., Katsuno, N., & Nishizu, T. (2018). Effects of Dual Modification with Succinylation and Annealing on Physicochemical, Thermal and Morphological Properties of Corn Starch. *Food*, 7(9), 1-12. doi:10.3390/foods7090133
- Ayucitra, A. (2012). Preparation and characterisation of acetylated corn starches. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 3(3), 156-159.
- B. Iromidayo, O.-O., T. Adeniyi, A., & Kayode O, A. (2011). Pasting, thermal, hydration, and functional properties of annealed and heat-moisture treated starch of sword bean (*Canavalia gladiata*). *International Journal of Food Properties*, 14(1), 157-174. doi:10.1080/10942910903160331
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Mexico: Pearson.
- Baltes, W. (2007). *Química de los alimentos*. España: Acribia.
- Baozhong , G., Yiting , W., Min , P., Jianyong , W., Xiuting , H., Zhaohua , H., . . . Chengmei , L. (2020). Annealing treatment of amylose and amylopectin extracted from rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 3496-3500. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac .2020.08.245>.
- Bello, J. (2000). *Ciencia Bromatológica :Principios generales de los alimentos*. Madrid: ISBN.
- Bello-Pérez, L. A., García-Suárez, F. J., Méndez-Montealvo, G., Oliveira, J. R., Lajolo, F. M., & Cordenunsi, B. R. (2006). Isolation and Characterization of Starch from Seeds of *Araucaria brasiliensis*: A Novel Starch for Application in Food Industry. *Biosynthesis nutrition biomedical*. doi:<https://doi.org/10.1002/star.200500455>

- BeMiller, J. N. (2018). Starch in Food: Structure, Function and Applications. *Food Science, Technology and Nutrition*, 223-253. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081008683000056>)
- BeMiller, J. N., & Huber, K. C. (2015). Physical Modification of Food Starch Functionalities. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6(1), 19-69.
- Bemiller, J., & Whistler, R. (2009). *Starch: Chemistry and technology*. Burlington. USA: Academic expres.
- Bertolini, A. C. (2009). *Starches: characterization, properties, and applications*. Estados Unidos: CRC Press.
- Bou, L., A de Vizcarrondo, C., Rincón, A. M., & Padilla, F. (2006). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 375-383. Obtenido de <https://www.alanrevista.org/ediciones/2006/4/art-10/#>
- Boyer, C. D., & Shannon. (1987). American Association of Cereal Chemist. *Corn: chemistry and technology*, 223-257.
- Britannica. (20 de Enero de 2023). Obtenido de T. Editors of encyclopaedia: <https://www.britannica.com/science/starch>
- Calvo, M. (2023,5 de enero). *Bioquímica de los alimentos*. Obtenido de <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html>
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2017). Las raíces y tubérculos andinos: oportunidades y desafíos. Peru .
- Chakraborty, I., N, P., Mal, S. S., Paul, U. C., Rahman , M. H., & Mazumder, N. (2022). An insight into the gelatinization properties influencing the modified starches used in food industry. *Food Bioprocess Technol*, 1195-1223. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z>
- Chen, Z. (2003). Physicochemical properties of sweet potato starches and their application in noodle products. *Department of Agrotechnology and Food Sciences*, 1-16.
- Cornuéjols, D., & Pérez, S. (2010). Almidón: un misterio estructural. *Science and school*, 22-27. Obtenido de https://www.scienceinschool.org/wp-content/uploads/2014/11/issue14_starch.pdf

- Craing, S., Maningat, C. C., Seib, P. A., & Hosney, R. C. (1989). starch paste clarity. *Cereal Chem*, 3(66), 173-182.
- Delgado, Y. (2018). Aplicaciones de almidones nativos y modificados en la Industria Láctea y Cárnica. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Delwen , S. (2006). *Modified Starch* (1 ed.). Routledge.
- Dilas-Jiménez, J. O., & Ascurra-Toro, D. (2020). Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) cultivo subutilizado con alto potencial para zonas altoandinas en el Perú. *Alpha Centauri*, 1(1), 15-24. Obtenido de <https://doi.org/10.47422/ac.v1i1.3>
- Doylet, R. M., & Rodríguez, L. M. (2018). *Estudio comparativo de la composición química y carácter reductor de dos variedades de Tropaeolum Tuberosum (Ruíz y Pavón, Kuntze) mashua*. Tesis de pregrado. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Perú Ecologico (2007, octubre). Obtenido de https://www.peruecologico.com.pe/flo_mashua_1.htm
- Egharevba, H. O. (2019). Chemical properties of starch and its application in the food industry. doi:<https://doi.org/10.5772/intechopen.87777>
- Espinoza, V. L. (2017). *Efecto del porcentaje de la suspensión y temperatura de incubación en las características físicas y propiedades térmicas de almidón de papa (Solanun Tuberosum L.) modificado (ANN) variedad yungay*. Tesis de pregrado. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Obtenido de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/3580/1/RE_IND.ALIM_VANES_SA.ESPINOZA_TEMPERATURA.DE.INCUBACION_DATOS.PDF
- Fernandez, J. M. (2005). *Estructura y función de los hidratos de carbono: azúcares*.. Obtenido de <https://ferrusca.files.wordpress.com/2013/04/tema5-hidratoscarbono.pdf>
- Gani, A., Nazia, S., Rather, S. A., Wani, S. M., Shah, A., Bashir, M., . . . Gani, A. (2014). Effect of γ -irradiation on granule structure and physicochemical properties of starch extracted from two types of potatoes grown in Jammu & Kashmir, India. *LWT Food Sci Technol*, 58(1), 239-246.
- Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M. G., Custodio, O., Rosales, A., Ruíz, N., Palacios, N. (2012). *Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal*. Mexico.

- González , X. A. (2018). *Influencia del pH del agua y tiempo de cocción sobre la textura, gelatinización y retrogradación de la papa (Solanum tuberosum), mashua (Tropaeolum tuberosum), oca (Oxalis tuberosa) y melloco (Ullucus tuberosus)*. Tesis de Maestría. Universidad Técnica de Ambato.
- Grace, M. (1977). Elaboración de la yuca. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*. Roma.
- Grados, M. Y., & Gutiérrez, Y. L. (2010). *Caracterización fisicoquímica y reológica del almidon de Tropaeolum tuberosum, variedad amarilla , provenientes de San Marcos Cajamarca Y Otuzco- La Libertad*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Trujillo.
- Granados, C., Guzman, L. E., Acevedo, D., Díaz, M., & Herrera, A. (2014). Propiedades funcionales del almidon de sagu (maranta arundinacea). *Bio.Agro*, 12(2). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200010
- Guerra, A. R., Rosa, E. d., Franciela , S., Suita, L. A., & Gutkoski, L. C. (2010). Effects of annealing on the physicochemical properties and enzymatic susceptibility of rice starches with different amylose contents. *Food Chemistry*, 711-719. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.040>.
- Gunaratne , a. (2018). Heat-Moisture Treatment of Starch. *Physical Modifications of Starch*, 15-36.
- Gutiérrez, H., & de la Vara , R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* . Mcgraw-Hill.
- Hermosa, G. (2013). *Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (Tropaeolum tuberosum R&P) Y OCA (Oxalis tuberosa Mol)*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterização físico-química de amidos de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 718-726.
- Hidalgo, A. X., & Micho , N. S. (2016). Modificación química de almidón nativo de maca (lepidium peruvianum) en sus características fisicoquímicas y reológicas. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Perú.

- Hongsheng , L., Long , y., George , S., Katherine , D., & Ling , C. (2009). Effects of annealing on gelatinization and microstructures of corn starches with different amylose/amylopectin ratios. *Carbohydrate Polymers*, 77, 662-669.
- Hoover, R., & Vasanthan, T. (1994). The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat,oat, potato and lentil starches. *Journal of Food Biochemistry*(17), 303-325.
- INIA. (2007). *Los Cultivos Nativos en las Comunidades del Perú*. Lima, Peru: Promotora Lima.
- INIA. (2009). *Accesiones Promisorias : Banco de Germoplasma de la SUDIRGEB - INIA*. Lima, Peru.
- Jacobs, H., & Delcour, J. A. (1998). Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46, 2895-2905.
- Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q., & Donner, E. (2007). *Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and grown in Sri Lanka*.
- Jiménez, E., & Martínez, S. (2016). “*Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (manihot esculentum) variedad guayape*”. Tesis de pregrado. Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”, Perú.
- Kaur, L., Singh, J., McCarthy, O., & Singh, H. (2007). Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *Journal of Food Engineering*(82), 383-394.
- Kirk, R. S., Sawyer, R., & Egan, H. (1996). *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. Mexico: Patria.
- Kong, X. (2019). Starches modified by nonconventional techniques and food applications. *Academic Express*, 271-295.
- Lee, J. S., Akanda, J. H., Fong, S. L., Siew, C. K., & Ho, A. L. (2022). Effects of Annealing on the Properties of Gamma-Irradiated Sago Starch. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(15). doi:<https://doi.org/10.3390/molecules27154838>
- Lescano, L. G. (2010). *Caracterización de las harinas de trigo nacional (cojitambo), maíz (iniap 122), cebada (cañicapa), quinua, papa (gabriela), destinadas a panificación mediante la determinación de las propiedades funcionales de sus almidones*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica De Ambato.

- Li, W., Congnan, Z., Zhengxing, C., Xiaopei, W., Kang, W., Yongfu, L., Juan, L. (2018). Effect of annealing on the physico-chemical properties of rice starch and the quality of rice noodles. *24*, 125-131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.10.004>
- Lim, T. (2016). *Tropaeolum tuberosum*. In *edible medicinal and non-medicinal plants*. Springer International Publishing.
- Limaymanta, E. (2018). *Efecto del estrés abiótico post-cosecha en la síntesis de glucosinolatos, actividad mirosinasa y carotenoides en mashua (Tropaeolum tuberosum)*. tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria, Peru. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3570/limaymanta-carhuallanquievelin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Dialnet*, 3(1), 47-50.
- López, O. (2011). *Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón*. Universidad Nacional de la Plata, La Plata.
- López, O., Zaritzky, N., & Garcia, M. (2010). Physicochemical. *Journal of food engineering*, 100, 160-168.
- Maldonado, T. (2016). Investigaciones experimentales. Obtenido de https://issuu.com/tohiber/docs/articulo-investigacion_experimental
- Martín, J. C., & López, E. (2009). Modificación física del almidón de yuca y evaluación de la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática por una alfa amilasa. *Revista Colombiana De Química*, 38(3), 395-408.
- Martins, L., Mello, S. L., Guerra, A. R., & Rosa, E. d. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *ScienceDirect*, 274.
- Meaño, N., Ciarfella, A. T., & Dorta, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Redalyc*, 26(2), 182-187.
- Medina, C., Paredes, A., Rodríguez, M., Moreno, M., Belén-Camacho, D., García, D., & Ojeda, C. (2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. *Bioagro*, 22(1), 67-74.

- Medina, J. A., & Salas, J. C. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*(27), 56-62.
- MIDAGRI. (2020). *Anuario estadístico de producción agrícola*. Obtenido de <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=noticias/anuario-estadistico-de-produccion-agricola>
- MIDAGRI. (2021). *Producción agrícola* . Obtenido de <https://siea.midagri.gob.pe>
- MIDAGRI. (2022). *Boletín Estadístico Mensual "El agro en cifras"* . Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2826318-boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras>.
- Montano, A. (2013). Modificación física del almidón de maíz a escala nanométrica para su uso en la Industria Alimentaria. *Tesis de pregrado*. Universidad Veracruzana, México.
- Montes, E., Salcedo, J., Zapata, j. E., Carmona, J., & Pa, S. (2008). Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidón de ñame (d. trifida) utilizando α -amilasa (termamyl120 I, tipo I). *Revista de la facultad de química farmacéutica*, 50(1), 51-60.
- Müggenburg , M. C., & Pérez , I. (2007). Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa. *ENEO*, 4(1), 35-38.
- Nawaz, H., Waheed, R., Nawaz, M., & Shahwar, D. (2020). Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity. *IntechOpen*.
- Nwaogazie, F. O., Akinwande, B. A., & Oyeyinka, S. A. (2022). Physicochemical properties of Bambara groundnut (*Vigna subterranea*) starch annealed at different temperatures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-24. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.17183>
- Obregon, R. D., & Estrella, P. A. (2014). Efecto de la modificación química del almidón nativo de papa (*solanum tuberosum*), sobre sus características fisicoquímicas y reológicas. *Tesis De Pregrado*. Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Tarma Trujillo, Peru.
- Ogundiran, O. O., & Afolabi, T. A. (2018). Effects of Annealing and Heat Moisture Treatments on the Physicochemical Properties of White Sorghum (*Sorghum bicolor*) Starch. *J. Chem Soc. Nigeria*, 43(3), 463 - 470.
- Ogundiran, O. O., & Afolabi, T. A. (2018). Effects of Annealing and Heat Moisture Treatments on the Physicochemical Properties of White Sorghum (*Sorghum*

- Quispe, Y. (2018). *Características químicas y propiedades funcionales del almidón de mashua (tropaeolum tuberosum) de las variedades amarilla y negra*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Jose Maria Arguedas.
- Raeker, M. Ö., Gaines, C. S., Finney,, P. L., & Donelson, T. (s.f.). Granule Size Distribution and Chemical Composition of Starches from 12 Soft Wheat Cultivars.
- Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S. (2008). Starch Gelatinization. *Advances in Food and Nutrition Research*, 55, 221-268. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1043452608004051>
- Reyes, M., Sánchez , I., Barrientos , C., Rebatta , F., & Morón, L. (2009). *Tablas peruanas de composición de alimentos*. Lima, Peru: Instituto nacional de salud.
- Rojas, M., Pérez, C. A., Ramos, O. J., de la Rosa, J., & Chávez, C. E. (2017). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de almidón de frijol modificado hidrotérmicamente. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 77-83.
- Da Rosa, E., & Guerra, A. R. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. 317-328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.064>.
- Rutenberg, M. w., & Solarek, D. (1984). Starch derivatives: Production and uses. *Starch Chemistry and Technology*, 311-366.
- saboonchi, S., Mehran, A., Bahramizadeh, P., & Massoud, R. (2021). applications of modified starch in food.
- Saénez, S., López, A., Prieto, L., & Tulio, R. (2019). El cubio como una alternativa productiva sostenible en condiciones de agricultura urbana de bogota. *Equidad y desarrollo*(34).
- Salas, J. C. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de ingeniería.*, 1(27), 56-62.
- Salgado-Ordosgoitia, R. D., Paternina-Contreras, A. L., Cohen-Manrique, C. S., & Rodríguez-Manrique, J. A. (2019). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (Dioscorea alata), Espino (Dioscorea rotundata) y Diamante 22. *SciELO*, 30(4), 1-10.
- Sánchez , T., & Aristizabal, J. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*.Boletín de servicios agrícolas de la FAO Nº 163. Roma.

- Sánchez-Rivera, Sánchez-River, M., García-Suárez, F., Velázquez del Valle, M., Gutierrez-Meraz, F., & Bello-Pérez, L. A. (2005). Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 62(1), 50-56.
- Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Some properties of com starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting, and gel textural properties. *Food chemistry*, 101(4), 1499-1507.
- Scarlato, G. (2000). *Trayectoria y demandas tecnologicas de las cadenas agroindustriales en el MERCUSUR ampliado-cereales*. Montivideo, Uruguay: PROCISUR.
- Schmiele, M., Sampaio, U. M., Goecking, P. T., & Silva, M. T. (2019). Physical Modifications of Starch. *Academic Press*, 223-269.
- Seung, D. (2020). Amylose in starch: towards an understanding of biosynthesis, structure and function. *New Phytol*(228), 1490-1504. doi:<https://doi.org/10.1111/nph.16858>
- Shujun, W., Jinrong, W., Shaokang, W., & Shuo, W. (2017). Annealing improves paste viscosity and stability of starch. *Food Hydrocolloids*, 62, 203-211. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.006>.
- Shujun, W., Jinrong, W., Jinglin, Y., & Shuo, W. (2014). A comparative study of annealing of waxy, normal and high-amylose maize starches: the role of amylose molecules. *Food Chem*, 332-338. doi:10.1016/j.foodchem.2014.05.055. Epub
- Solarte-Montufar, J. G., Diaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O., & Mejia-Espana, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. 30(6), 35-44. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600035&lng=es&nrm=iso
- Subroto, E., Mahani, I. R., Yarlina, V. P., & Izzati, A. N. (2022). A Mini Review of Physicochemical Properties of Starch and Flour by Using Hydrothermal Treatment. *polymers*, 1-25.
- Surco, A. F. (2004). *Caraterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua(tropaeolum tuberosum), oca(oxalis tuberosa), olluco(ollucus tuberosus) para su aplicacion tecnológica*. Tesis de maestria. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2588/Surco_lf.pdf?sequence=1

- Shi, Y.C. (2008). Two- and Multi-Step Annealing of Cereal Starches in Relation to Gelatinization. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(3), 1097–1104. doi:<https://doi.org/10.1021/jf072449i>
- Tapia, M. E., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima, Peru: ISBN.
- Tester, R. F., Debon, S. J., & Karkalas, J. (1998). Annealing of wheat starch. *Journal of Cereal Science*, 28(3), 259-272
- Thiewes, H. J., & Steeneken, P. A. (1997). The glass transition and the sub-Tg endotherm of amorphous and native potato starch at low moisture content. 32, 123-130. doi:[https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(96\)00133-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00133-6)
- Tianming, Y., Zhongquan, S., & Srinivas, J. (2018). Annealing. *ResearchGate*, 978-981.
- Torruco-Uco, J., & Betancur-Ancona, D. (2007). Physicochemical and functional properties of makal starch. *Food Chemistry*(101), 1319-1326.
- Veyna-Torres, J. I., Castañeda-Pérez, A., & Chávez-Murillo, C. E. (2016). Análisis Físicoquímico De Harinas De Leguminosas Modificadas Hidrotérmicamente. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 13-19.
- Wang, S., Jin, F., & Yu, J. (2012). Pea Starch Annealing: New Insights. *Food Bioprocess Technol*, 3564–3575. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-012-1010-7>
- Wang, S., Wang, J., Yu, J., & Wang, S. (2014). A comparative study of annealing of waxy, normal and high-amylose A comparative study of annealing of waxy, normal and high-amylose. *Food Bioprocess Technol*(164), 332-338. doi:[10.1016/j.foodchem.2014.05.055](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.055)
- Xiang, G., Li, J., Han, W., Yang, Y., Lin, Q., Yang, Y., . . . Guo, X. (2022). The Influence of Temperature Changes on the Rice Starch Structure and Digestive Characteristics: One and Two-Step Annealing. *Foods*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.3390/>
- Yao, T., Sui, Z., & Janaswamy, S. (2018). Annealing. physical modifications of starch, 37-49.
- Yungán, Á. I. (2015). “Efecto del método de extracción del almidon de mashua (*Tropaeolum Tuberosum* Ruiz & Pav.) En las características físico químicas y

reologicas". Tesis de pregrado. Universidad Técnica De Ambato, Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15884/1/AL%20587%20.pdf>

- Yutong , Z., Bo , L., Fei , X., Shuzhen , H., Yanjun , Z., Lijun , S., . . . Lehe , T. (2021). Jackfruit starch: Composition, structure, functional properties, modifications and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 268-283.
- Zekun, X., Lulu , S., Shuangxi , M., Chuangchuang , Z., Zijun , L., Yueyue , W., . . . Harold , C. (2022). Removal of starch granule associated proteins affects annealing of normal and waxy maize starches. *Food Hydrocolloids*, 131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107695>.
- Zakaria, N. H., Muhammad, N., & Abdullah, M. M. (2017). Potential of Starch Nanocomposites for Biomedical Applications. *Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/209/1/012087
- Zia-ud-Din, Xiong, H., & Fei, P. (2017). Physical and chemical modification of starches. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*(57), 2691–2705.

ANEXOS

Anexo 1. Metodología para determinación de propiedades fisicoquímicas

1.1. Determinación del tamaño de los gránulos de almidón:

Se utilizó la metodología de Kaur et al. (2007).

Procedimiento:

- ✓ Se preparó una solución de almidón al 1 por ciento w/w con agua destilada, con una pipeta Pasteur se tomó una gota y se vertió en un portaobjetos luego se vertió una gota en el portaobjeto y se cubrió con otro.
- ✓ Después, se colocó una gota de aceite en el cubreobjeto para una mejor visualización entre la muestra y el microscopio, se observaron con el lente objetivo de 100 X del microscopio.
- ✓ Finalmente se tomó la fotografía
- ✓ Se reportó la imagen para determinar diámetro de eje mayor por análisis de imágenes con software Leica.

1.2. Determinación de la amilosa y amilopectina:

Se utilizó el método de Galicia et al. (2012) espectrofotométricamente con el porcentaje de absorbancia preparando las siguientes soluciones:

- ✓ **Etanol 95 % (V/V)**
- ✓ **Hidróxido de sodio 1 M:** 4 g de hidróxido de sodio en un matraz volumétrico de 100 mL con agua desionizada y llevada al aforo
- ✓ **Hidróxido de sodio 0.1 M:** 10 mL NaOH 1 M en un matraz volumétrico de 100 mL con agua desionizada y llevada al aforo.
- ✓ **Ácido acético 1 M:** 5.67 mL en 100 mL de agua desionizada.
- ✓ **Solución de Lugol:** 2 g de KI y se agregó un poco de agua desionizada hasta formar una solución saturada; y se agregó 0.2 g de I₂.
- ✓ **Estandar de amilosa 1 mg/mL:** Se pesó 100 mg de amilosa en un matraz volumétrico de 100 mL, se añadió 1 mL de etanol al 95 % y tratar de que se deslice por las paredes del matraz, 9 mL de hidróxido de sodio 1 M y dejaron reposar la

mezcla de 20 a 24 h a temperatura ambiente. Al día siguiente se ajustó el volumen a 100 mL con agua desionizada.

Procedimiento:

- a. Se pesaron 20 mg de cada muestra en un tubo Corning de 50 mL, incluyendo dos tubos con los estándares de amilosa.
- b. Se agregaron 0.2 mL de etanol al 95 % y tratar que se deslice por las paredes del tubo.
- c. Se añadieron 1.8 mL de hidróxido de sodio 1 M y se dejaron reposar a temperatura ambiente de 20 a 24 h (no agitar el tubo).
- d. Al día siguiente, se ajustaron el volumen a 20 mL con agua desionizada (18 mL) y se agitaron con fuerza el tubo.

Reacción colorimétrica

- e. Se tomaron 1 mL de solución y se transfirieron a un tubo Corning de 50 mL.
- f. Se agregaron 2 mL de ácido acético 1 M y se agitaron con fuerza.
- g. Después, se agregaron 0.4 mL de solución de Lugol y se ajustaron el volumen a 20 mL (18.4 mL de agua desionizada). Se agitaron la mezcla y dejaron que se desarrolle color por 20 minutos (se protegieron la mezcla de los tubos de la luz).
- h. Se pipeteo 200 μ L tanto de la solución de la curva estándar como de cada muestra y se transfirieron el producto a una placa de 96 pozos y se realizaron la lectura a 620 nm en un espectrofotómetro.

Curva estándar

- i. Se prepararon una solución concentrada de 1 mg/mL de amilosa en agua desionizada (almacene a 4 °C).
- j. En tubos de 50 mL, se preparó diluciones 0, 0.2, 0.4, 0.6. 0.8 y 1 g de amilosa, con un volumen final de 20 mL.
- k. Se preparó la reacción colorimétrica (pasos de la e hasta la h) utilizando 200 μ L de las diluciones.
- l. Se incluyeron una curva estándar por duplicado por cada grupo de las muestras analizadas.

Tubo núm.	Sol. Concentrada de amilosa 1mg/mL(mL)	Ácido acético (1Mol/mL)(mL)	Solución de yodo(mL)	NaOH (0.09mM) (mL)	Agua disioni- zada(mL)
1	0.0	0.2	0.4	1	18.40
2	0.2	0.04	0.08	0	19.68
3	0.4	0.08	0.16	0	19.36
4	0.6	0.12	0.24	0	19.04
5	0.8	0.16	0.32	0	18.72
6	1.0	0.20	0.40	0	18.40

Nota. Preparación de curva estándar de amilosa

Cálculos:

a) Curva estándar de amilosa (curva de calibración)

Se desarrolló una curva de calibración con cantidades conocidas de amilosa, de 0 a 1 mg y se graficó las lecturas de absorbancia a 620 nm como una función de la cantidad y se calculó la pendiente de la curva estándar

b) Cálculo del porcentaje de amilosa

La cantidad de amilosa en cada muestra se estima utilizando las ecuaciones siguientes:

-Se determinó la ecuación de regresión relacionando la cantidad de amilosa en la solución estándar con la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro.

Aplicar la fórmula de regresión siguiente: $Y_g = a(x) + b$

Donde Y_g son las unidades de absorbancia a 620 nm; a es la pendiente; x la cantidad de amilosa; y b la intersección.

-Para calcular la cantidad de amilosa en la muestra: 1) reste el valor del blanco al de la lectura de absorbancia de la muestra; 2) reste la intercepción; y 3) divida la absorbancia corregida por la pendiente. La ecuación general para calcular la cantidad del por ciento de amilosa es:

$$\% AM = (x*d) *(100/f)$$

Donde:

x = cantidad de amilosa (mg)

d = factor de dilución (por ejemplo, 20 para una dilución 1:19); y

f = peso original de la muestra (20 mg).

c) Calculo del porcentaje de amilopectina

El porcentaje de amilopectina fue determinado restando el contenido de amilosa del contenido del almidón, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de amilopectina} = 100 - \% \text{ de amilosa}$$

Anexo 2. Metodología para determinar las propiedades funcionales

2.1. Determinación de la temperatura de gelatinización:

Se utilizó la técnica de Grace (1977).

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 3 g de almidón en base seca, el cual se disolvió con agua destilada y se completó a 50 mL de volumen en un vaso precipitado de 100mL.
- ✓ Se calentó agua a 70 °C en baño maría.
- ✓ Se tomó 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.
- ✓ Luego se introdujo en el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 70 °C al baño maría.
- ✓ Se agito constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos, por último, se procedió a la lectura de la temperatura de gelatinización.

2.2. Determinación de la claridad de pastas:

Se utilizó la técnica Craing et al. (1989), espectrofotométricamente con el porcentaje de transmitancia.

Procedimiento:

- ✓ Se pesó 0.1 g de almidón en tubos de ensayo limpio y seco.
- ✓ Luego se añadió agua destilada hasta completar un volumen de 10 mL.
- ✓ Seguidamente se colocó los tubos en un baño de agua en ebullición durante 30 minutos, luego la suspensión se agito cada cinco minutos.
- ✓ Se dejó enfriar los tubos a temperatura ambiente.

- ✓ Se ubicó la suspensión en cubetas del espectrofotómetro y se procedió al leer el porcentaje de transmitancia a una longitud de onda de 650 nm, utilizando agua destilada como blanco.

2.3. Determinación del índice de solubilidad en agua, Índice de absorción de agua, Poder de hinchamiento

Se determinó usando el método de Gani et al. (2014)

Procedimiento:

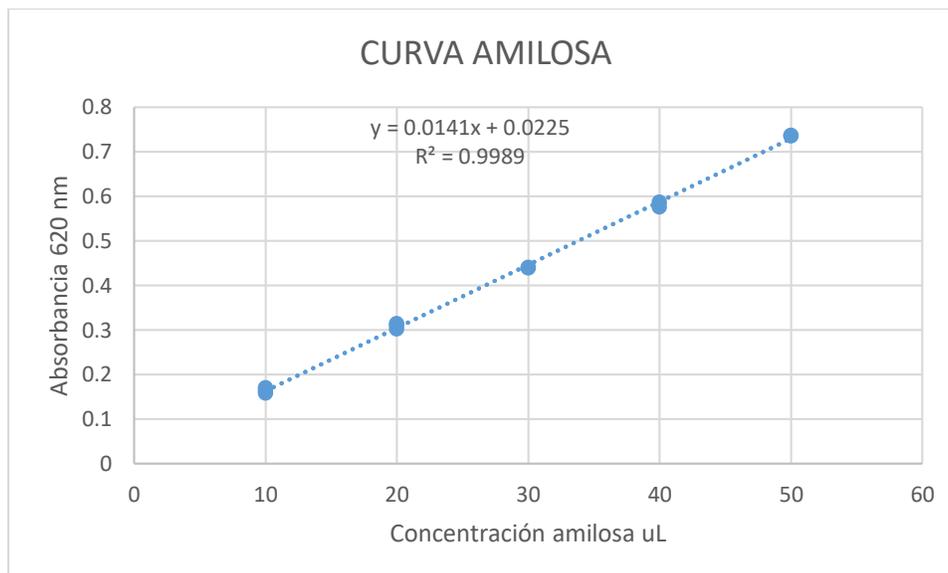
- Pesado de almidón:** Se pesó 0.1 g de almidón en base seca (M_0) y se mezcló con 10 mL de agua destilada en tubos de centrifuga previamente pesada, la suspensión se agito.
- Calentamiento:** Los tubos con las muestras se calentaron en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos, se agito la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.
- Centrifugado:** Se centrifugó a temperatura ambiente a una velocidad de 3300 RPM durante 30 minutos.
- Decantación:** El sobrenadante se separó cuidadosamente y el sedimento del almidón hinchado se pesó (M_1).
- Secado del sobrenadante:** Se tomó el sobrenadante y en una placa petri previamente pesada se procedió a secar en una estufa durante 12 horas a 70 °C hasta obtener un peso constante (M_2)
- Calculo:** Los cálculos se realizarán con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Indice de absorcion de agua} = \frac{M_1 \text{ gel (g)}}{M_0 \text{ almidón (g)bs}} \text{ Ec. 1}$$

$$\text{Poder de hinchamiento} = \frac{M_1 \text{ gel(g)}}{M_0 \text{ almidón(g)bs} - M_2 \text{ sobrenadante seco(g)}} \text{ Ec. 2}$$

$$\text{Indice solubilidad en agua(\%)} = \frac{M_2 \text{ sobrenadante seco(g)}}{M_0 \text{ almidón (g)bs}} \times 100 \text{ Ec. 3}$$

Anexo 3. Curva estándar de amilosa.



Anexo 4. Resultados de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo

Almidón nativo de mashua	Propiedades fisicoquímicas y funcionales
Tamaño de gránulo eje mayor(μm)	10.75 ± 0.56
Amilosa (%)	21.20 ± 0.48
Amilopectina (%)	78.80 ± 0.48
Temperatura de gelatinización($^{\circ}\text{C}$)	58.60 ± 0.10
Claridad de pasta (%)	63.63 ± 1.16
Índice de absorción de agua (g gel/g muestra)	13.21 ± 2.57
Poder de hinchamiento (g gel/g muestra)	13.47 ± 1.81
Índice de solubilidad (%)	1.79 ± 1.10

Anexo 5. Propiedades fisicoquímicas modificadas del almidón de mashua

5.1. Resultados del tamaño de granulo del diámetro del eje mayor del almidón (μm)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	9.60	11.24	11.53
2	55	25	12.67	11.62	14.51
3	50	30	11.81	10.11	10.54
4	55	30	13.82	14.02	12.85

5.2. Resultados de la amilosa (%)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	20.61	19.75	21.39
2	55	25	21.75	20.32	21.82
3	50	30	20.61	21.68	21.75
4	55	30	21.54	20.89	21.18

5.3. Resultados de la amilopectina (%)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	79.39	80.25	78.61
2	55	25	78.96	78.54	78.32
3	50	30	79.39	78.32	78.25
4	55	30	78.82	78.25	79.68

Anexo 6. Resultados de las propiedades funcionales del almidón modificado.

6.1 Resultados de la temperatura de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	62.5	62.9	62.9
2	55	25	61.5	61.6	61.5
3	50	30	62.8	63	63.2
4	55	30	61.2	61.6	61.4

6.2. Resultados de la claridad de pastas (%)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura (°C)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	28.7	27.2	29.9
2	55	25	25.9	21.1	26.5
3	50	30	29.6	27.8	27.5
4	55	30	24.3	19.4	21.4

6.3. Resultados del Índice de absorción de agua (g gel/g muestra)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura (°C)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	10.21	11.13	11.75
2	55	25	12.89	11.97	11.08
3	50	30	10.73	11.28	9.99
4	55	30	12.95	12.79	12.13

6.4. Resultados del poder de hinchamiento (g gel/g muestra)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura (°C)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	10.32	11.29	12.09
2	55	25	13.43	12.35	11.47
3	50	30	11.01	11.41	10.11
4	55	30	13.46	13.12	12.58

6.5. Resultados del índice de solubilidad de agua (%)

Tratamiento	Factores		Replica		
	Temperatura (°C)	Concentración (%)	R1	R2	R3
1	50	25	1.09	1.39	2.82
2	55	25	4.06	3.07	3.41
3	50	30	2.60	1.15	1.20
4	55	30	3.79	2.53	3.57

Anexo 7. ANOVA y LSD de las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón modificado

7.1. Análisis de Varianza para Tamaño de gránulo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	17.9487	1	17.9487	16.33	0.0037
B: Concentración	0.3267	1	0.3267	0.30	0.6005
INTERACCIONES					
AB	0.2706	1	0.2706	0.25	0.6331
RESIDUO	8.79134	8	1.09892		
TOTAL (CORR.)	27.3374	11			

7.2. Pruebas de Múltiple Rangos(LSD) para Tamaño de gránulo

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
55 °C	6	10.8035	0.427964	X
50 °C	6	13.2495	0.427964	X

7.3. Análisis de Varianza para Amilosa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	0.243675	1	0.243675	0.51	0.4946
B: Concentración	0.336675	1	0.336675	0.71	0.4247
INTERACCIONES					
AB	0.550408	1	0.550408	1.16	0.3136
RESIDUO	3.80767	8	0.475958		
TOTAL (CORR.)	4.93843	11			

7.4. Pruebas de Múltiple Rangos para Amilosa

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
50 °C	6	20.9643	0.281718	X
55 °C	6	21.25	0.281718	X

7.5. Análisis de Varianza para Amilopectina

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	0.224133	1	0.224133	0.53	0.4890
B: Concentración	0.154133	1	0.154133	0.36	0.5643
AB	0.864033	1	0.864033	2.03	0.1923
INTERACCIONES					
RESIDUO	3.41027	8	0.426283		
TOTAL (CORR.)	4.65257	11			

7.6. Pruebas de Múltiple Rangos para Amilopectina

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
55 °C	6	78.7619	0.266863	X
50 °C	6	79.0357	0.266863	X

7.7. Análisis de Varianza para Temperatura de gelatinización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	6.02083	1	6.02083	176.22	0.0000
B: Concentración	0.0075	1	0.0075	0.22	0.6519
INTERACCIONES					
AB	0.100833	1	0.100833	2.95	0.1241
RESIDUO	0.273333	8	0.0341667		
TOTAL (CORR.)	6.4025	11			

7.8. Pruebas de Múltiple Rangos para Temperatura de gelatinización

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
55 °C	6	61.4667	0.0754615	X
50 °C	6	62.8833	0.0754615	X

7.9. Análisis de Varianza para Claridad de pasta

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	85.8675	1	85.8675	19.13	0.0024
B: Concentración	7.2075	1	7.2075	1.61	0.2407
AB	4.6875	1	4.6875	1.04	0.3367
INTERACCIONES					
ERROR TOTAL	35.9	8	4.4875		
TOTAL (CORR.)	133.663	11			

7.10. Pruebas de Múltiple Rangos para Claridad de pasta

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
55 °C	6	23.1	0.864822	X
50 °C	6	28.45	0.864822	X

7.11. Análisis de Varianza para Índice de absorción de agua

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	6.33653	1	6.33653	12.50	0.0077
B: Concentración	0.0588	1	0.0588	0.12	0.7422
INTERACCIONES					
AB	0.760033	1	0.760033	1.50	0.2556
RESIDUO	4.05493	8	0.506867		
TOTAL (CORR.)	11.2103	11			

7.12. Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de absorción de agua

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
50 °C	6	10.8486	0.290097	X
55 °C	6	12.3028	0.290097	X

7.13. Análisis de Varianza para Poder de hinchamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	8.64281	1	8.64281	14.49	0.0052
B: Concentración	0.0469334	1	0.0469334	0.08	0.7862
INTERACCIONES					
AB	0.78788	1	0.78788	1.32	0.2836
RESIDUOS	4.77027	8	0.596284		
TOTAL (CORR.)	14.2479	11			

7.14. Pruebas de Múltiple Rangos para Poder de hinchamiento

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
50 °C	6	11.04	0.315247	X
55 °C	6	12.7374	0.315247	X

7.15. Análisis de Varianza para Índice de solubilidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura	8.65047	1	8.65047	15.49	0.0043
B: Concentración	0.0850124	1	0.0850124	0.15	0.7066
INTERACCIONES					
AB	0.00674392	1	0.00674392	0.01	0.9152
RESIDUO	4.46882	8	0.558602		
TOTAL (CORR.)	13.211	11			

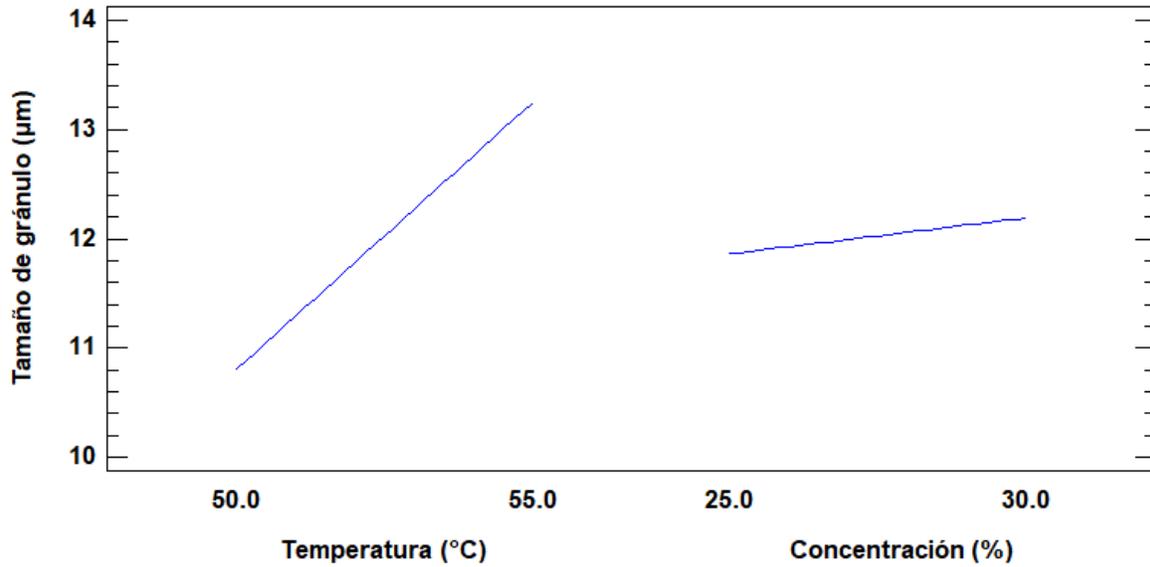
7.16. Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de solubilidad

Temperatura	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
50 °C	6	1.7073	0.305124	X
55 °C	6	3.40539	0.305124	X

Anexo 8. Graficas de efectos principales

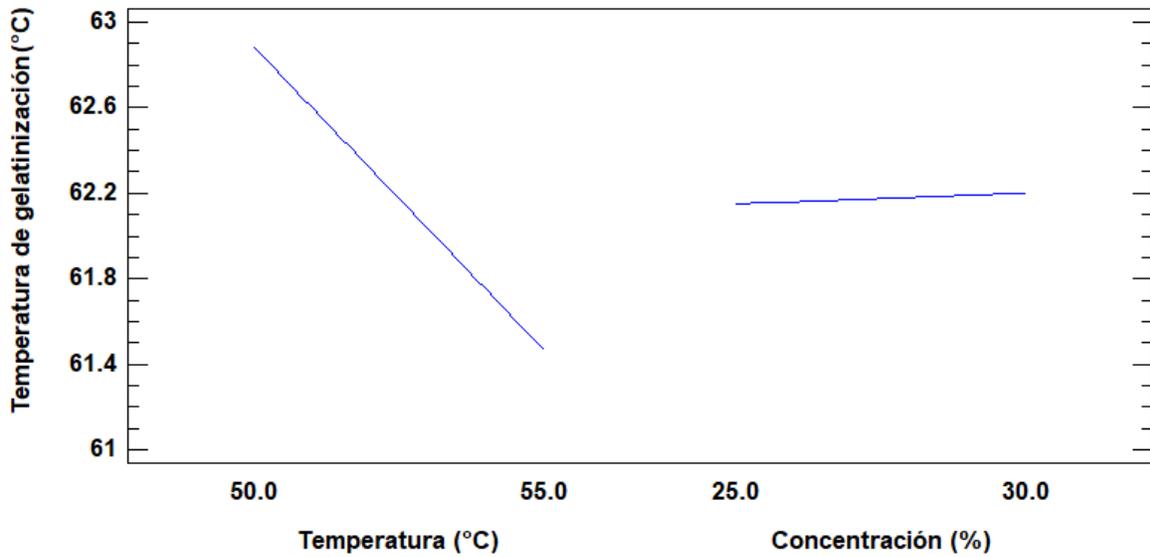
8.1. Grafica de efectos principales para tamaño de gránulo del almidón

Gráfica de Efectos Principales para Tamaño de gránulo (μm)



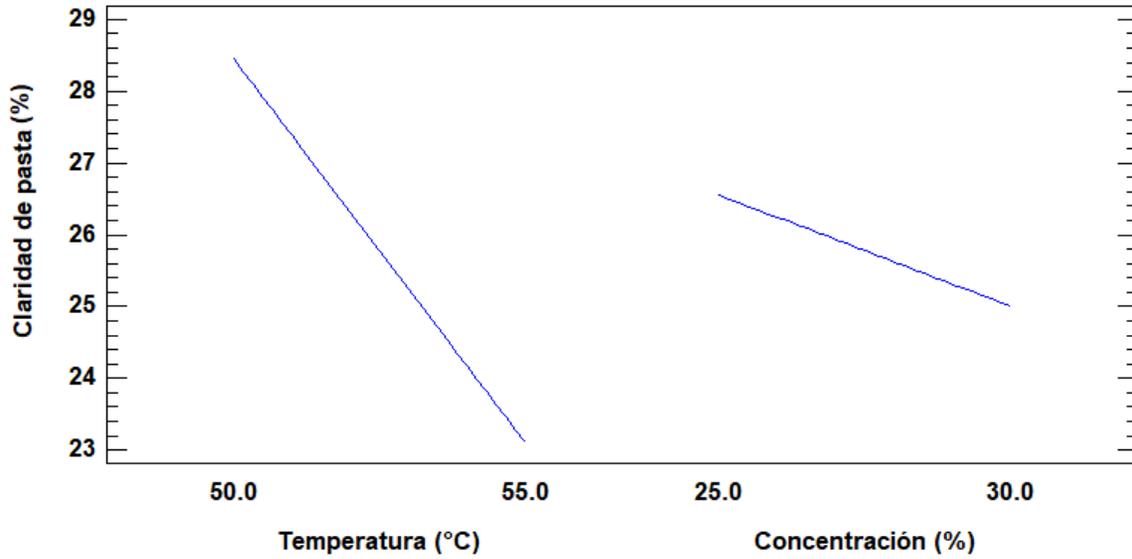
8.2. Grafica de efectos principales para temperatura de gelatinización

Gráfica de Efectos Principales para Temperatura de gelatinización



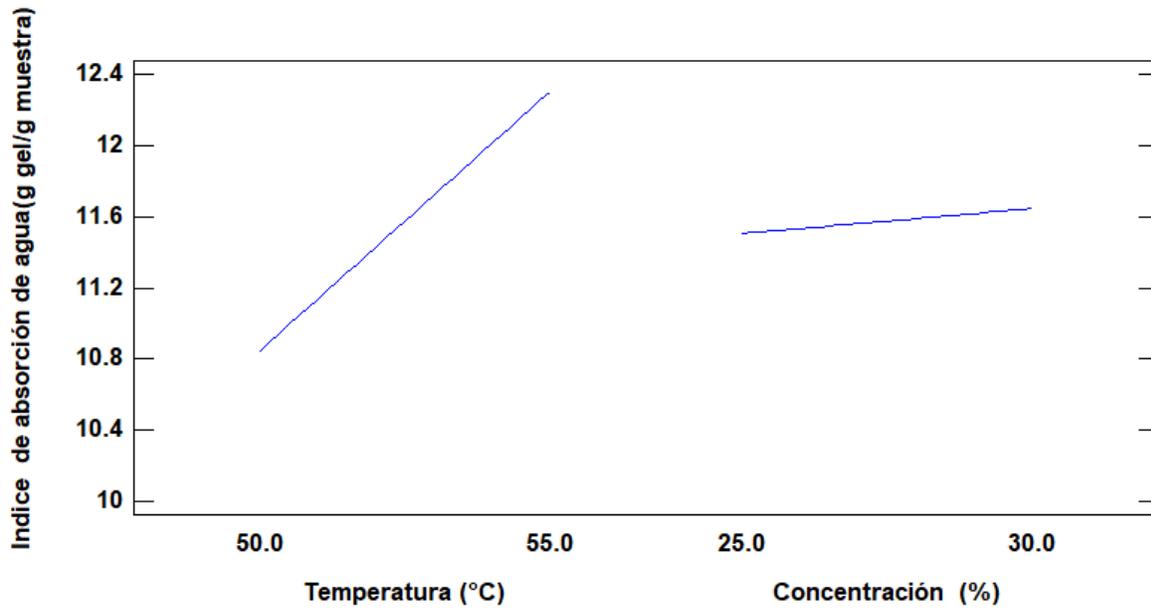
8.3. Grafica de efectos principales para claridad de pasta

Gráfica de Efectos Principales para Claridad de pasta

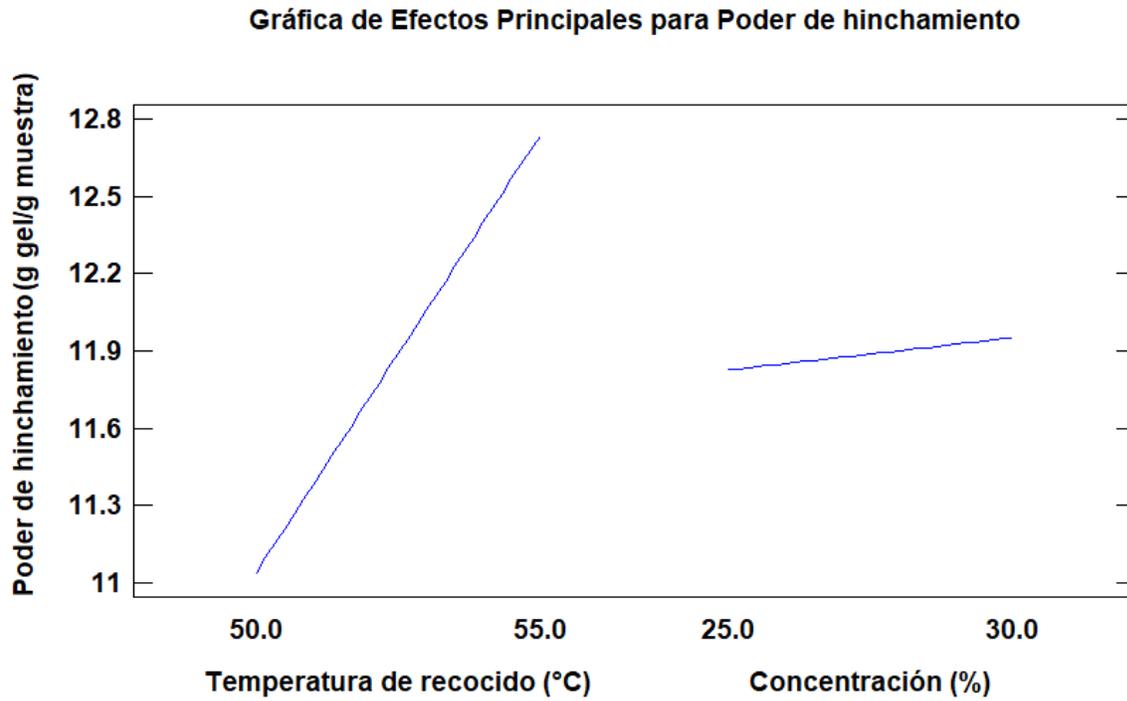


8.4. Grafica de efectos principales para índice de absorción de agua

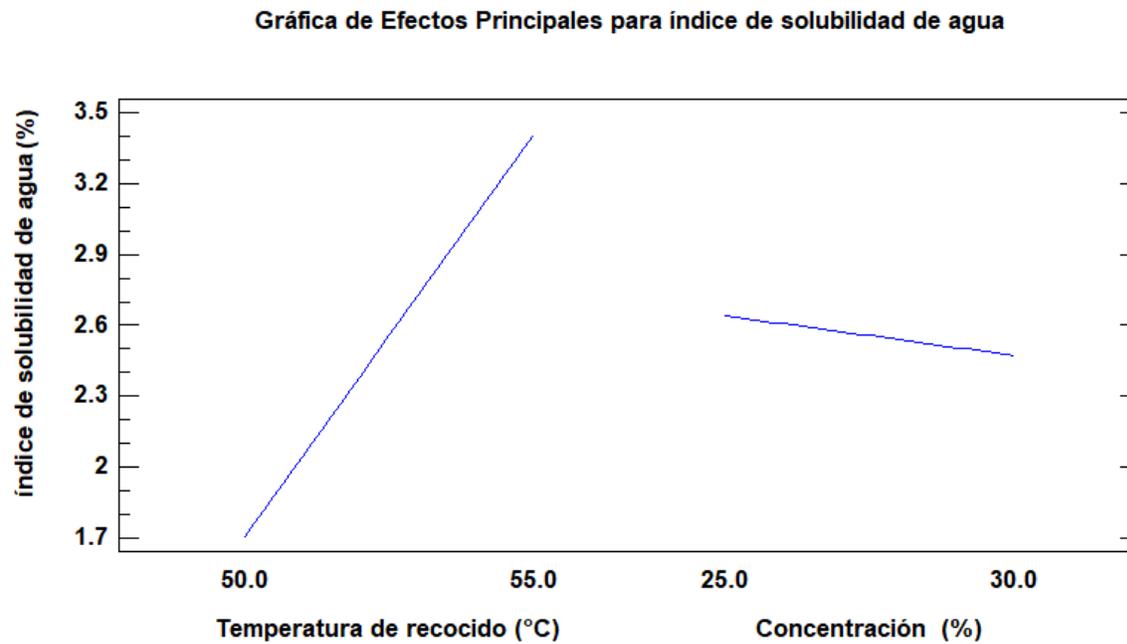
Gráfica de Efectos Principales para Índice de absorción de agua



8.5. Grafica de efectos principales para poder de hinchamiento



8.6. Grafica de efectos principales para índice de solubilidad



Anexo 9. Fotografía de mashua variedad amarilla

Fotografía 1. Mashua variedad amarilla.



Anexo 10. Fotografías de la realización de la parte experimental.

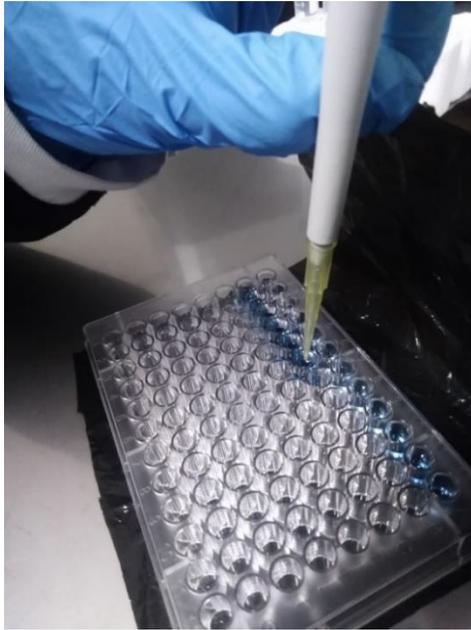
10.1. Incubación de los almidones para modificación

Fotografía 2. Incubación de las muestras



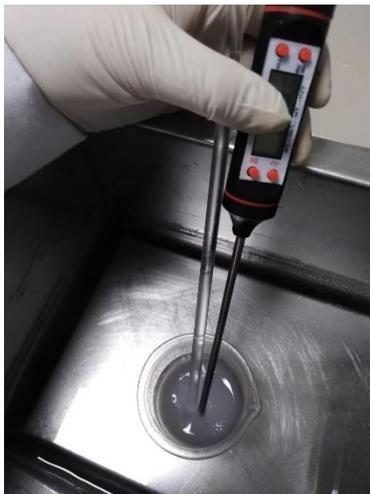
10.2. Fotografía de la determinación de la amilosa y amilopeptina

Fotografía 3. Muestras para la lectura Fotografía 4. Medición de la absorbancia



10.3. Fotografías de la determinación de la temperatura de gelatinización.

Fotografía 5. Medición de la temperatura Fotografía 6. Almidón gelatinizado



10.4. Fotografía de la determinación de la claridad de pastas

Fotografía 7. Lectura de la claridad de pasta



10.5. Fotografías de la determinación de la Índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua y poder de hinchamiento

Fotografía 8. Centrifugación



Fotografía 9. Muestra centrifuga



Anexo 11. Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Definición de operaciones				Recolección de datos		
			Variables	Indicador	UM	Método	Técnica	Instrumentos	
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Temperatura	°C	Experi- mental	Modifica ción de almidón nativo		
¿Cuál es el efecto de la modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua?	Determinar el efecto de la modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua	La modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones tiene efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón nativo de mashua.	Independiente: -Temperatura de tratamiento (50, 55°C) - Concentración (25%,30% p/p)	porcentaje	%				
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específico	Variable dependientes	Tamaño de los gránulos de almidón	micras	Experi- mental	Fotografi ca	Microscopio óptico	
¿Cuál es el efecto de la modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades fisicoquímicas (tamaño de granulo de almidón, amilosa ,amilopectina) del almidón nativo de mashua.	Determinar el efecto de la modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades fisicoquímicas (tamaño de granulo de almidón, amilosa, amilopectina) del almidón nativo de mashua	La modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones tiene efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas (tamaño de granulo de almidón, amilosa ,amilopectina) del almidón nativo de mashua	Propiedades fisicoquímicas (tamaño de gránulos de almidón, amilosa, amilopectina)	Contenido de amilosa y amilopectina	%				Experi- mental
¿Cuál es el efecto de la modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades funcionales (temperatura de gelatinización, claridad de pasta, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento, índice de solubilidad) del almidón nativo de mashua	Determinar el efecto de la modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones en las propiedades funcionales (temperatura de gelatinización, claridad de pasta, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento índice de solubilidad) del almidón nativo de mashua.	La modificación física por recocado a diferentes temperaturas y concentraciones tiene efecto significativo en las propiedades funcionales (temperatura de gelatinización, claridad de pasta, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento índice de solubilidad) del almidón nativo de mashua.	Propiedades funcionales (Temperatura gelatinización,	Temperatura de gelatinización	°C	Experi- mental	Registro de datos	Termómetro	
			claridad de pasta,	Claridad de pasta.	%		Experi- mental	calculo	espectofotome tro
			claridad de pasta, índice de absorción de agua, poder de hinchamiento	índice de absorción de agua	g gel/g muestr a		Experi- mental	calculo	balanza
			índice de absorción de agua, poder de hinchamiento, índice de solubilidad)	Poder de hinchamiento	g gel/g muestr a		Experi- mental	calculo	balanza
				Índice de solubilidad	%		Experi- mental	calculo	balanza

